

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Материалы всероссийской научно-технической
конференции

(г. Пермь, 30–31 мая 2019 г.)

В двух томах
Том 1

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета
2019

Проведение конференции инициировано ученым советом электротехнического факультета Пермского национального исследовательского политехнического университета и ориентирована на публичную апробацию результатов научно-исследовательских работ молодых ученых, аспирантов и студентов по аспектам научных исследований электротехнического профиля.

Конференция проводится по пяти секциям: «Информационные технологии и автоматизированные системы», «Автоматизация технологических процессов и производств», «Электротехника и энергетика», «Телекоммуникации», «Информационная безопасность».

Публикуемые результаты исследований могут быть интересны широкому кругу специалистов в области автоматизации и проектирования современных систем автоматизации и управления, информационных технологий, математического моделирования технологических процессов, систем преобразования и обработки информации.

Редакционная коллегия:

А.М. Костыгов, профессор, канд. техн. наук;

Б.В. Кавалеров, доцент, д-р техн. наук;

Д.К. Елтышев, доцент, канд. техн. наук (отв. редактор);

А.Б. Петроченков, доцент, канд. техн. наук;

Н.М. Труфанова, профессор, д-р техн. наук;

Р.А. Файзрахманов, профессор, д-р экон. наук;

А.А. Южаков, профессор, д-р техн. наук

Рецензент

заслуженный деятель науки РФ, заслуженный машиностроитель Республики Башкортостан, д-р техн. наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета *Г.Г. Куликов*

Секция I

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ**

М.Ю. Васенёв

ВЛИЯНИЕ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НА ЖИВУЧЕСТЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ФОРВАРДЕРОМ

В данной статье рассматривается проблема своевременного мониторинга технического состояния электронного оборудования лесозаготовительных машин (на примере форвардера). Оценка живучести системы осуществляется на основе индекса живучести, базирующегося на риске. Делаются выводы, подтверждающие важность и эффективность мониторинга компонентов систем управления.

Ключевые слова: мониторинг, лесозаготовительные машины, форвардер, живучесть.

M.Yu. Vasenev

INFLUENCE OF EQUIPMENT CONDITION MONITORING ON FORWARDER CONTROL SYSTEM SURVIVORSHIP

This article considers the problem of well-timed monitoring of tree harvesting machines electronic equipment's technical state (by the way of example of forwarder). An assessment of system survivorship is performed on the basis of the index of survivorship, based at risk. There are made conclusions, which confirm the importance and efficiency of control systems components' monitoring.

Keywords: monitoring, tree harvesting machines, forwarder, survivorship.

Нередко лесозаготовительным машинам приходится работать в довольно сложных, экстремальных условиях. Поэтому ещё на этапе проектирования систем управления (в том числе и автоматизированных) такой техникой разработчики стараются использовать наиболее надёжные и устойчивые к внешним воздействиям электронные компоненты, чтобы повысить уровень их живучести. Благодаря своевременной диагностике и мониторингу можно избежать большинства внезапных отказов их компонентов в рабочем процессе.

Существует интересный подход к оценке живучести сложных систем, описанный в работе Н. Махутова с соавторами [1], где все сценарии отказа и поврежденных состояний системы учитываются с помощью индекса живучести, базирующегося на риске. Различаются:

– первичные ущербы и риски (R_{np}), возникающие в результате экстремальных иницирующих воздействий;

– вторичные ущербы и риски ($R_{\text{кoc}}$), которые возникают в результате эскалации аварии и обусловлены отказом системы в целом.

Индекс живучести можно представить следующей формулой:

$$G_R = \frac{\sum_{i=1}^m R_{\text{пр}_i}}{\sum_{i=1}^m R_{\text{пр}_i} + \sum_{j=1}^n R_{\text{кoc}_j}}, \quad (1)$$

где m – количество сценариев, в которых имеют место прямые ущербы и риски, обусловленные локальными повреждениями системы; n – количество сценариев, в которых имеют место косвенные ущербы и риски, связанные с отказами системы в целом.

Величина G_R находится в диапазоне от 0 до 1. Система имеет высокую живучесть, когда $G_R \rightarrow 1$ и, соответственно, низкую, когда $G_R \rightarrow 0$.

Далее рассмотрим следующий случай. Нередко в процессе работы операторы форвардера ударяют стрелой крана-манипулятора по окружающим предметам и даже по кабине, могут волочить грузы по земле стрелой, что способно привести к вибрационным, механическим и иным воздействиям на кабели, соединяющие между собой компоненты, а также на них самих [2]. При этом может произойти обрыв кабеля, его повреждение, полный или частичный выход устройства из строя, например энкодера.

Если своевременно не выявить такие форс-мажорные обстоятельства, то в дальнейшем это может привести к критическому повреждению манипулятора или других агрегатов машины, что, в свою очередь, приведёт к вынужденным простоям и экономическим потерям.

Как их можно выявить? Чаще всего с помощью встроенных средств мониторинга и диагностики, которые должны быть реализованы программно на ведущем устройстве или аппаратно (самый простой пример – световая индикация на ведомом устройстве). Данная возможность подразумевается для большей части оборудования для промышленных сетей (Profibus, EtherCAT и пр.), но, к сожалению, не всегда разработчиками она реализуется. В результате – длительные простои и необходимость дополнительной оплаты услуг специалистов по диагностике оборудования. Далее проиллюстрируем с помощью сценарных

деревьев, как влияет мониторинг технического состояния оборудования на живучесть системы (рис. 1, 2).

Воспользуемся условными обозначениями: НС – начальное состояние; Н – экстремальное воздействие; $\bar{D}$ – отсутствие повреждения; D – получение локального повреждения; $\bar{F}$ – работоспособность сохранена; F – система переходит в состояние отказа; М – узел мониторинга; КС – конечное состояние.

Причём риски $R_{пр}$ и $R_{кос}$ в формуле (1) определяются как [1]

$$R_{пр} = \int \int_{x \ y} U_{пр} f_{D|H}(y|x) f_H(x) dy dx, \quad (2)$$

$$R_{кос} = \int \int_{x \ y} U_{кос} P(F | D = y) f_{D|H}(y|x) f_H(x) dy dx, \quad (3)$$

где случайные величины X и Y – уровень (интенсивность) угрозы и повреждения; $f_z(z)$ – функция плотности распределения вероятности случайной величины Z .

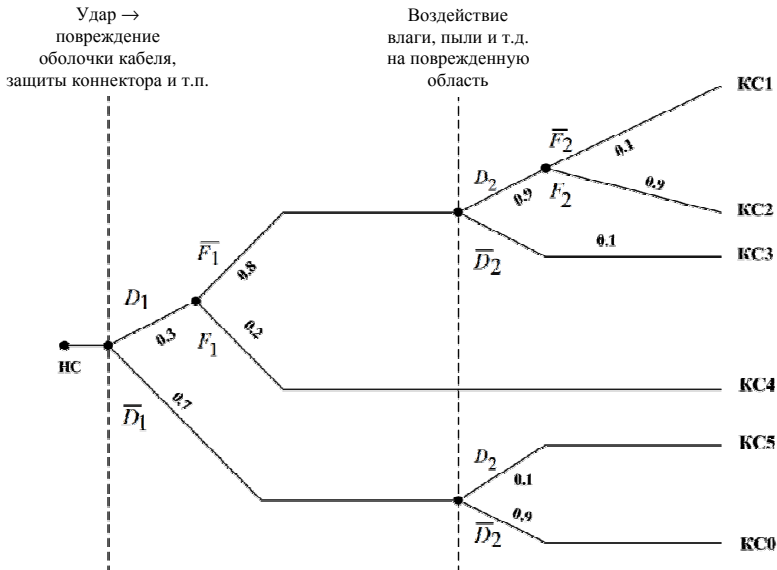


Рис. 1. Сценарное дерево для системы управления
(мониторинг состояния компонентов не осуществляется)

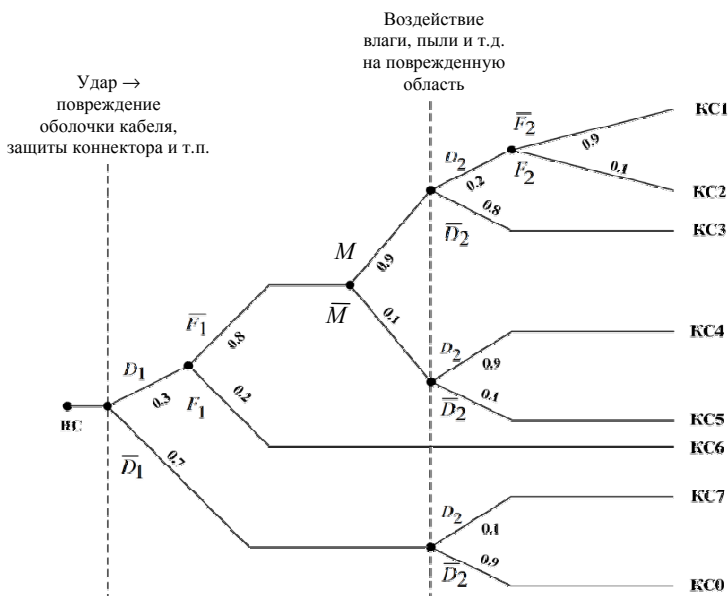


Рис. 2. Сценарное дерево для системы управления
(мониторинг состояния компонентов осуществляется)

Оценка живучести систем

Конечное состояние (KC_i)	Вероятность реализации, (P_i)	Ущерб прямой, ($U_{пр}$)*	Ущерб косвенный, ($U_{кос}$)*	Риск прямой, ($R_{пр}$)	Риск кос- венный, ($R_{кос}$)
KC1	0.022	3000	0	66	0
KC2	0.194	3000	10000	582	1940
KC3	0.024	1000	0	24	0
KC4	0.06	1000	10000	60	600
KC5	0.07	2000	10000	140	700
KC0	0.63	0	0	0	0
				Индекс живучести: 0,212	
с учётом мониторинга состояния компонентов					
KC1	0.039	3000	0	117	0
KC2	0.00432	3000	10000	12.96	43.2
KC3	0.173	1000	0	173	0
KC4	0.022	3000	10000	66	220
KC5	0.0024	1000	0	2.4	0
KC6	0.06	1000	10000	60	600
KC7	0.07	2000	10000	140	700
KC0	0.63	0	0	0	0
				Индекс живучести: 0.267	

* $U_{пр(D1)}$ —1000 у.е.; $U_{пр(D2)} = 2000$ у.е; $U_{кос} = 10000$ у.е. согласно [1].

Очевидно (таблица), что индекс живучести системы возрос в ~1,3 раза, что демонстрирует эффективность мониторинга технического состояния оборудования.

В качестве вывода необходимо отметить, что, конечно, не всегда внедрение средств дополнительного мониторинга (особенно аппаратных) является необходимым действием [3]. Для одних объектов, где цена риска очень высока (например, АЭС, химическое производство, космические аппараты и т.д.), – это безусловная необходимость, а для других – всего лишь путь к дополнительным денежным расходам, которых можно было избежать.

Библиографический список

1. Махутов Н.А., Петров В.П., Резников Д.О. Оценка живучести сложных технических систем // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2009. – № 3. – С. 47–66.
2. Васенёв М.Ю. Диагностика оборудования лесозаготовительных машин с использованием сетевого протокола на базе Industrial Ethernet // Системы. Методы. Технологии. – 2018. – № 4. – С. 148–152.
3. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.

Сведения об авторе

Васенёв Михаил Юрьевич – аспирант кафедры «Информационно-вычислительные системы» Поволжского государственного технологического университета, г. Йошкар-Ола, e-mail: AspIVS16.20@gmail.com

П.Н. Игнатьев, Н.Е. Опутин, Е.Л. Кротова

МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРЕУГОЛЬНОГО АРБИТРАЖА НА КРИПТОВАЛЮТНЫХ БИРЖАХ

В данной статье рассматривается методика торговли на криптовалютной бирже с помощью треугольного арбитража.

Ключевые слова: арбитраж, биржа, курс, ордер, транзакции, комиссия, обесценивание, трейдер, валюта.

P.N. Ignatiev, N.E. Oputin, E.L. Krotova

THE METHOD OF USING TRIANGULAR ARBITRATION ON A CRYPTOCURRENCY EXCHANGE

In this article the method of trading on a cryptocurrency exchange using triangular arbitration are considered.

Keywords: arbitration, exchange, course, order, transactions, commission, devaluation, trader, currency.

Арбитраж представляет собой торговлю на бирже, заключающуюся в использовании нескольких логически связанных сделок. Прибыль извлекается из разницы в цене на одни и те же активы или связанные друг с другом на одной или нескольких биржах.

В данной работе мы рассмотрим пример треугольного арбитража, который представляет собой теоретически безрисковую торговлю, основанную на неэффективности рынка. На практике же возникают значительные риски, которые могут привести к потере прибыли. Тем не менее данный вид арбитража может помочь трейдерам лучше понять, как саморегулируются рыночные цены.

Валютные пары. На биржах цены валют указаны в валютных парах. Это важно, потому что одна транзакция фактически включает две валюты в одном курсе. Розничный трейдер на самом деле не покупает и не продает какую-либо физическую валюту, а скорее покупает или продает перекрестный курс, который должен представлять собой стоимость покупки или продажи из одной валюты в другую. На практике, поскольку ни одна физическая валюта не переходит из рук в руки, торговля валютной парой аналогична торговле акцией или любой

другой финансовой единицей, где указанная цена является реальной, а прибыль или убыток определяется повышением цены данной единицы после покупки или её обесцениванием после продажи.

Пример треугольного арбитражного кольца. Примером треугольного арбитражного кольца является доллар США (USD), британский фунт (GBP) и евро (EUR) (рис. 1). Валютными парами, участвующими в такой арбитражной стратегии, являются EUR/USD, GBP/USD и EUR/GBP.

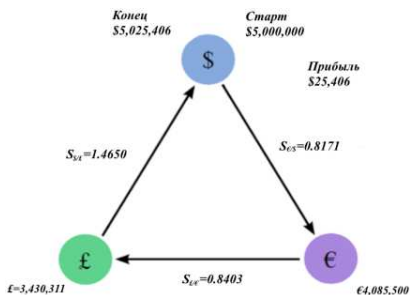


Рис. 1. Пример треугольного кольца

Обратите внимание, что эти пары можно рассматривать как алгебраическую формулу, где числителем выступает евро (EUR), а в знаменателе находится доллар (USD). Эти три валютные пары образуют трехстороннее кольцо. Чтобы рассчитать прибыль в данном кольце, необходимо произвести несложные алгебраические вычисления. В начальном состоянии у нас есть доллар (USD), далее нам необходимо купить евро (EUR), который следующим шагом продается за британский фунт (GBP), из которого в итоге мы должны получить доллар (USD). Итоговая формула выглядит так:

$$\frac{\text{EUR}}{\text{USD}} \cdot \frac{\text{GBP}}{\text{EUR}} \cdot \frac{\text{USD}}{\text{GBP}} - 1 = S(*),$$

где параметром S выступает коэффициент прибыли.

Либо можно использовать другую формулу:

$$\frac{\text{EUR}}{\text{USD}} \cdot \frac{\text{GBP}}{\text{EUR}} \cdot \frac{\text{USD}}{\text{GBP}} = A,$$

где A – коэффициент итогового объема денежных средств.

В большинстве случаев при прохождении кольца примерная прибыль равна нулю, но порой имеются серьезные отклонения от этого значения. Вся суть треугольного арбитража и заключается

в игре на этих отклонениях. Прибыль получают только те, кто оказываются быстрее. Поэтому для розничных трейдеров получение прибыли практически недостижимо. Поскольку этот тип «безрискового» треугольного арбитража чрезвычайно чувствителен ко времени, даже небольшой задержки в размещении ордера достаточно, чтобы свести на нет любую потенциальную прибыль.

Практическое применение треугольного арбитража рассмотрим на примере блок-схемы (рис. 2).

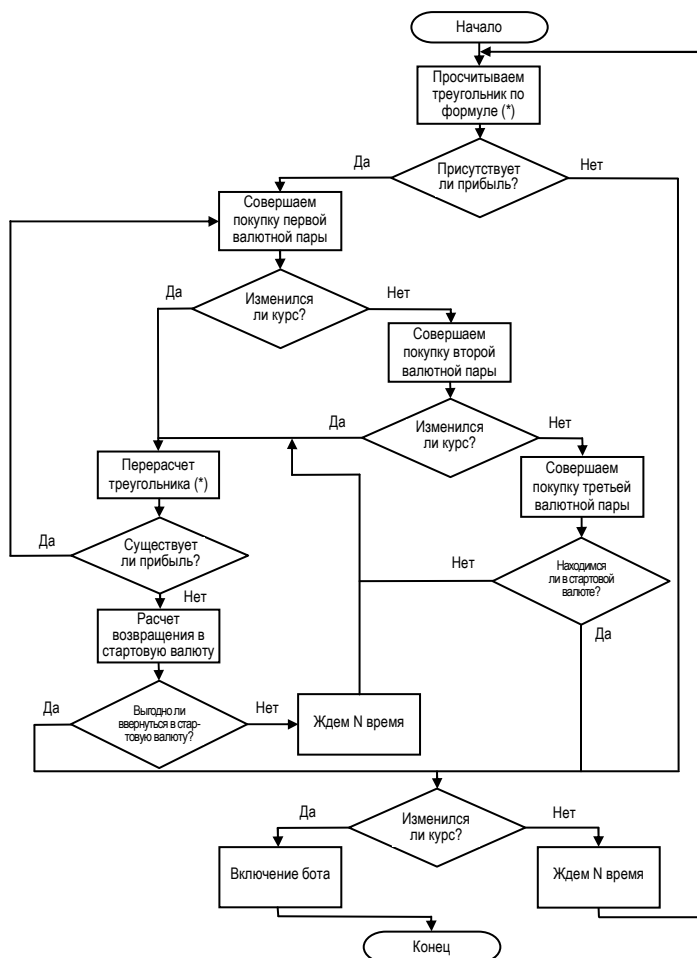


Рис. 2. Граф алгоритма торговли

Сделаем допущение, что в каждый момент расчета мы считываем действующие значения валютных пар. Также следует помнить, что на каждой бирже есть комиссия и она взимается при каждой совершенной сделке. Ещё один момент, который следует учесть, – это понятие стартовой валюты. В нашем случае мы исходим из того, что стартовой валютой является биткойн (BTC). Также при перерасчете треугольника не из стартовой валюты будет изменяться нумерация валютных пар. Первой будем считать ту пару, с которой начинается перерасчет текущего треугольника. Значения валютных пар были взяты с графиков изменения цены на бирже (рис. 3).

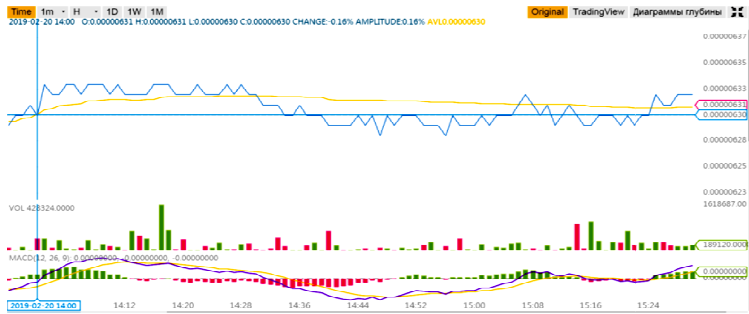


Рис. 3. Пример зависимости курса от времени. Курс TRX/BTC

В таблице мы можем наблюдать имитацию торгов на бирже в течение часа в соответствии с выбранными графиками.

Таблица

Расчет итогового объема валюта

Время	BTC/TRX	TRX/XRP	XRP/BTC	Прибыль	Итог
14:00	158730,1587	0,07612	0,0000828	-0,002564	1,000000
14:01	157977,8831	0,07612	0,00008278	-0,007531	1,000000
14:02	158227,8481	0,07623	0,00008281	-0,004163	1,000000
14:03	158227,8481	0,07623	0,00008287	-0,003442	1,000000
14:04	157977,8831	0,07623	0,00008288	-0,004896	1,000000
14:05	157977,8831	0,07623	0,00008289	-0,004776	1,000000
14:06	158227,8481	0,07623	0,00008285	-0,003682	1,000000
14:07	157977,8831	0,07644	0,00008285	-0,002516	1,000000
14:08	157977,8831	0,07643	0,00008289	-0,002165	1,000000
14:09	157977,8831	0,07643	0,00008286	-0,002526	1,000000
14:10	158227,8481	0,07638	0,00008289	-0,001240	1,000000
14:11	157977,8831	0,07624	0,00008292	-0,004285	1,000000
14:12	158227,8481	0,07618	0,00008305	-0,001932	1,000000
14:13	158227,8481	0,07616	0,00008307	-0,001954	1,000000
14:14	158227,8481	0,07616	0,0000831	-0,001594	1,000000
14:15	158227,8481	0,07616	0,00008318	-0,000632	1,000000
14:16	157977,8831	0,07616	0,00008309	-0,003291	1,000000
14:17	157977,8831	0,07616	0,00008306	-0,003651	1,000000
14:18	157977,8831	0,07616	0,00008312	-0,002931	1,000000
14:19	158227,8481	0,07616	0,00008307	-0,001954	1,000000
14:20	158227,8481	0,07616	0,00008306	-0,002074	1,000000

В первый столбец вписано время. В столбцах со 2-го по 4-й отображены валютные пары. В 5-м столбце можно увидеть итоговый объем валюты, который позволяет сделать вывод, что данный метод приносит прибыль и его реализация на практике принесет выгоду.

Библиографический список

1. Triangular Arbitrage 101. – URL: <https://sites.google.com/site/marketformula/articles/triangular-arbitrage-101> (accessed 18 February 2019).
2. Трейдинг с доктором Элдером. Энциклопедия биржевой игры. – М.: Альпина Паблишер, 2009. – 228 с.
3. Криптовалютная биржа Binance [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.binance.com/ru> (дата обращения: 20.02.2019).

Сведения об авторах

Игнатьев Павел Николаевич – бакалавр Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КЗИ-16-1б, г. Пермь, e-mail: homakig@gmail.com

Опутин Никита Егорович – бакалавр Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КЗИ-16-1б, г. Пермь, e-mail: oputin1906@mail.ru

Кротова Елена Львовна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Высшая математика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: lenkakrotova@yandex.ru

М.М. Кулагина, Ю.С. Маркина

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

В данной статье рассмотрены методы повышения надежности. В качестве примера подробно рассмотрен метод троирования.

Ключевые слова: надежность, дублирование, троирование, код Хемминга.

M.M. Kulagina, Ju.S. Markina

DEVELOPMENT OF METHODS FOR ASSESSING THE RELIABILITY

In this article, the methods for assessing the reliability are considered. As an example, the method of trading are considered in detail.

Keywords: reliability, duplication, troiding, Hamming code.

В настоящее время существуют сложные технические системы, которые являются практически невозстанавливаемыми. В частности, это касается аппаратуры, установленной на орбитальных спутниках и космических станциях, поэтому к этим системам предъявляются повышенные требования по надежности.

Основными характеристикам таких систем являются производительность и надежность. Для повышения надежности в систему вводится избыточность. Наиболее распространенным на данный момент является использование избыточных кодов, однако возможны и другие варианты: дублирование, мажорирование (троирование) и метод, использующий код Хемминга.

Для рассмотрения отказоустойчивых систем использованы способы количественной оценки ряда показателей функционирования: производительность, вероятность безотказной работы, среднее время безотказной работы, аппаратные затраты на реализацию метода.

Для каждого из способов повышения надежности (дублирование, троирование, метод, использующий код Хемминга) были разработаны методы оценки помехозащищенности. В рамках данных методов были рассмотрены структура ячейки системы, алгоритм функ-

ционирования, расчет вероятности возникновения ошибки, резервные ячейки памяти, оценка производительности отказоустойчивой системы и оценка аппаратных затрат на реализацию метода.

В качестве примера приведен метод троирования и рассмотрен во всех вышеперечисленных аспектах.

Информация заносится параллельно в три ячейки системы, которые выступают как одна избыточная ячейка информации. Структура ячейки системы приведена на рис. 1.

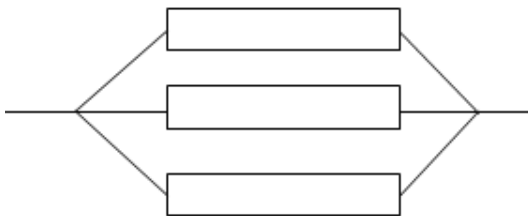


Рис. 1. Структура ячейки системы по методу троирования

Алгоритм обнаружения ошибок при чтении следующий. При считывании одноименные разряды ячеек сравниваются. Если значения одинаковые, информация считается правильно считанной. Иначе, правильное значение выбирается по большинству: два против одного. Таким образом, при любой кратной неисправности в одной из избыточных ячеек информация будет считана правильно. При этом также возможно определить, в какой именно ячейке возникла неисправность. В отличие от избыточного дублирования, нет необходимости проводить тестирование ячеек, и сбой в одном или нескольких битах одной ячейки, т.е. самоустраниющийся отказ, не приводит к отказу при чтении.

Структура из трех ячеек с двумя неисправными разрядами считается работоспособной, поскольку возникшая ошибка при чтении исправляется. В случае отсутствия резерва при возникновении следующего отказа в параллельной ячейке памяти считанные значения будут либо различными, но тестирование покажет, что неисправны все три ячейки, либо одинаковыми, если отказали одноименные разряды. То и другое приведет к ошибке при чтении. Таким образом, событие, при котором ошибка функционирования вызывает отказ, наступает при отказе трех разрядов в смежных ЯП (наступающих последовательно в течение расчетного интервала времени) и отсутствии резерва.

В ходе работы была выведена вероятность отказа системы за заданное время работы:

$$P_{\text{отк}} = \frac{C_{3n}^i - \sum_{k=1}^i 3C_{n-k}^k}{C_{3n}^i}. \quad (1)$$

Если эта вероятность меньше допустимой, то нет необходимости вводить резерв. В этом случае необходимый объем системы без резерва составляет $3n$ ячеек памяти.

В случае наличия необходимости резерва в системе была выведена формула определения количества резервных ячеек памяти r , необходимых для работоспособности в течение заданного периода времени $t_{\text{зад}}$ с допустимым коэффициентом достаточности K_d . Методом перебора можно найти такое количество резервных ячеек r , при котором вероятность выхода всех резервных ячеек из строя меньше заданной¹:

$$P_{j \leq r}(t) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^{\eta_i} \frac{(\lambda_i t_{\text{зад}})^j}{j!} e^{-\lambda_i t_{\text{зад}}}. \quad (2)$$

Оценку производительности выполним с помощью количественной оценки обратной характеристики – среднего времени задержки чтения данных с учетом следующих ограничений: поток неисправностей – ординарный, и поэтому сбой и отказ ЯП несовместимы по времени; аппаратура встроенной системы тестового диагностирования (ВСТД) не допускает ошибок первого и второго рода.

Вероятность отсутствия битовой ошибки в разряде ЯП, вызванной сбоем либо отказом,

$$p_p = 1 - p_{\text{отк}}. \quad (3)$$

Обозначим среднее время чтения информации в рабочем режиме t_p , а время чтения информации при наличии неисправности $t_{\text{нс}}$. Тогда среднее время задержки чтения данных исследуемой отказоустойчивой системы рассчитывается следующим образом:

$$\bar{t}_{\text{зад}} = p_p t_p + p_{\text{отк}} t_{\text{нс}}. \quad (4)$$

¹ Кон Е.Л., Кулагина М.М. Надежность и диагностика компонентов инфокоммуникационных и информационно-управляющих систем. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. 395 с.

Следовательно, количественная оценка производительности определяется как

$$\Pi = \frac{1}{t_{\text{зад}}}. \quad (5)$$

На рис. 2 приведена структура устройства, работающего в соответствии с рассматриваемым методом. В процессе чтения информация из трех ячеек переписывается в три буферные ячейки для сравнения мажоритарным органом. При совпадении результатов сравнения в двух из трех ячеек в выходной регистр системы отправляется информация любой исправной ячейки.

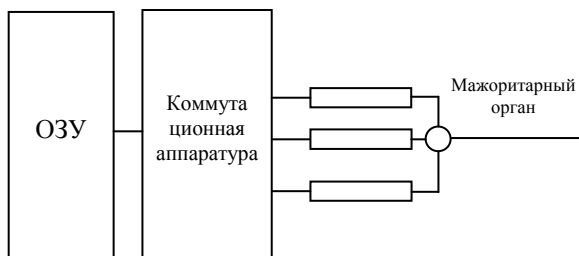


Рис. 2. Структурная схема отказоустойчивой системы, использующей троирование

В ходе разработки методов оценки повышения надежности были сделаны следующие выводы. По надежности характеристикам лучше всего себя показал метод троирования. С точки зрения аппаратных затрат наиболее эффективны метод дублирования и метод, использующий код Хемминга. Наиболее быстродействующими оказались метод троирования и метод, использующий код Хемминга.

Сведения об авторах

Кулагина Марина Михайловна – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: mmkulag@mail.ru

Маркина Юлия Сергеевна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТ1-18-1м, г. Пермь, e-mail: 39markina96@rambler.ru

С.А. Бобков, Д.С. Курушин

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КАЧЕСТВА
И СКОРОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ ОТ РАЗМЕРА
ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ ДЛЯ ДИАЛОГОВОЙ
СИСТЕМЫ, ОСНОВАННОЙ НА CMU SPHINX**

В статье описано исследование зависимости качества и скорости распознавания речи от размера обучающей выборки для диалоговой системы, основанной на CMU Sphinx.

Ключевые слова: обработка естественного языка, распознавание речи, языковые модели, адаптация к голосу, Word Error Rate, CMU Sphinx.

S.A. Bobkov, D.S. Kurushin

**RESEARCH OF DEPENDENCE OF QUALITY AND SPEED
OF SPEECH RECOGNITION FROM THE SIZE OF A TRAINING
SAMPLE FOR A DIALOGUE SYSTEM BASED ON CMU SPHINX**

The article describes the work carried out on the dependence of the quality and speed of speech recognition from the training sample size for an interactive system based on the CMU Sphinx.

Keywords: natural language processing, speech recognition, language models, adaptation to voice, Word Error Rate, CMU Sphinx.

За последние десятилетия появилось большое количество систем распознавания речи. С одной стороны, это коммерческие проекты, такие как Microsoft Speech-To-Text [1], Google Speech API [2] и Яндекс SpeechKit [3]. С другой стороны, существуют системы с открытым исходным кодом, которые позволяют собственноручно контролировать параметры распознавания и интегрировать себя в стороннее программное обеспечение. Среди opensource-распознавателей выделяют такие системы, как Julius [4], Kaldi [5], CMU Sphinx [6]. Главным отличием систем распознавания речи с открытым исходным кодом от коммерческих является их автономность – независимость от подключения к интернету, анонимность, которая достигается за счёт неиспользования сети, а также гибкость настроек. В соответствии с вышесказанным использование систем с открытым исходным кодом позволяет не только создавать такие продукты, которые были бы полностью автономными, работающими в специфической предметной области, но и применять их на пред-

приятиях и в структурах с высокой степенью секретности. Основываясь на исследовании зарубежных ученых [7], в котором проводилось сравнение opensource-систем, был сделан выбор в пользу CMU Sphinx.

Представим несколько ключевых понятий, используемых в системе:

1. Акустическая модель – отвечает за сопоставление звука и произнесенной фонемы.

2. Словарь – файл, в котором сопоставлены лексемы и фонемы для слов (слово и его транскрипция). Например, калькулятор (k au ll k u ll ja t au r). Он необходим для преобразования фонем, распознанных акустической моделью в лексемы.

3. Грамматика – формальные правила, которые описывают простые правила построения предложений.

4. Языковая модель – статистическая модель языка. Она описывает вероятности слов и их комбинаций. Таким образом, распознавание лексем – это максимизация правдоподобности распознанной фразы.

Цель исследования – найти зависимость точности и скорости распознавания речи от размера языковых моделей и наличия адаптации к определенному голосу.

В ходе работы сравнивались показатели для четырех языковых моделей с разным объемом и разной степенью адаптации к голосу. Адаптация к голосу изменяет коэффициенты в акустической модели, что позволяет более точно определять произнесенные звуки, и представляет собой обучение модели на WAV-файлах с записанными фразами из обучающей выборки.

Варианты размерности моделей:

1) стандартная модель системы (12712296 словосочетаний русского языка);

2) модель узкой предметной области (23 словосочетания);

3) модель средней ПО (8100 словосочетаний);

4) модель обширной ПО (82703 словосочетания).

Степени адаптации:

– адаптация на 1/4 обучающей выборки;

– адаптация на 1/2 обучающей выборки;

– адаптация на всей обучающей выборке.

В ходе первого эксперимента были замерены точность и скорость распознавания речи для четырех языковых моделей, описанных выше. Для чистоты эксперимента все фразы, поданные системе для распознавания, примерно одинаковы по длине ~ 20 символов. В качестве метрики оценки точности распознавания, была выбрана наиболее популярная

метрика в создании диалоговых систем word error rate (WER) [8] или же мера ошибки: данная метрика основана на методе сравнения разницы между двумя строками – расстояния Левенштейна. WER описывается так:

$$WER = \frac{INS+DEL+SUB}{N}, \quad (1)$$

где INS – количество вставленных символов; DEL – количество удаленных символов; SUB – количество замененных символов; N – количество символов в распознанном слове. Чем меньше значение WER, тем выше точность распознавания.

Для оценки времени распознавания мы будем использовать метрику real time factor (RTF) [9]. RTF является отношением времени, которое было затрачено системой на распознавание (TPP) к длине аудиофайла в секундах (LEN):

$$RTF = \frac{TPP}{LEN}. \quad (2)$$

Запись эксперимента представлена в табл. 1.

Таблица 1

Запись эксперимента № 1

Номер фразы	Исходная модель		Модель узкой ПО (предметной области)		Модель средней ПО		Модель обширной ПО	
	Точность (WER)	Время (RTF)	Точность (WER)	Время (RTF)	Точность (WER)	Время (RTF)	Точность (WER)	Время (RTF)
1	8	1,7	0	2,2	0	3,1	4	2,5
2	16	3,7	0	2,2	4	2,3	0	3,3
3	18	2,6	0	1,6	0	2,1	9	1,9
4	13	2,0	0	2,5	5	2,7	6	2,8

Исходя из табл. 1 можно сделать вывод, что точность (чем меньше значение WER, тем выше точность) падает в линейной зависимости от роста размера языковой модели.

Выводы по точности распознавания:

- в случае с исходной моделью система не смогла распознать практически ничего;
- для модели узкой ПО точность распознавания 100 %;
- используя модель средней ПО, система может ошибиться в одном слове;
- в случае с обширной моделью система ошибается уже стабильно в одном–двух словах.

Вывод по времени распознавания: как видно из табл. 1, время распознавания для всех моделей практически одинаково. Возможно, есть моменты, где зависимость от размера модели проглядывается, но в общем случае этой разницей во времени можно пренебречь. Хочется добавить, что время работы программы все же отличается, но только в момент загрузки данных моделей и зависит от размера модели.

В ходе второго эксперимента была замерена точность распознавания для тех же самых моделей, но адаптированных под конкретный голос. Записи эксперимента № 2 представлены в табл. 2–4.

Таблица 2

Запись эксперимента № 2 (Адаптация на 1/4 обучающей выборки)

	Исходная модель		Модель узкой ПО (предметной области)		Модель средней ПО		Модель обширной ПО	
	Точность (WER)							
Номер фразы	До адаптации	После адаптации	До адаптации	После адаптации	До адаптации	После адаптации	До адаптации	После адаптации
1	8	8	0	0	0	0	4	4
2	16	12	0	0	4	4	0	0
3	18	11	0	0	0	0	9	4
4	13	13	0	0	5	0	6	6

Таблица 3

Запись эксперимента №2 (Адаптация на 1/2 обучающей выборки)

	Исходная модель		Модель узкой ПО (предметной области)		Модель средней ПО		Модель обширной ПО	
	Точность (WER)							
Номер фразы	До адаптации	После адаптации	До адаптации	После адаптации	До адаптации	После адаптации	До адаптации	После адаптации
1	8	8	0	0	0	0	4	0
2	16	12	0	0	4	4	0	0
3	18	11	0	0	0	0	9	4
4	13	9	0	0	5	0	6	6

Таблица 4

Запись эксперимента №2 (Адаптация на всем объеме обучающей выборки)

	Исходная модель		Модель узкой ПО (предметной области)		Модель средней ПО		Модель обширной ПО	
	Точность (WER)							
Номер фразы	До адаптации	После адаптации	До адаптации	После адаптации	До адаптации	После адаптации	До адаптации	После адаптации
1	8	8	0	0	0	0	4	0
2	16	4	0	0	4	0	0	0
3	18	6	0	0	0	0	9	4
4	13	9	0	0	5	0	6	6

Как видно из табл. 2–4, при адаптации к конкретному голосу точность распознавания линейно растет в зависимости от количества тренировочных данных для адаптации. Есть возможность при увеличении размера тренировочных данных добиться 100 % точности и на стандартной модели системы, но, скорее всего, это будет не эффективно, если отталкиваться от времени, необходимого для этого процесса.

Данное исследование планируется продолжить в следующих направлениях:

- изучение возможностей других систем распознавания речи с открытым исходным кодом;
- измерение точности распознавания путем перевода русскоязычного медиаресурса с платформы «YouTube.com» путем сравнения распознанного текста с субтитрами, сформированными платформой.

Библиографический список

1. Microsoft Speech-To-Text // Microsoft Speech API. – URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/cognitive-services/speech/home> (accessed 17 April 2018).
2. Google Speech API // CLOUD SPEECH-TO-TEXT. – URL: <https://cloud.google.com/speech-to-text/> (accessed 17 April 2018).
3. Yandex SpeechKit // Cloud – Распознавание речи – Технологии Яндекса. – URL: <https://tech.yandex.ru/speechkit/cloud/doc/guide/concepts/asr-overview-technology-docpage/> (accessed 17 April 2018).

4. Julius // Julius: Open-Source Large Vocabulary Continuous Speech Recognition Engine. – URL: <https://github.com/julius-speech/julius> (accessed 17 April 2018).
5. Kaldi // Kaldi Speech Recognition Toolkit. – URL: <https://github.com/kaldi-asr/kaldi> (accessed 17 April 2018).
6. CMU Sphinx // CMU Sphinx OPEN SOURCE SPEECH RECOGNITION TOOLKIT. – URL: <https://cmusphinx.github.io/> (accessed 17 April 2018).
7. Comparing Open-Source Speech Recognition Toolkits / C. Gaida, P. Lange, R. Petrick, P. Proba, A. Malatawy, D. Suendermann-Oeft // Natural Language Processing and Cognitive Science. – Venice, Italy: 2014.
8. Levenshtein Distance, in Three Flavors. University of Pittsburgh. – URL: <https://people.cs.pitt.edu/~kirk/cs1501/Pruhs/Spring2006/assignments/editdistance/Levenshtein%20Distance.htm> (accessed 20 November 2018).
9. Real-time speech recognition for communication apps // Becominghuman.ai. – URL: <https://becominghuman.ai/real-time-speech-recognition> (accessed 20 November 2018).

Сведения об авторах

Бобков Сергей Алексеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ2-18-1м, г. Пермь, e-mail: brlt@mail.ru

Курушин Даниил Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: dan973@yandex.ru

Н.И. Щавровский

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ WORDPRESS ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В данной статье рассмотрен процесс разработки программного модуля WordPress с функциями автоматического контроля и учета электроэнергии. Программный модуль позволит расширить функции веб-сайта WordPress до информационно-аналитической системы контроля электроэнергии. Пользователи смогут получать статистику потребления электроэнергии посредством авторизации в личном кабинете на сайте WordPress с установленным программным модулем АСКУЭ.

Ключевые слова: автоматизация, электроэнергия, плагин, программный модуль, WordPress, учёт, интернет, передача данных, счётчик.

N.I. Shchavrovsky

WORDPRESS PLUGIN FOR AUTOMATIC CONTROL AND MONITORING OF ELECTRICAL ENERGY

This article describes the process of developing a WordPress plugin with functions of automatic control and monitoring electrical energy system. The plugin will expand the functions of the WordPress website to an information-analytical system for monitoring electricity. Users will be able to receive statistics on electricity consumption through authorization in a personal account page on the WordPress website with an installed plugin.

Keywords: automation, electrical energy, plugin, software module, wordpress, energy monitoring, meter, internet of things.

Развитие современных IOT (Internet of Things) («интернет вещей»), устройств, поддерживающих подключение к сети интернет, открывает широкие возможности для удаленного мониторинга объектов потребления электроэнергии. Данные о статистике потребления электроэнергии, собранные со всех энергетических объектов, становятся доступны пользователям посредством единой автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ).

В данной статье рассматривается разработка программного обеспечения АСКУЭ верхнего уровня, включающего веб-сайт WordPress, а также программный модуль WordPress с функциями АСКУЭ.

Объектом исследования является процесс хранения и анализа данных о потребляемой электроэнергии. Предметом исследования является программное обеспечение для автоматизации контроля потребления электроэнергии.

В задачи данной научно-практической работы входят:

- развернуть веб-сервер с установленными CMS WordPress и БД MySQL;

- разработать программный модуль WordPress с функциями АСКУЭ.

Технические аспекты развёртывания АСКУЭ. Опрос счетчиков выполняется в автоматическом режиме коммуникационным сервером или контроллером, расположенным на нижнем уровне (рис. 1). После получения данных от счетчиков нижний уровень выполняет передачу данных серверу, расположенному на верхнем уровне. Верхний уровень представлен в виде веб-сервера с внешним интерфейсом (API) для получения данных от нижнего уровня и последующего сохранения полученных данных в БД. Пользователи АСКУЭ получают данные о статистике потребления электроэнергии посредством веб-сайта, расположенного на верхнем уровне.

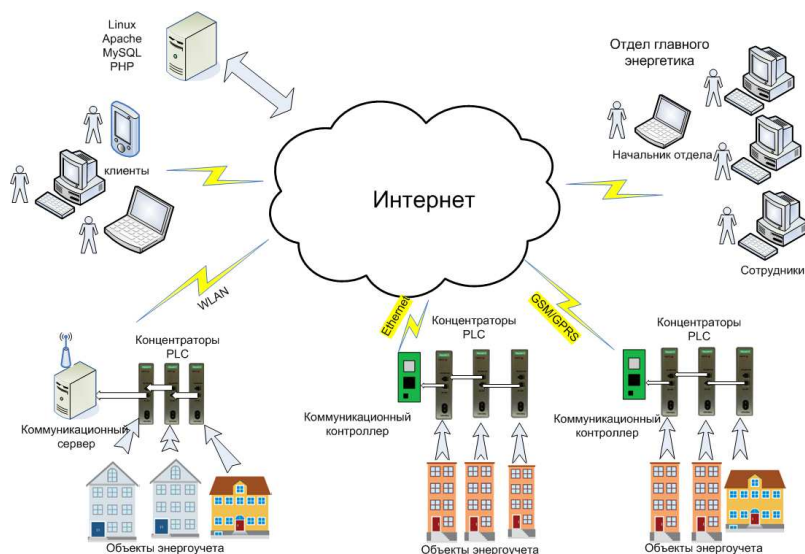


Рис. 1. Общая схема развёртывания АСКУЭ

Разработка веб-приложения АСКУЭ. Общей тенденцией в развитии современных АСКУЭ является использование облачных веб-технологий для доступа к серверам системы. Облачные веб-технологии обладают рядом преимуществ:

- обеспечивают доступ к системе с любого рабочего места через интернет и не требуют использования специализированного ПО;
- пользователь всегда будет работать с актуальной версией ПО.

На этапе технического проектирования было решено разрабатывать приложение АСКУЭ по технологии облачного хранилища. В качестве облака для хранения данных выступает веб-сервер с установленной системой управления содержимым сайта (CMS) WordPress и базой данных (БД) MySQL.

Система WordPress предназначена для управления содержимым сайта и позволяет разрабатывать веб-приложения, решающие любые типы задач – от интернет-блога до информационно-аналитической системы. Подобное масштабирование CMS WordPress достигается за счет механизма разработки подключаемых программных модулей (плагинов), а также возможности разработки шаблонов с версткой дизайна сайта.

Разработка программного модуля WordPress с функциями АСКУЭ. Функции контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) будут реализованы в виде подключаемого программного модуля (плагина) для WordPress, это позволит разворачивать АСКУЭ на любом сайте под управлением CMS WordPress. Программный модуль состоит из следующих компонентов:

- система авторизации и регистрации пользователей;
- личный кабинет пользователя (просмотр статистики энергопотребления);
- система администрирования (создание пользователей, разграничение прав доступа, добавление или изменение объектов);
- интерфейс API для получения и сохранения данных от счетчиков.

Разработка программного модуля (плагина) для WordPress начинается с определения класса плагина. Внутри класса описывается поведение плагина. Файл с классом плагина создается внутри корневого каталога с плагином. В начале выполнения плагина система WordPress обращается к файлу с именем плагина askue.php (рис. 2).

Затем инициализируется класс askue, в котором определяются функции, используемые плагином, а также переопределяются стандартные функции WordPress с использованием связей (англ. «Hooks»).

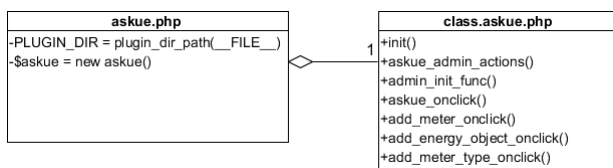


Рис. 2. Модель класса плагина АСКУЭ для WordPress

В дополнение к файлу с классом инициализации плагин может включать файлы с кодом PHP, JavaScript, CSS, графические изображения, файлы локализаций и т.д.

Со временем количество файлов плагина может возрастать. Чтобы не возникло путаницы при работе с файлами плагина, в начале разработки плагина необходимо определить четкую структуру папок, которой нужно будет придерживаться в дальнейшем процессе разработки (рис. 3).

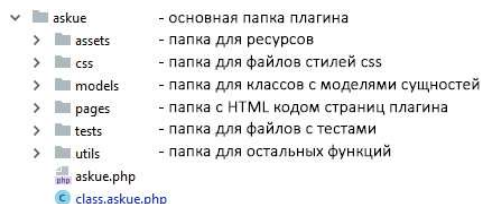


Рис. 3. Структура каталогов плагина АСКУЭ для WordPress

Доступ к данным. Доступ к таблицам БД осуществляется через класс-контроллер, который служит основной точкой доступа для базового соединения с постоянными реляционными данными приложения. Контроллер обеспечивает связь между таблицами БД MySQL и классами PHP, относящимися к таблицам. Для подключения к БД MySQL используется встроенный в WordPress класс wpdb, который содержит набор функций, используемых для взаимодействия с базой данных.

Принцип работы с данными заключается в следующем. Клиентское приложение на уровне отображения вызывает необходимый метод контроллера для получения выборки данных со списком классов

по определенному запросу. Контроллер обращается к базе данных, формирует список соответствующих классов и отправляет его отображению. Отображение выводит список данных пользователю. Таким образом, обеспечивается подход Model-View-Controller (MVC, «Модель-Представление-Контроллер», «Модель-Вид-Контроллер») – схема разделения данных приложения, пользовательского интерфейса и управляющей логики на три отдельных компонента: модель, представление и контроллер.

Система учета пользователей. Система учета пользователей включает в себя систему регистрации и авторизации пользователей в личном кабинете, а также страницу для управления аккаунтами пользователей. Система авторизации пользователей личного кабинета разрабатывалась с использованием PHP и MySQL. Все манипуляции по работе с введенными данными (например, вычисление хэш функций) выполняются на уровне PHP и затем сохраняются в БД MySQL. Пароль хранится на сервере в зашифрованном виде. Хэш пароля вычисляется PHP функцией `password_hash()` – создает хеш пароля, используя сильный, необратимый алгоритм хеширования. В качестве криптографической соли в алгоритме хеширования используется логин пользователя. За счет этого достигается устойчивость хэш-функций к коллизиям для одинаковых паролей пользователей с разными логинами.

Страница управления аккаунтами пользователей позволяет администратору просматривать, добавлять и изменять информацию об аккаунтах и группах пользователей. Переключение страниц со списком пользователей и поиск пользователей реализованы в асинхронном режиме с использованием языка JavaScript и технологии Ajax.

Вложенный список объектов. Список всех объектов потребления электроэнергии, подключенных к АСКУЭ, необходимо выводить в виде вложенного списка. Один энергетический объект, помимо счетчиков, может включать в себя другие энергетические объекты, создавая вложенный список объектов. Наиболее удобной структурой для отображения вложенных списков является дерево, ветвями которого являются связи между группами и элементами, состоящими в данных группах (рис. 4, а). Визуализация вложенных списков будет выполнена с использованием HTML-тэгов (рис. 4, б). Каждый вложенный объект образует новую подгруппу меню `<ul>` с элементами `<li>`.

Вложенный список объектов выводится в виде дерева. Чтобы настроить отображение связей вложенных элементов списка `<ul>`, необходимо настроить стили CSS.

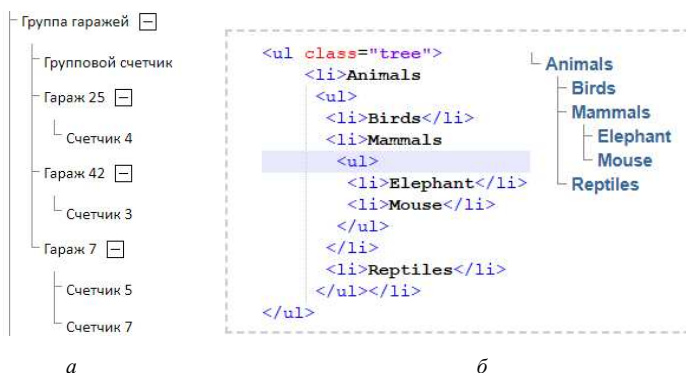


Рис. 4. Пример вложенного списка: а – вложенный список объектов АСКУЭ; б – организация вложенного списка тэгами и

Также потребуется создать три графических файла с изображениями вертикальной линии, промежуточной линии и конечной линии для визуализации ветвей дерева. Отображение вложенных списков с использованием тэгов и позволяет легко реализовать разворачивание и сворачивание списков, используя возможности JavaScript и движка HTML.

Вывод графиков. Для вывода графиков на странице HTML будет использоваться свободно распространяемая JavaScript библиотека «Flot.js». Flot – это библиотека JavaScript, работающая с библиотекой jQuery. Данная библиотека позволяет создавать динамические графики различных видов. Библиотека «Flot.js» имеет весь необходимый функционал для вывода графиков в разработанном плагине АСКУЭ. Для вывода статистики потребления электроэнергии использовался график гистограмма (рис. 5).

Получение показаний счетчика. Для получения показаний счетчиков от нижнего уровня разработана страница РНР с внешним интерфейсом API (Application Portable Interface) («портативный интерфейс приложения»). Данная страница принимает параметр POST со списком пакетов от нижнего уровня и выполняет разбор пакетов для извлечения информации о показаниях каждого счетчика.

Приходящее значение показаний от счетчиков может содержать не полное значение потребления электричества, а лишь последние несколько разрядов от общего значения. При этом необходимо учитывать возможность увеличения старшего разряда в числе, когда

последние несколько разрядов новых показаний счетчика меньше последних разрядов от предыдущих показаний счетчика.

Тестирование программного модуля АСКУЭ. Для тестирования РНР функций программного модуля АСКУЭ для WordPress были разработаны автоматические модульные тесты PHPUnit. PHPUnit – инструмент модульного тестирования с открытым исходным кодом для приложений, написанных на языке РНР. PHPUnit поддерживает фиктивные объекты и может быть использован для автоматизации тестирования веб-приложений с помощью сценариев HTTP клиента.

С использованием инструмента PHPUnit были разработаны автоматические тесты для проверки корректности функции добавления новых показаний счетчика, а также функции получения последних нескольких разрядов от целой части числа. В результате был разработан программный модуль WordPress с функциями автоматической системы по контролю и учету потребления электроэнергии (АСКУЭ). Программный модуль АСКУЭ установлен на сайт WordPress и размещен на хостинге в интернете. Разработанный программный модуль АСКУЭ может быть установлен на любой сайт, работающий под управлением системы WordPress. В процессе установки плагина автоматически создаются все таблицы в БД, необходимые для работы системы, а также разделы со страницами WordPress, на которых будет отображаться интерфейс плагина. Это позволяет упростить и ускорить развертывание всей системы АСКУЭ в целом.

Библиографический список

1. Ожегов А.Н. Системы АСКУЭ. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. – 99 с.
2. Рубцов Ю.Ф. Методологические основы создания составных элементов систем учета и управления потреблением энергоресурсов / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 1999. – 108 с.
3. Уильямс Б., Дэстрада Д., Стэрн Х. WordPress для профессионалов. Разработка и дизайн сайтов. – СПб.: Питер, 2014. – 464 с.

Сведения об авторе

Щавровский Николай Иннокентьевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. РИС-17-1м, г. Пермь, email: gar-gary@yandex.ru

М.С. Дедловский, Ю.В. Полищук, Я.В. Гончарова

MINIZINC – УНИВЕРСАЛЬНОЕ СРЕДСТВО СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЙ

Работа посвящена вопросам составления многосменных скользящих графиков работы сотрудников. Рассмотрены преимущества и основные методы составления графиков данного вида. Сформирована математическая модель, предназначенная для составления скользящих графиков. Выполнено сравнение между трехсменным графиком для семи сотрудников, сформированным в ручном режиме, и его аналогом, составленным с помощью языка моделирования ограничений MiniZinc, которое подтвердило перспективность применения MiniZinc в задачах составления скользящих графиков.

Ключевые слова: автоматизация, трехсменный график, скользящий график, линейное программирование, MiniZinc.

M.S. Dedlovskiy, Yu.V. Polishuk, Ya.V. Goncharova

MINIZINC IS A UNIVERSAL SCHEDULING TOOL

The work is devoted to the preparation of multi-shift sliding schedules of employees. The advantages and main methods of scheduling of this type are considered. A mathematical model designed for the preparation of moving charts is formed. A comparison is made between the three-shift schedule for seven employees, formed in manual mode, and its analogue, compiled with the help of the MiniZinc constraint modeling language, which confirmed the perspectives of MiniZinc application in the tasks of preparation of sliding schedules.

Keywords: automation, three-shift schedule, sliding schedule, linear programming, MiniZinc.

Деятельность многих современных организаций основана на предоставлении круглосуточно доступных сервисов, таких как техническая поддержка или справочная служба. Оказание таких услуг вынуждает руководство организации использовать скользящий график работы сотрудников. Такой график позволяет устанавливать круглосуточный режим работы и семидневную рабочую неделю.

Основным преимуществом скользящего графика работы является то, что он устанавливается по обоюдному согласию между сотрудником и руководством. Сотруднику это дает возможность самостоятельно определять даты выходных дней (смен) наиболее удобным

для себя образом. Руководству же такой подход позволяет организовать работников в бригады, что обеспечивает круглосуточную доступность сервисов. Однако необходимо отметить, что составление скользящего графика работы – это трудоемкий процесс, требующий знания специализированных алгоритмов дискретной математики [1].

К таким алгоритмам можно отнести [2]:

- алгоритм Гомори (cutting-plane method);
- метод ветвей и границ (branch and bound).
- алгоритм имитации отжига (simulated annealing);
- алгоритм пороговой допустимости (threshold accepting);
- поиск с запретами (tabu search);
- генетические алгоритмы (genetic algorithms);
- алгоритм Min-conflicts;
- нейронные сети (neural networks).

Рассмотрим пример задачи составления расписания скользящего графика работы для 7 сотрудников на месяц (длиной 31 день) [3]. Заданы следующие условия:

- один рабочий день включает 3 смены (дневную, вечернюю и ночную);
- необходимо, чтобы в каждую дневную и вечернюю смену работала бригада из двух сотрудников, а в каждую ночную – один сотрудник, однако 1-го, 25-го, 26-го и 31-го числа в ночную смену должна работать бригада из двух сотрудников;
- нужно учесть пожелания сотрудников относительно расположения выходных в расписании.

Расписание, составленное вручную, приведено на рис. 1. Символом «X» отмечены выходные смены, соответствующие пожеланиям сотрудников.

Составленное расписание удовлетворяет заданным условиям. Однако следует обратить внимание на некоторые недочеты. Например, у сотрудника 1 через день после ночной смены (4-го числа, в понедельник) стоит еще три смены. Такая конфигурация неудобна для сотрудника, к тому же, согласно Трудовому кодексу, ему необходимо минимум два полных выходных дня. Похожая ситуация наблюдается у сотрудника 5 (1-го числа, в пятницу). Однако подобные недочеты не являются критичными, поскольку в данном примере допускается переработка. Сверхурочная работа осуществляется с согласия сотрудника и оплачивается дополнительно.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	кол-во смен	кол-во выходных дней
	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс		
сотр. 0 (день)																																26	21
(вечер)																																	
(ночь)																																	
сотр. 1 (день)																																26	21
(вечер)																																	
(ночь)																																	
сотр. 2 (день)																																13	26
(вечер)																																	
(ночь)																																	
сотр. 3 (день)																																26	21
(вечер)																																	
(ночь)																																	
сотр. 4 (день)																																16	25
(вечер)																																	
(ночь)																																	
сотр. 5 (день)																																26	20
(вечер)																																	
(ночь)																																	
сотр. 6 (день)																																26	21
(вечер)																																	
(ночь)																																	

Рис. 1. Расписание, составленное вручную

Данная задача была сведена к задаче линейного программирования. В частности, к задаче нахождения минимума следующей функции:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n, \quad (1)$$

где $c_1, c_2, \dots, c_n \in R$.

Трехсменный скользящий график работы представляется в виде матрицы A размером $m \times n$, где m – общее количество смен; n – количество сотрудников. Элемент матрицы a_{ij} принимает значение 1 – в случае рабочей и 0 – в случае нерабочей j -й смены для i -го сотрудника. Требования, которым должен удовлетворять скользящий график, можно разделить на строгие и нестрогие. К строгим относятся следующие требования:

- количество сотрудников на одной смене должно соответствовать размеру бригады;
- смены, отмеченные как обязательные нерабочие, должны быть соответственно нерабочими.
- смены, отмеченные как обязательные рабочие, должны быть соответственно рабочими.

Представим требуемые размеры бригад в виде вектора $s = (s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n)$, где s_i – размер бригады на i -й смене.

Представим обязательные рабочие и нерабочие смены в виде матриц B и C размером $m \times n$, где m – общее количество смен; n – количество сотрудников.

Элементы матрицы $B - b_{ij}$ принимают значение 0 в случае обязательной рабочей j -й смены для i -го сотрудника, в остальных

случаях 1. Элементы матрицы $C - c_{ij}$ принимают значение 1 в случае обязательной нерабочей j -й смены для i -го сотрудника, в остальных случаях 0. К нестрогим относятся следующие требования:

- следует избегать одиночных рабочих смен;
- следует избегать одиночных нерабочих смен;
- после ночной смены должны следовать два полных нерабочих дня;
- после двух смен подряд должен следовать один полный выходной день.

На основе нестрогих требований можно определить и обозначить нежелательные конфигурации: P_1 – одиночные рабочие смены; P_2 – одиночные выходные смены; P_3 – ночные смены, после которых не следуют два полных выходных дня; P_4 – конфигурации двух смен подряд, после которых не следует один полный выходной день.

Чтобы задавать важность каждой нежелательной конфигурации введем вектор положительных действительных чисел $c = (c_1, c_2, c_3, c_4)$, где c_i коэффициент важности для P_i . Зададим значения коэффициентов важности $c = (1, 1, 5, 1)$.

Таким образом, задача линейного программирования для расписания выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^m a_{ij} = s_j, \quad j = \overline{1, n}, \\ \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = \mathbf{O} \\ \mathbf{A} \cdot \mathbf{C} = \mathbf{O} \\ x_1 = |P_1| \\ x_2 = |P_2| \\ x_3 = |P_3| \\ x_4 = |P_4| \\ \sum_{i=1}^4 c_i x_i \rightarrow \min. \end{array} \right. \quad (2)$$

Решением такой задачи будет матрица A , которая соответствует трехсменному скользящему графику работы для всех сотрудников.

Для реализации математической модели решения описанной задачи был выбран язык моделирования ограничений MiniZinc. MiniZinc может использоваться как средство создания моделей для решения оптимизационных задач и задач удовлетворения ограничений [4]. Однако следует отметить, что MiniZinc решает задачу. MiniZinc переводит в задачу в форму, понятную решателю. К под-

держиваемым по умолчанию решателям относятся: Chuffed; findMUS; Gecode; Gecode Gist; OSICBC.

В контексте текущей задачи нас интересует решатель OSICBC, поскольку он показал себя наиболее эффективным. CBC – это решатель задач линейного программирования с открытым исходным кодом, написанный на C++. CBC предназначен для использования в основном в качестве библиотеки для создания настраиваемых решателей на основе алгоритма ветвей и границ [5]. Полученное расписание приведено на рис. 2.

[illegible]

Рис. 2. Расписание, составленное с помощью MiniZinc

Сравнение расписаний приведено в таблице.

Сравнительная таблица вариантов расписаний

Сотрудник	Ручной вариант		MiniZinc	
	Кол-во смен	Кол-во полных выходных дней	Кол-во смен	Кол-во полных выходных дней
Сотрудник 0	26	21	25	21
Сотрудник 1	26	21	27	20
Сотрудник 2	13	26	14	26
Сотрудник 3	26	21	26	20
Сотрудник 4	16	25	15	25
Сотрудник 5	26	20	25	21
Сотрудник 6	26	21	27	20

По результатам таблицы можно заключить, что ручной вариант расписания и вариант, составленный с помощью модели MiniZinc, не имеют значительной разницы по количеству смен и полных выходных дней. Следует отметить, что в расписании модели MiniZinc присутствуют одиночные смены, в то время как в ручном варианте их нет. Однако вариант расписания модели MiniZinc не предполагает переработок и полностью соответствует Трудовому кодексу в отличие от ручного варианта расписания.

Скользящий график, составленный с помощью MiniZinc, не менее эффективен, чем аналогичный вариант, составленный вручную. Кроме того, использование модели MiniZinc позволяет экономить трудовые ресурсы, освобождая сотрудников от обязанности планирования расписания.

Стоит отметить, что в случае увеличения количества сотрудников сложность формирования скользящего расписания растет и в этом случае применение модели MiniZinc для его создания является обоснованным, а при определенных условиях даже необходимым.

Библиографический список

1. Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. – М.: МГУ, 2011. – 222 с.
2. Компания Nexign. Задачи планирования и программирование в ограничениях [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/company/billing/blog/342550/> (дата обращения: 15.03.2019).
3. Полищук Ю.В., Чумаков Р.В., Гончарова Я.В. О способе практической реализации трехсменного скользящего графика работы // Новые информационные технологии в образовании и науке: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 25 февраля – 1 марта 2019 г. / Рос. гос. проф.-пед. ун-т. – Екатеринбург, 2019. – С. 191–198.
4. MiniZinc documentation. – URL: <https://www.minizinc.org/doc-2.2.3/en/index.html> (accessed 11 May 2019).
5. CBC documentation. – URL: <https://coin-or.github.io/Cbc/intro> (accessed 15 May 2019).

Сведения об авторах

Дедловский Максим Сергеевич – студент Оренбургского государственного университета, гр. 14КБ(с)РЗПО, г. Оренбург, e-mail: maxim.dedlovsky@yandex.ru

Полищук Юрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Компьютерная безопасность и математическое обеспечение информационных систем» Оренбургского государственного университета, г. Оренбург, e-mail: youra_polishuk@bk.ru

Гончарова Яна Владимировна – магистрант Оренбургского государственного университета, гр. 18ТМО(м)МАНГП, г. Оренбург, e-mail: ianock2009@yandex.ru

Р.В. Мусорин, Д.А. Фадеев, Г.Ф. Масич

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ GEN-Z

В статье анализируются ключевые особенности нового интерконнекта GEN-Z, разрабатываемого экспертами более 50 производителей компьютерных систем, с целью обеспечения скоростных «memory-semantic» соединений между гетерогенными компонентами компьютерных систем. Таковыми являются центральные и графические процессоры, программируемые логические интегральные схемы (FPGA), энергозависимая и энергонезависимая память, межсистемные элементы и множество прочих устройств.

Ключевые слова: интерконнект, GEN-Z, семантическая связь.

R.V. Musorin, D.A. Fadeev, G.F. Masich

GEN-Z TECHNOLOGY OVERVIEW

The article analyzes the key features of the new GEN-Z interconnect, developed by experts from more than 50 computer system manufacturers in order to provide high-speed "memory-semantic" connections between heterogeneous components of computer systems. These are central and graphics processors, field-programmable gate array (FPGA), volatile and non-volatile memory, intersystem elements, and many other devices.

Keywords: interconnect, GEN-Z, semantic link.

Обработка и анализ огромных объемов данных требует создания новой технологии доступа, избегая при этом существующих узких мест в существующем интерконнекте PCIe. Для решения этих проблем компании компьютерной индустрии объединяются для создания новых отраслевых открытых стандартов в рамках консорциумов CCIX, CCX, OpenCAPI и GEN-Z. По сути, они являются взаимодополняющими открытыми стандартами, которые способствуют инновациям, совместной работе и в конечном итоге обеспечивают новые варианты использования в вычислительной системе разнообразных процессоров, ускорителей, памяти и систем хранения.

В настоящей статье предпринята попытка кратко изложить суть интерконнекта GEN-Z по материалам GEN-Z CORE SPECIFICATION Version 1.0, вышедших в феврале 2018 года. Функционал GEN-Z лаконично сформулирован на сайте одноименного консорциума –

«GEN-Z: An open systems interconnect designed to provide memory-semantic access to data and devices via direct-attached, switched or fabric topologies», суть которых заключается в следующем.

Open systems interconnect. Некоммерческий консорциум GEN-Z создает и развивает открытую экосистему, в которой участники, представители отрасли и клиенты могут совместно работать над созданием надежных, высококачественных спецификаций, отвечающих потребностям отрасли. Открытость «Open systems Interconnect» базируется на четырех принципах: 1) прозрачность – открытые процедуры принятия решений; 2) стандарт GEN-Z будет опубликован и доступен бесплатно; 3) отсутствие ограничений на повторное использование стандарта; 4) равенство – GEN-Z не отдает предпочтение одному исполнителю над другим.

Memory-semantic access. Как видно из рис. 1, при переходе к быстрой памяти типа OPM (on-package memory), интегрированной в чип и байт-адресуемой памяти SCM (Storage Class Memory), преобладающими становятся операции с памятью.

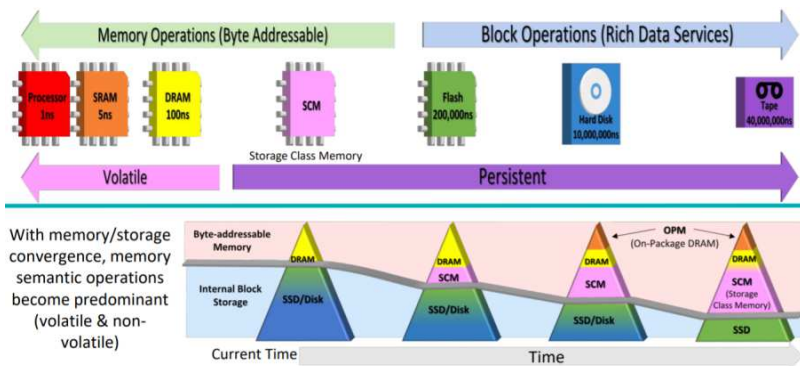


Рис. 1. Тенденции использования компьютерной памяти [1]

Поэтому семантика доступа к памяти Read/Write (чтение/запись) и Load/Store (загрузка/сохранение) положена в основу GEN-Z для обмена данными между любыми устройствами (компонентами) системы, как если бы они обменивались данными со своей локальной памятью. GEN-Z называет такой метод обмена «memory-semantic», который будет использоваться далее по тексту.

На рис. 2, а показан System-on-Chip (SoC) или CPU, который подключается к типичному интерфейсу DRAM по шине памяти. Как показано на рис. 2, б, архитектурное решение GEN-Z заключается в перемещении контроллера памяти из процессора в запоминающее устройство, в данном случае в память DRAM. GEN-Z, по сути, отделяет вычисления от носителя и размещает функции носителя там, где они и должны быть – на носителе [2].

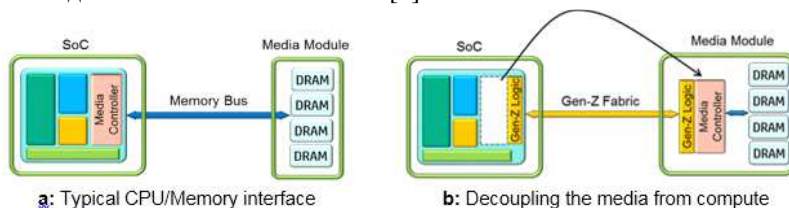


Рис. 2. Существующий SoC с DRAM и SoC с контроллером GEN-Z [3]

Аналогично GEN-Z поддерживает буферные операции «put» и «get» для перемещения до 2^{32} байта данных между буферами без какого-либо участия процессора. GEN-Z использует «memory-semantic»-протокол для взаимодействия нескольких типов компонентов. В терминологии GEN-Z, компонент представляет совокупность одного или нескольких ресурсов, и сопровождающих GEN-Z-линков для обмена с другими компонентами или сквозной (end-to-end) ретрансляцией пакетов в другие компоненты. Типы компонентов включают в себя процессоры, память, хранилище, ввод-вывод, FPGA, GPU, GPGPU, DSP и т.д. Универсальные коммуникации упрощают проектирование компонентов и построение требуемых вычислительных конфигураций.

Direct-attached, switched or fabric topologies. Интерфейс передачи данных GEN-Z предлагается как альтернатива PCIe, позволяя компонентам системы «общаться» друг с другом. Компоненты GEN-Z взаимодействуют друг с другом, используя пакетный протокол. Пакеты передаются по последовательным каналам, соединяющим компоненты. Протокол GEN-Z использует семантическую связь (семантические коммуникации) памяти для перемещения данных между компонентами [4].

На прошедшем Persistent Memory Summit (January 24, 2018) Майкл Краузе, вице-президент и научный сотрудник HPE (Hewlett Packard Enterprise), один из создателей консорциума GEN-Z, показал

многообразии линков GEN-Z (рис. 3). Топологии прямого подключения (Direct-attached) в вычислителе могут быть расширены фабрикой (fabric topologies), состоящей из одного или нескольких коммутаторов GEN-Z, соединенных по любой топологии. Этим обеспечивается возможность увеличения выделенной и создание разделяемой между компонентами памяти. Коммутаторы также могут быть интегрированы в любой тип компонента, включая процессоры, память, графический процессор, FPGA, ввод / вывод, «облегчая» одноранговые связи.

Локальные (link-local) пакеты передаются по каналу связи между двумя интерфейсами, а сквозные пакеты (end-to-end) работают между любыми двумя компонентами через одну или несколько промежуточных компонентов, (GEN-Z линки/свичи).

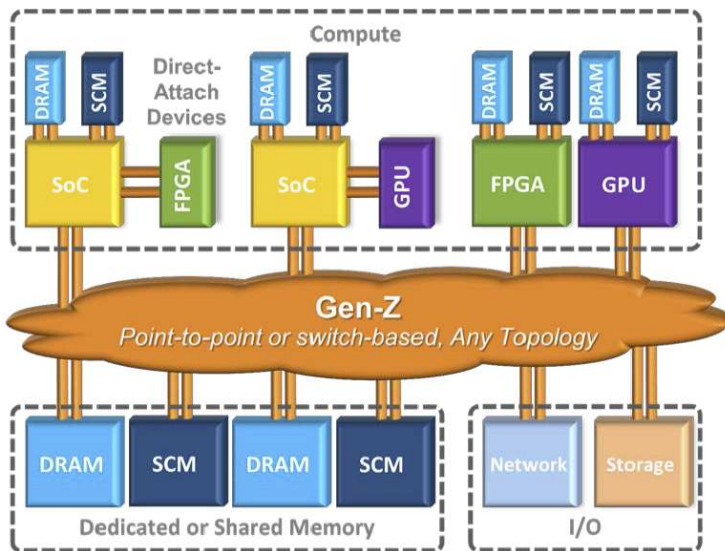


Рис. 3. Коммутация устройств при использовании GEN-Z [2, 5]

Интерфейсы GEN-Z поддерживают как медную, так и оптическую коммутацию между компонентами. GEN-Z предусматривает поддержку симметричных и ассиметричных путей соединения (конфигураций). Ассиметричные пути соединения выделяют больше дорожек для операций чтения, чем для операций записи, или, наоборот, обеспечивая более гибкое перераспределение полос [6].

Компьютерное оборудование быстро увеличивает производительность, в то время как требуемые изменения программного обеспечения не выпускаются. Задержки при обращении к памяти в многоядерном окружении начали достигать критических для работы приложений значений. Переход на новый протокол GEN-Z и новые межсоединения – это возможность снизить латентность (задержку) обращения к памяти до 100 нс и быстрее [2].

Вклад программного обеспечения в общую задержку при передаче информации составляет основную часть общего бюджета задержек для более быстрых устройств. Интерфейсы GEN-Z могут повысить производительность системы за счет устранения сложности, накладных расходов и общей задержки системы, присущих существующим устаревшим протоколам [2].

Конкурирующие технологии. Наряду с GEN-Z были сформированы три отраслевых консорциума для определения новых технологий интерконнекта – OpenCapi, CCIX, CXL. Подход каждого консорциума имеет свои уникальные аспекты, есть также и сходства. Атрибуты каждого проекта, где они пересекаются и где они различны, представлены в таблице. Каждая технология предлагает свой путь решения проблемы узкого места в системе – шины PCIe.

Сравнение конкурирующих стандартов [9]

Стандарт	GEN-Z 1.0	CCIX 1.0	OpenCapi 3.0	CXL 1.0
Год образования	Август 2016	Май 2016	Октябрь 2016	Март 2019
Физический уровень	IEEE802.3 PCIe PHY	PCIe 4.0 PHY	Bluelink 25G PHY используется и для NVLink 2.0	PCIe 5.0 PHY
Топология	p2p switched meshed	p2p switched	p2p switched	
Однонаправленная пропускная способность	16/25/56Gb/s/ lane up to x256	25Gb/s/lane up to x16	25Gb/s/lane up to x8	До 63 Gb/s на 16 линиях
Интерфейс, форм фактор	SFF-TA	PCIe	In definition	PCIe
Когерентность	Полная когерентность, определяемая протоколами	Полная когерентность кэша между процессорами и ускорителями	Когерентный доступ к памяти, когерентность кэша не поддерживается до v 4/0	Когерентность между хостом и ускорителем

Консорциум OpenCarу [opencarу.org], основанный в октябре 2016 года, разработал открытый интерфейс CAPI (Coherent Accelerator Processor Interface), предназначенный для устранения узких мест в компьютерных системах. Изначально разработанный IBM интерфейс CAPI использовался в системах на основе POWER8. Виртуальная адресация и когерентность позволяют любому процессору взаимодействовать с ускорителями, устройствами ввода-вывода и оперативной памятью нового поколения, не создавая избыточной нагрузки на микропроцессор. В системах на базе OpenCarу приложения взаимодействуют с устройством, используя семантику прямого доступа к памяти (DMA – direct memory access), следовательно, нет необходимости в программном ядре, которое излишне нагружает ЦП [7, 9].

Консорциум CCIX (Cache Coherent Interconnect for Accelerators) [ccixconsortium.com] разрабатывает платформу, реализующая возможность межчипового и бесшовного обмена данными между процессорами общего назначения (процессорными ядрами), ускорителями и памятью. Все эти подсистемы объединены разделяемой виртуальной памятью с согласованием кэша. В основе спецификаций CCIX 1.0 лежит архитектура PCIe 4.0, однако наработки консорциума в области быстрой коррекции ошибок позволят по каждой линии обмениваться данными со скоростью до 25 Гбайт/с [8, 9].

CXL (Compute Express Link) [www.computeexpresslink.org] представляет собой кэш-когерентный интерконнект. Образованный в марте 2019 года консорциум CXL, которому Intel передала свой разработанный стандарт CXL 1.0, опирается на технологию PCIe 5.0 и способен обеспечивать пропускную способность 3,9 Гбайт/с по одной линии или 63 Гбайт/с по 16 линиям. Если верить Intel, CXL будет использовать восемь линий PCIe 5.0, что дает пропускную способность 32 Гбайт/с [10].

Усилия консорциумов OpenCarу, GEN-Z, CCIX и CXL направлены на раскрытие потенциала новых технологий памяти и формирование – на основе открытых стандартов – экосистемы для вычислительных систем нового поколения. Все четыре отраслевых консорциума решают задачу создания высокопроизводительных коммуникаций для разнообразного нового оборудования и обеспечения совместимости устройств [7].

Однако если OpenCarу, CCIX и CXL создают преимущества когерентности для гетерогенного многочипового серверного узла, то

GEN-Z дополнительно предоставляет возможности для расширения технологий доступа с микросекундной задержкой к байт-адресуемую памяти SCM и ускорителям, расположенными за пределами одного шасси, открывая ряд интересных и перспективных архитектурных возможностей. Следует также подчеркнуть, что универсальные коммуникации упрощают проектирование компонентов и построение требуемых вычислительных конфигураций.

Библиографический список

1. Memory-Driven Computing. – URL: <https://slideplayer.com/slide/13149650/> (accessed 05 April 2019).
2. Архитектура Gen-Z в различных вариантах использования [Электронный ресурс]. – URL: <https://genzconsortium.org/wp-content/uploads/2018/05/Gen-Z-Overview.pdf> (дата обращения: 07.02.2019).
3. Краткий обзор Gen-Z [Электронный ресурс]. – URL: <https://genzconsortium.org/wp-content/uploads/2018/05/Gen-Z-Overview-V1.pdf> (дата обращения: 22.04.2019).
4. Учебные материалы Gen-Z [Электронный ресурс]. – URL: <https://genzconsortium.org/educational-materials/> (дата обращения: 09.04.2019).
5. Persistent Memory Summit/New interconnects. – URL: [https://www.snia.org/sites/default/files/PM-Summit/2018/presentations/13PMSummit 18 interconnects UPDATED.pdf](https://www.snia.org/sites/default/files/PM-Summit/2018/presentations/13PMSummit%20interconnects%20UPDATED.pdf) (accessed 09 May 2019).
6. Вопросы и ответы Gen-Z [Электронный ресурс]. – URL: <https://genzconsortium.org/faqs/> (дата обращения: 20.03.2019).
7. OpenCAPI: ускорение ускорителей. – URL: <https://www.osp.ru/lan/2017/04/13051904/> (accessed 27 March 2019).
8. Спецификации CCIX [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ccixconsortium.com/library/specification/> (дата обращения: 07.04.2019).
9. CCIX, GEN-Z, OpenCAPI: Overview & Comparison. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=w-rAjl1iqrw> (accessed 12 April 2019).
10. Подробности интерконнекта CXL [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.hardwareluxx.ru/index.php/news/hardware/prozessoren/46903-intel-interconnect-day-2019-cxl-interconnect.html> (дата обращения: 01.05.2019).

Сведения об авторах

Мусорин Роман Викторович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ1-17-1мз, г. Пермь, e-mail: mysorin0@gmail.com

Фадеев Денис Анатольевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ1-17-1мз, г. Пермь, e-mail: megadenis@gmail.com

Масич Григорий Федорович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, заведующий лабораторией Института механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь, e-mail: masich@icmm.ru

И.А. Любченко, И.П. Болодурина

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ
ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
С ФАЗОВЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ**

В данной статье рассмотрены методы решения задач оптимального управления с фазовыми ограничениями. В работе приведено аналитическое решение задачи, решение задачи с помощью метода штрафных функций с использованием проекции градиент.

Ключевые слова: методы, ограничения, оптимальное управление.

I.A. Lubchenko, I.P. Bolodurina

**COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS
OF SOLVING OPTIMAL CONTROL PROBLEMS
WITH PHASE CONSTRAINTS**

This article describes methods for solving optimal control problems with phase constraints. The paper presents an analytical solution of the problem, the solution of the problem using the method of penalty functions using the gradient projection.

Keywords: method, restriction, optimal control.

Управление экономическими процессами имеет большое значение в современном мире. Однако неправильное планирование в сфере экономики может привести к большим потерям. В связи с этим планирование необходимо осуществлять на основе методов и законов управления, построенных на математических методах.

Динамика процессов в сложных экономических системах обычно записывается в виде обыкновенных дифференциальных уравнений, а целенаправленное воздействие на процессы системы представляется управляющими функциями. Изучение данных процессов может выполняться с помощью постановки и решения задач оптимального управления, для которых является актуальной разработка численных методов решения.

Здесь рассмотрена модельная задача оптимального управления с фазовыми ограничениями.

Рассмотрим задачу с ограничениями на фазовую переменную:

$$\begin{cases} \max \int_0^3 (4-t)u dt, \\ x' = u, \\ x(0) = 0, \\ x(3) = 3, \\ t+1-x \geq 0, \\ u \in [0; 2]. \end{cases} \quad (1)$$

Построим для нашей задачи функцию Понтрягина и функцию Лагранжа:

$$H = (4-t)u + \lambda \cdot u, \quad (2)$$

$$L = (4-t) \cdot u + \lambda u + \mu(t+1-x). \quad (3)$$

Также задача должна удовлетворять следующим необходимым условиям:

$$u(t) \in \arg \max_{u \in [0; 2]} (4-t+\lambda)u, \quad (4)$$

$$\lambda' = -\frac{\partial L}{\partial x} \rightarrow \lambda' = \mu, \quad (5)$$

$$\mu \geq 0 \quad (=0 \text{ если } t+1-x > 0). \quad (6)$$

Вид подынтегральной функции $f(t, x, u) = (4-t)u$ позволяет положить $u = 2$ в первой части интеграла $[0; 3]$; так как $x(0) = 0$, то существует $\tau_1 > 0$, такое, что ограничение $h(t, x) = t+1-x$ неактивно на отрезке от 0 до τ_1 , то есть ограничение $t+1-x > 0$, следовательно, на этом интервале $\mu = 0$, из чего следует, $\lambda = A$ согласно (5), где A – константа.

Предположим, что на отрезке от 0 до τ_1

$$t < 4 + A, \quad (7)$$

т.е. ограничение $4-t+\lambda > 0$, из чего следует, что на этом интервале управление примет вид $u(t) = 2$, из этого динамические и начальные условия дают $x(t) = 2$. Для такой траектории ограничения $h(t, x(t)) = t+1-x(t) = 1-t > 0$, следовательно, $t < 1$, получаем $\tau_1 = 1$.

Чтобы обеспечить максимум, лучшим является выражение $f(t, x, u) = (4 - t)u$ на траектории, удовлетворяющей ограничениям на интервале от 1 до τ_2 для некоторого $\tau_2 > 1$. Для обеспечения этого рассмотрим условие в точке $\tau_1 = 1$:

$$\lambda(\tau_1^-) - \lambda(\tau_1^+) = \beta_1 \frac{\partial h(\tau_1, x(\tau_1))}{\partial x} = -\beta_1, \quad \nabla_x h(t, x(t)) g(t, x(t), u(t)) = -u(t).$$

Так как для $t < 1$ управление имеет вид $u(t) = 2$ и чтобы иметь $h(t, x(t)) = 0$ для отрезка $t \in [1, \tau_2)$, потребуем, чтобы управление принимало вид на этом отрезке $u = 1$. Управление имеет точку разрыва в $t = 1$, следовательно, условие дает $\beta_1 = 0$ и $4 - t + \lambda = 0$ на отрезке $[1, \tau_2)$, λ непрерывно в точке τ_1 , чтобы выполнить принцип максимума Понтрягина для $t \in [1, \tau_2)$, положим $\lambda(t) = t - 4$, непрерывность такого множителя в $t = 1$ обеспечивает $A = -3$, при этом (7) выполняется.

Более того, из (6) имеем $\mu = 1$ на отрезке $[1, \tau_2)$. Так как $u \geq 0$ и траектория является неубывающей функцией $x' = u$, то, чтобы получить граничное условие $x(3) = 3$, можно рассмотреть $\tau_2 = 2$ и $u = 0$ на конечном интервале $[2, 3]$. Ясно, что при таком выборе u имеет разрыв в точке $\tau_2 = 2$, и, выполняя вычисление, получим, что λ непрерывно в $t = 2$.

Для отрезка $t \in (2, 3]$ ограничение неактивно, $\mu = 0$ и $\lambda = B$, где B – константа. Непрерывность множителя в точке $t = 2$ дает $B = -2$. Получаем следующую таблицу с конечными значениями:

Таблица 1

Результаты аналитического решения

	x	u	λ	μ
$[0; 1]$	$2t$	2	-3	0
$[1; 2]$	$t + 1$	1	$t - 4$	1
$[2; 3]$	3	0	-2	0

Значение функционала получено путем склеивания в точках разрыва и равно: $J^*(u) = 9,5$.

Сведем задачу оптимального управления (1) к минимуму и включим фазовые ограничения в функционал с помощью штрафных слагаемых:

$$J(u) = -\int_0^3 (4-t)u dt + A_k(x(3)-3)^2 + B_k \int_0^3 (\max(-t-1+x, 0))^2 dt \rightarrow \min,$$

где $\lim_{k \rightarrow \infty} A_k = \infty$, $\lim_{k \rightarrow \infty} B_k = \infty$.

Приведем непрерывную задачу оптимального управления (1) к дискретному виду. Для этого разобьем отрезок $t \in [0; 3]$ на q равных частей:

$$\left\{ \begin{array}{l} J(u) = -\sum_{i=0}^q (4-t^i)\Delta t + A_k(x^q-3)^2 + B_k \sum_{i=0}^{q-1} (\max(-t-1+x, 0))^2 \Delta t \rightarrow \min, \\ x^0 = 0, \\ x(t_i) = x^i, \\ u(t_i) = u^i, \\ x^{i+1} = u^i \Delta t + x^i, \\ \lim_{k \rightarrow \infty} A_k = \infty, \quad \lim_{k \rightarrow \infty} B_k = \infty, \end{array} \right. \quad (8)$$

где Δt шаг разбиения.

Составим функцию Лагранжа для дискретной задачи (8):

$$\begin{aligned} L(x, u, \lambda_0, \lambda) = & -\lambda_0 \sum_{i=0}^q (4-t^i)u^i \Delta t + A_k(x^q-3)^2 + \\ & + B_k \sum_{i=0}^q (\max(-t^i-1+x^i, 0))^2 \Delta t + \lambda_1^{i+1} \sum_{i=0}^{q-1} (x^{i+1} - u^i \Delta t - x^i). \end{aligned} \quad (9)$$

Условия стационарности функции Лагранжа по фазовым переменным:

$$\frac{\partial L}{\partial x^l} = 2B_k \max(-t^l-1+x^l, 0)\Delta t + \lambda_1^l - \lambda_1^{l+1} = 0, \quad (10)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x^q} = 2A_k(x^q-3) + 2B_k \max(-T-1+x^q, 0)\Delta t + \lambda_1^q = 0, \quad (11)$$

где $l = 0, 1, 2, \dots, q-1$.

Условие минимума функции Лагранжа по управлению

$$\frac{\partial L}{\partial u^l} = -\lambda_0(4-t^l)\Delta t - \lambda_1^{l+1}\Delta t. \quad (12)$$

Из условия стационарности функции Лагранжа, выведем рекуррентные соотношения для нахождения сопряженных переменных:

$$\lambda_1^l = \lambda_1^{l+1} - 2B_k \max(-t^l - 1 + x^l, 0)\Delta t, \quad (13)$$

$$\lambda_1^q = -2A_k(x^q - 3) - 2B_k \max(-T - 1 + x^q, 0)\Delta t. \quad (14)$$

Для поиска оптимального решения нашей задачи разработано программное средство в среде Microsoft Visual Studio 2017 на языке Visual C# с использованием алгоритма проекции градиент (рисунок).

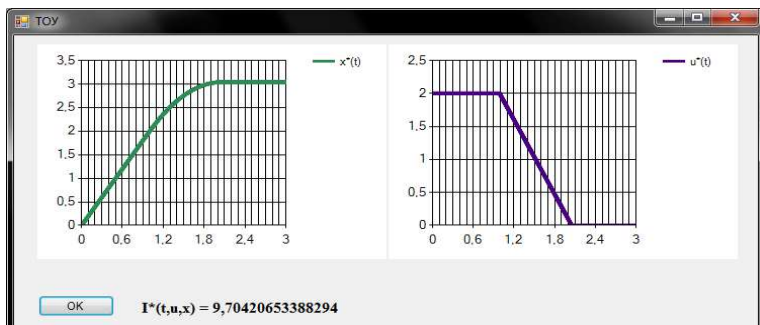


Рис. Результат работы программы

Решение задачи методом штрафных функций равно 9,704.

Проведем сравнительный анализ решения, полученного специализированным методом, и метода штрафных функций с использованием алгоритма проекции градиент.

Таблица 2

Оценка точности решения

Оценка точности решения	
Аналитическое значение	Метод штрафных функций
9,5	9,704

Оценка погрешности, полученной методом штрафных функций,

$$|J(x^*) - J(u)| = 0,204,$$

где $J(x^*)$ – аналитическое решение задачи вариационного исчисления; $J(u)$ – решение, полученное методом штрафных функций.

Опираясь на полученные результаты, можно сделать следующий вывод: так как аналитическое решение крайне затруднено из-за фазовых ограничений, более простым подходом будет приближенное решение такой задачи; полученная точность является относительно высокой. Также метод штрафных функций был применен для экономической задачи, полученная погрешность составила 0,16, такая погрешность вполне может удовлетворять найденному решению задачи.

Библиографический список

1. Математическое моделирование и оптимальное управление: учеб.-метод. пособие для самост. работы студентов / Е.А. Андреева, И.П. Болодурина, О.С. Арапова, Т.А. Огурцова. – Оренбург: Изд-во Оренбург. гос. ун-та, 2009. – 152 с.
2. Федоренко Р.П. Приближенное решение задач оптимального управления. – М.: Наука, 1976. – 488 с.

Сведения об авторах

Любченко Илья Андреевич – магистрант Оренбургского государственного университета, гр. 17ПМИ(м)ООУ, г. Оренбург, e-mail: welvelc@mail.ru

Болодурина Ирина Павловна – доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная математика и информатика» Оренбургского государственного университета, г. Оренбург.

Л.А. Клейман, В.И. Фрейман

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНЫХ СОБЫТИЙ В КАЧЕСТВЕ ИНСТРУМЕНТА ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

В данной статье описан метод моделирования дискретных событий. В частности, описана структура модели, к которой должна быть приведена моделируемая система, и кратко описана суть метода. Также в данной статье был освещён вопрос применения данного метода в качестве инструмента диагностики элементов информационно-управляющей системы.

Ключевые слова: моделирование дискретных событий, информационно-управляющая система, ИУС, сущность, атрибуты, ресурсы.

L.A. Kleiman, V.I. Freyman

DISCRETE EVENT SIMULATION METHOD AS INSTRUMENT FOR DIAGNOSIS INFORMATION CONTROL SYSTEM'S ELEMENTS

This article describes a method for modeling discrete events. In particular, the structure of the model is described, to which the simulated system should be reduced and the essence of the method is briefly described also. This article addresses the issue of using this method as a tool for diagnosing the elements of an information management system.

Keywords: discrete event modeling, information management system, IMS, entity, attributes, resources.

В настоящее время, различные управляющие системы, стали очень сложны. Это объясняется тем, что резко увеличивается число элементов системы, повышается производительность, оборот информации, совершенствуются методы коммуникации, системы становятся распределёнными. У предприятий нет большого желания вводить в эксплуатацию системы, которые недостаточно хорошо описаны, а элементы таких систем сложнодиагностируемы. В сфере образования, в высших учебных заведениях, также могут использоваться такие системы. Для повышения качества образования [1, 2] необходимо, чтобы у каждого заинтересованного студента или аспиранта была возможность качественно изучить систему и понять алгоритм её работы. В связи с этим актуальной становится задача описания сложных

систем, моделирования их работы и совершенствования методов диагностирования [3]. В данной статье будет рассмотрен метод моделирования дискретных событий и его применение в рамках системы диагностики элементов информационно-управляющих систем.

Метод моделирования дискретных событий. Метод моделирования дискретных событий (Discrete event simulation – DES) – метод представления сложной физической системы, поведение которой можно описать чёткой последовательностью событий. Как следует из названия, события в такой системе происходят в отдельные моменты времени, вызывая при этом изменения в системе.

Такая модель включает в себя ряд элементов:

1. Сущность – объекты, вызывающие какие-либо изменения в системе. Сущность представляет все объекты, которые требуют отображения в системе (например, люди, машины). Также сущности могут контактировать друг с другом, например бороться за ресурсы.

2. Атрибуты – свойства, описывающие сущности. Если сущностью является человек, его атрибутами могут быть возраст, пол, сумма на банковском счете. Именно атрибуты сущности меняются в процессе моделирования, проходя через события.

3. Ресурсы – объекты системы, посредством которых происходит переход сущности от одного состояния (события) к другому. При этом атрибуты сущности претерпевают некоторые изменения. Характеристикой ресурса является вместимость, то есть число сущностей, которые могут обшиваться в единый момент времени. Выходной характеристикой дискретного моделирования может являться коэффициент использования ресурса (resource utilization), который определяется по формуле

$$K_{\text{исп}} = \frac{\sum t_{\text{исп}}}{t_{\text{общ}}},$$

где $t_{\text{исп}}$ – время использования ресурса на определённом этапе моделирования; $t_{\text{общ}}$ – полное время моделирования.

4. Очередь – список, по которому сущность получает доступ к ресурсу, если в данный момент ресурс занят. Существует несколько видов логик формирования очереди:

- а) FIFO (*First In, First Out* – первым пришёл – первым ушёл);
- б) LIFO (*Last In, First Out* – последним пришёл – первым ушёл);
- в) HVF (*Highest Value First* – наибольшее значение, определённое по некоторому правилу) (например, больной с сердечным приступом имеет больший приоритет, чем больной с заложенностью носа).

5. Событие – фиксированное состояние системы (например, сущность появилась в системе, сущность прошла преобразование).

6. Действие – процесс перехода системы от одного события до следующего ближайшего события.

7. Процесс – совокупность действий и событий, к которым эти действия приводят [4].

Система моделируется путем идентификации изменений, происходящих в ней в моменты свершения событий. Задача исследователя заключается в описании событий, которые могут изменить состояние системы, и в определении логических взаимосвязей между ними (рис. 1).

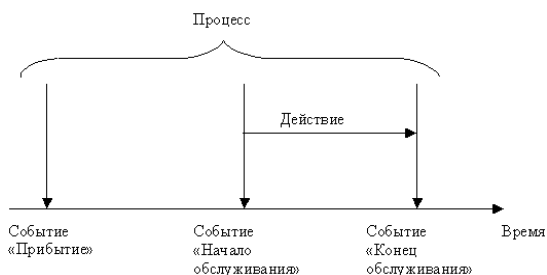


Рис. 1. Связь между событиями, действиями и процессами

Применение DES в качестве инструмента системы диагностики элементов ИУС (рис. 2).

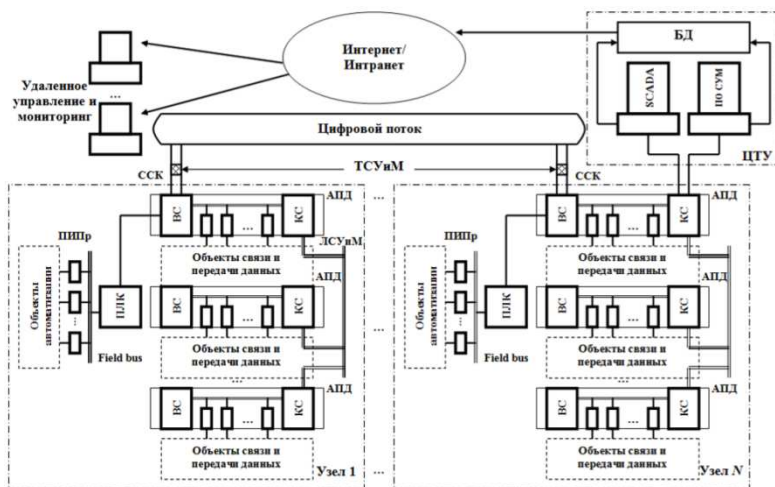


Рис. 2. Общая модель ИУС [6]

Информационно-управляющая система (ИУС) – цифровая система контроля и/или управления некоторым реальным объектом. Особенности ИУС: работа в реальном масштабе времени; высокие требования по надежности и безопасности функционирования; эксплуатационные и инструментальные особенности; непрерывный режим функционирования; оператор часто отсутствует; нештатные ситуации должны разрешаться самой вычислительной ИУС [5].

Сопоставим элементы системы с элементами модели.

1. Сущностью системы является *информация*. Именно её атрибуты трансформируются, и именно она вызывает различные события в системе. Её путь начинается из внешней среды, она попадает в ПИПр (первичный информационный преобразователь), в нём трансформируется, передаётся во вторичный преобразователь информации – ПЛК (программируемый логический контроллер), в котором также претерпевает трансформацию.

2. Атрибутами информации являются *смысловая нагрузка* и *тип информации* (аналоговая информация, цифровая информация, команда).

3. Ресурсами являются *ПИПр* и *ПЛК*, так как с помощью них производится переход между событиями системы и трансформация атрибутов сущности.

4. *Очередь* может возникнуть, например, при постоянно поступающих данных на первичный информационный преобразователь, который при этом ещё не закончил обработку предыдущего пакета информации.

5. Перечень событий: поступление информации на ПИПр → Обработка информации ПИПр → Передача информации на ПЛК → Обработка информации ПЛК → Передача информации (в виде команды) на ПИПр.

Опишем, как данный метод можно использовать в диагностике элементов ИУС. Элементами диагностики в данном случае являются ПИПр, ПЛК и коммуникационное оборудование. Возможны три вида симуляции (рис. 3), которые способны охватить все три объекта диагностики такого вида систем:

1. *Полная симуляция*. Суть данной симуляции – полностью про- симулировать цикл реальной системы для поиска возможных неисправностей в программном коде контроллера и методах коммуникации. В рамках мониторинга и диагностики может быть использована следующим образом:

- использовать вызвавшие ошибки входные/выходные данные с диагностируемого PLC для симуляции полного цикла работы с конкретными данными и повторения/неповторения поведения объектов системы;
- при повторении ошибки выяснить причину с помощью DEBUG-инструмента. В противном случае проблема, вероятнее всего, в коммуникационном оборудовании, искажающем передаваемые между объектами системы данные.

Такой инструмент может быть полезен на этапах разработки системы, обновления и масштабирования.

2. *Симуляция уровня локального управления.* В рамках такой симуляции первичные преобразователи информации (физические устройства) подключаются к симулятору локального управления. Такую конфигурацию можно использовать для диагностики непосредственно первичных преобразователей информации. Проверятся корректность их работы, корректность поступающих от них данных. Особенно это может быть эффективно, если ошибка «плавающая», то есть возникает редко и при определённых редко проявляющихся обстоятельствах.

3. *Симуляция уровня первичных преобразователей информации.* Данный подход способен изолировать устройство локального управления и продиагностировать его быстро со всем возможным потоком входных данных, убирая временной факт (задержку между поступающими данными) на первичных преобразователях.

В качестве среды моделирования можно использовать среду Anylogic. Она предоставляет множество возможностей дискретно-событийного моделирования, таких как симуляция очередей, задержек, ресурсов, задач и т.п. (рис. 4).

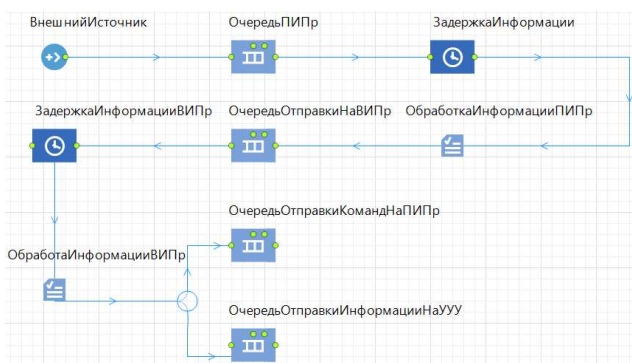


Рис. 4. Пример моделирования элементов информационно-управляющей системы в среде AnyLogic

Подход симуляции позволить снизить время простоя системы и повысить надёжность её элементов за счёт повышения скорости реагирования на неисправности и скорости их устранения. Также такой подход может быть использован на этапе разработки и масштабирования системы, позволяя выявить возможные неисправности до ввода системы в эксплуатацию.

Библиографический список

1. Обеспечение качества высшего образования / А.М. Александров, В.Е. Магер, Л.В. Черненькая, А.В. Черненький // Открытое образование. – 2016. – Т. 20, № 4. – С. 10–16.

2. Никифоров В.И., Речинский А.В., Черненькая Л.В. Понятийно-терминологический аппарат государственных образовательных стандартов системы непрерывного профессионального образования // Alma mater (Вестник высшей школы). – 2013. – № 11. – С. 43–47.

3. Клейман Л.А., Фрейман В.И., Южаков А.А. Мониторинг и диагностика беспроводных информационно-управляющих систем // Вестн. Поволж. гос. технолог. ун-та. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2018. – № 4(40). – С. 58–73.

4. Young M. Lee. Discrete event simulation modeling of resource planning and service order execution for service businesses / Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference S, 2007.

5. Степанова А.С., Муромцев Д.Ю. Анализ развития информационно-управляющих систем с использованием научно-технологического форсайта // Изв. Самар. науч. центра РАН. – 2009. – Т. 11, № 5(2). – С. 354–357.

6. Фрейман В.И., Южаков А.А. Диагностирование и оценка состояния элементов систем управления распределенными инфраструктурами // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2018. – Т. 19, № 2. – С. 86–94.

Сведения об авторах

Клейман Лев Александрович – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, e-mail: smarttty@yandex.ru

Фрейман Владимир Исаакович – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, e-mail: vfrey@mail.ru

И.А. Шмидт, И.А. Калинин

ТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ДАННЫХ ПОИСКОВОЙ ВЫДАЧИ

В данной статье рассматривается метод описания данных поисковой выдачи для решения задач анализа текстовой информации, полученной при помощи отправки запроса поисковым системам в сети Интернет.

Ключевые слова: анализ, система, тематика, запрос, интернет, поиск, выдача.

I.A. Shmidt, I.A. Kalinin

THEMATIC DESCRIPTION OF SEARCH DATA EXTRACT

This article discusses the method of describing search results data for solving problems of analyzing textual information obtained by sending a request to search engines on the Internet.

Keywords: analysis, system, subject, query, Internet, search, issue.

Поиск информации в сети Интернет сводится к отправке пользователем поисковых запросов специальным сервисам или поисковым системам. Результатом ответа выступает список веб-страниц, которые содержат различную информацию: текст, картинки, видео. Для того чтобы оценить качество текстовой информации или произвести её анализ по определенным критериям, необходимо представить текстовую информацию в виде, удобном для оценки или анализа. Представление информации зависит от методов, которые используются при её анализе. Существует большое количество методов анализа текста и их программных реализаций [3]. Попробуем описать в данной статье метод представления данных для решения задачи контент-анализа [5] – определение тематической составляющей текстовой информации, полученной в результате отправки поискового запроса поисковым сервисам или системам в сети Интернет.

Для решения задачи представления информации воспользуемся графематическим методом представления информации [4]. Результатом работы данного метода является текст, структурированный по определенным правилам. Структурная единица для данного метода – графема,

которая описывает кусок текста в виде одного символьного массива. При разбиении текста на графемы необходимо учитывать условия решаемой задачи. Для задачи контент-анализа – определения тематики текста, которая включает в себя количественную методiku, основанную на категориальной системе, необходим тематический словарь. Рассмотрим примеры категориальных систем, различающихся между собой по способу создания и использования тематического словаря:

1. Создание рубрикатора или предметного словаря, включающего определенное количество тематик и их описания экспертом. С одним из примеров реализации можно ознакомиться в работе [1]. В ней описан алгоритм создания классификатора, который определяет тематическую принадлежность сверхкоротких текстов, имитирующих запрос пользователя поисковым сервисам в интернете на основе тематического словаря, составленного экспертом.

2. Создание тематического словаря в рамках специального формата описания данных. Данный способ описания тематического словаря характерен для методов машинного обучения, которые позволяют произвести анализ текстовой информации на основе обучающей выборки [2]. Здесь предлагается набор методов машинного обучения для решения задач интеллектуального анализа данных. Для работы системе необходимо предоставить набор обучающих данных, сформированных согласно требованиям формата описания тематического словаря.

Вывод: рассмотренные категориальные системы работают на основе тематических словарей, уже сформированных и описанных определенным образом для решения поставленной задачи при определённых условиях: наличие данных для обучающей выборки, составление тематического словаря экспертом. Основная цель нашей статьи – описать принцип построения тематического словаря для категориальной системы с учетом особенностей её применения. Необходимо учесть следующие факторы при построении категориальной системы: возможность автоматически определять тематику полученных данных; отсутствие первичных данных для обучающей выборки; влияние текста посылаемого запроса на тематическую составляющую поисковой выдачи.

Разобьем задачу на несколько этапов.

1. Представление исследуемого текста из веб-страниц, полученных в результате запроса в виде массива терминов. Из каждой веб-страницы извлекается текст, который приводится в каноническую

форму – убираются все стоп-слова, прилагательные, текст разбивается на словоформы – термины. Каждая веб-страница представляется как совокупность терминов (1) (рис. 1).



Рис. 1. Веб-страница как совокупность терминов

2. Добавление характеристик в представление веб-страницы, полученных после тематического анализа веб-страницы, – тематический вес веб-страницы(6) (рис. 2).



Рис. 2. Добавление характеристик в представление веб-страницы

Описание процесса вычисления тематического веса: для каждой из веб-страниц вычисляется множество коэффициентов схожести(3) с другими веб-страницами, один элемент из этого множества – результат сравнения двух веб-страниц поисковой выдачи на схожесть(2); потом каждой веб-странице сопоставляется совокупность названия тематик и их коэффициентов, путем отправки запроса на сервис MegaIndex(4). Далее с учетом схожести данных поисковой выдачи вычисляется тематический вес для каждой веб-страницы (6).

3. Описание процесса вычисления тематического веса запроса приведено на рис. 3. Представление запроса поисковой системе с учетом результатов тематического анализа данных поисковой выдачи. В описание запроса добавляется тематический вес поискового запроса(8) (рис. 4).



Рис. 3. Процесс вычисления тематического веса запроса



Рис. 4. Представление запроса поисковой системе с учетом результатов тематического анализа данных поисковой выдачи

Результат работы алгоритма вычисления тематического веса – оценка качества представляемой информации поисковой системой в виде тематического веса каждой страницы поисковой выдачи, совокупность которых позволяет судить о качестве всего поискового запроса или актуальности полученных данных. Основное условие для определения тематических весов: для похожих по текстовому составу веб-страниц названия тематик должны совпадать.

Список формул для алгоритма вычисления тематического веса представлен в табл. 1.

Таблица 1

Список формул для алгоритма вычисления тематического веса

$H_j = H_h + H_b = \{w_1, w_2 \dots w_q\}$	1
$P(H_j, H_f) = H_j \cap H_f = \sum_{i=1}^q h_i$	2
$P_j = \{P(H_j, H_{i=1, i \neq j}), P(H_j, H_{i=2, i \neq j}) \dots P(H_j, H_{i=n, i \neq j})\}$	3
$T_j(H_j) = \{N_{j,1} K_{j,1}, N_{j,2} K_{j,2}, N_{j,3} K_{j,3}\} = T_{j,k}(N_{j,k} K_{j,k})$	4
$t(T_j(H_j), T_i(H_i)) = \frac{1}{3+3+2} \sum_{k=1}^3 \sum_{m=1}^3 (K_{j,k} + K_{i,m}) t(N_{j,k}, N_{i,m})$	5
$S_j(H_j) = \frac{1}{(n-1)!} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)! t(T_j(H_j), T_i(H_i)) P(H_j, H_i)$	6
$S = \{S_1(H_1), S_2(H_2) \dots S_n(H_n)\} = S_n$	7
$Z(S) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i$	8
$h_i = \begin{cases} 1, w_j = w_i \\ 0, w_j \neq w_i \end{cases}$	9
$t(N_{j,k}, N_{i,m}) = \begin{cases} 1, N_{j,k} = N_{i,m} \\ 0, N_{j,k} \neq N_{i,m} \end{cases}$	10

4. Добавление характеристик словаря к описанию запроса (рис. 5). В описание запроса добавится тематический словарь, который состоит из названий тематик, их описаний в виде терминов, коэффициента мощности для найденных тематик.

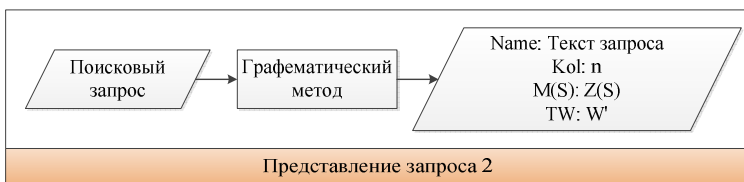


Рис. 5. Добавление характеристик словаря к описанию запроса

Описание процесса создания тематического словаря представлено на рис. 6.

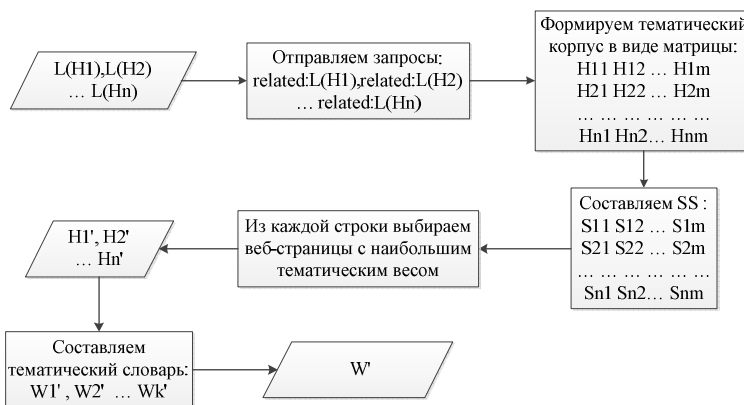


Рис. 6. Процесс создания тематического словаря

Данный алгоритм описывает процесс формирования тематического словаря (18). Сначала формируется тематическая база данных (11): для каждой из веб-страниц, поискового запроса формируется список веб-страниц, схожих по тематике, путем отправки запроса `related: L(Hj)` поисковой системе Google, где `L(Hj)` – адрес сайта, на котором размещена веб-страница. Каждая строка этой матрицы (11) объединяет веб-страницы, схожие по тематике между собой. Потом для каждой веб-страницы из матрицы (11) вычисляется тематический вес (6) и составляется тематическая матрица (12). Из каждой строки тематической матрицы (11) выбирается веб-страницы с наибольшим тематическим весом. На основе их формируются тематики (15). Название тематики определяется при помощи отправки запроса на сервис MegaIndex, выбирается тематика с наибольшим коэффициентом схожести (14).

Строится описание тематики – массив терминов и коэффициент мощности тематики $Pw_j(19)$. При совпадении названия тематик остается одна тематика (18), для которой вычисляется новый коэффициент мощности (20). Тематика (18) включает в себя только те термины, которые присутствуют во всех одинаковых тематиках.

Список формул для алгоритма формирования тематического словаря представлена в табл. 2.

Таблица 2

Список формул для алгоритма формирования тематического словаря

$HH = \{H_{11}, H_{12} \dots H_{1m} \dots H_{n1} \dots H_{nm}\}$	11
$SS = \{S_{11}(H_{11}) \dots S_{1m}(H_{1m}) \dots S_{n1}(H_{n1}) \dots S_{nm}(H_{nm})\} = \{S_1, S_2 \dots S_n\}$	12
$T'_j(H_j) = \max\{N_{j1}, K_{j,1}, N_{j2}, K_{j,2}, N_{j3}, K_{j,3}\} = \{N_{j,max}, K_{j,max}\}$	13
$T'_j(N_j) = \{T'_j(N_j), T'_j(K_j)\} = N_{j,max}$	14
$W_j = Pw_j\{w_1, w_2 \dots w_q\}$	15
$W = \{W_1, W_2 \dots W_n\}$	16
$W'_j = Pw'_j\{w_1, w_2 \dots w_q\}$	17
$W' = \{W'_1, W'_2 \dots W'_k\}$	18
$Pw_j = K_{j,max}Z(S_j)$	19
$Pw'_j = \sum_{i=1}^n Pw_i t(N_j, N_i)$	20

Для практической реализации решения поставленной задачи была составлена программа на языке Java, которая позволяет произвести оценку в виде графа данных поисковой выдачи путем определения степени тематической значимости каждой веб-страницы, взаимодействия с сервисом MegaIndex для расчета тематического веса всех веб-страниц и поискового запроса в целом. Также для поискового запроса формируется тематическая база в виде тематического словаря, который может использоваться различными системами для анализа текстовой информации, в зависимости от условий решаемых задач.

Результат работы – дополнительное описание данных поисковой выдачи и всего поискового запроса в целом. Полученный результат можно интегрировать в выдачу поисковых систем, что позволит предоставить пользователю краткое описание запроса в виде тематического словаря, определить значимость каждой из тематик в поисковом запросе, а также произвести оценку работы поискового сервиса, вычислив тематическую значимость каждой веб-страницы поисковой выдачи и всего запроса в целом.

Библиографический список

1. Тематический анализ запросов пользователей на основе предметно-ориентированного словаря / Е.А. Сидорова, С.В. Анохин, И.С. Кононенко, Н.В. Саломатина // Вести Новосиб. гос. ун-та. Сер.: Информационные технологии. – 2014. – Т. 12, вып. 4. – С. 83–95.
2. Дьяконов А. Г. Анализ данных, обучение по прецедентам, логические игры, системы WEKA, RapidMiner и MatLab: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2010.
3. Пошатаев О.Н., Хорошилов А.А. Методы анализа текстов в технологиях «Big Data» // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции: материалы XV Всерос. науч. конф. RCDL-2013, Ярославль, 14–17 октября. – Ярославль, 2013. – С. 30–38.
4. Седунов А.А. Модель графематического анализа в системе обработки естественного языка // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Системный анализ и информационные технологии. – 2007. – № 2. – С. 69–77.
5. Семёнова А.В., Корсунская М.В. Контент-анализ СМИ: проблемы и опыт применения / под ред. В.А. Мансурова. – М.: Институт социологии РАН, 2010. – 324 с.

Сведения об авторах

Шмидт Игорь Альбертович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shmidt-ia@yandex.ru

Калинин Иван Алексеевич – инженер-программист Пермского кадетского корпуса Приволжского федерального округа им. героя России Ф. Кузмина, Пермский край, Пермский район, с. Усть-Качка, e-mail: iv.kalinin1990@yandex.ru

Д.А. Бортник, Г.Ф. Масич

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ
ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ
НАУЧНОЙ СЕТИ ПО ТРЕБОВАНИЮ
ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ**

В данной статье сформулирована существующая проблема управления сетевыми ресурсами в научно-образовательных сетях. Предложен подход к ее решению с использованием разработанной системы на основе технологии SDN. Описаны задачи, решаемые системой в целом и каждым из ее компонентов. Представлена архитектура системы и описан принцип ее работы.

Ключевые слова: компьютерные сети, SDN, автоматизация.

D.A. Bortnik, G.F. Masich

**DEVELOPMENT OF DYNAMIC END-TO-END BANDWIDTH
PROVIDING SYSTEM TO CONFIGURE SCIENTIFIC
NETWORKS FOR HIGH PERFORMANCE
APPLICATIONS DEMANDS**

In this article the existing problem of network resources control at scientific networks described. An approach to its solution using the developed system based on SDN technology is proposed. The tasks solved by the whole system and each of its components are described. Also presented the system architecture and the key principles of its operation is shown.

Keywords: computer networks, SDN, automation.

Эффективность проведения современных научно-исследовательских экспериментов, генерирующих значительный поток данных, во многом зависит от надежности сетевой инфраструктуры. Специфика подхода обработки в реальном времени на суперкомпьютере потока измеряемых данных [1] требует образования гарантированно-го скоростного канала связи между взаимодействующими системами.

В научно-образовательной сети ПФИЦ УрО РАН проводятся эксперименты по основным направлениям исследований, и их результаты проходят обработку на вычислительном кластере «Тритон» с пиковой производительностью 12 GFlops [2]. Перед запуском эксперимента

создается канал с гарантированной пропускной способностью между экспериментальной установкой и вычислителем.

В настоящее время данный процесс происходит в ручном режиме: сетевой администратор настраивает каждый коммутатор на пути создания канала для возможности прохождения трафика между нужными узлами и установления необходимой пропускной способности. Очевидно, что данный процесс с использованием ручной настройки обладает рядом недостатков, таких как высокие трудовые и временные затраты, влияние человеческого фактора. Необходима его автоматизация.

Для решения данной проблемы была разработана система, основанная на технологии программно-конфигурируемых сетей (SDN). Данная технология является новым подходом для программирования сети, то есть для динамического контроля, изменения и управления поведением сети через открытые интерфейсы. SDN подчеркивает роль использования программного обеспечения в сетях путем введения абстракций на уровне передачи данных, тем самым отделяя ее от уровня управления, как показано на рис. 1 [3].

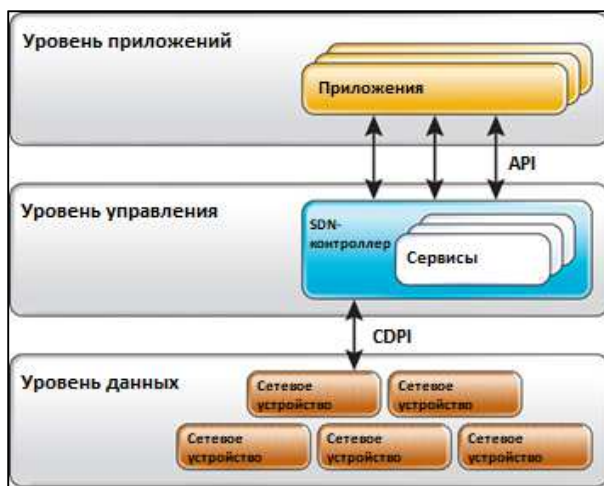


Рис. 1. Архитектура технологии SDN

Основной идеей технологии является отделение функций передачи трафика от функций управления (включая контроль как самого трафика, так и осуществляющих его передачу устройств) [4].

Благодаря этому становится возможным уменьшение сложности устройств, занимающихся передачей трафика.

Центральным элементом технологии является SDN-контроллер, получающий от сетевых устройств информацию о состоянии сети и передающий им требования пользовательских приложений.

Разработанная система предназначена для автоматизации управления сетевыми ресурсами, ее задачами являются создание и удаление каналов связи между устройствами. На рис. 2 представлена структурная схема системы.

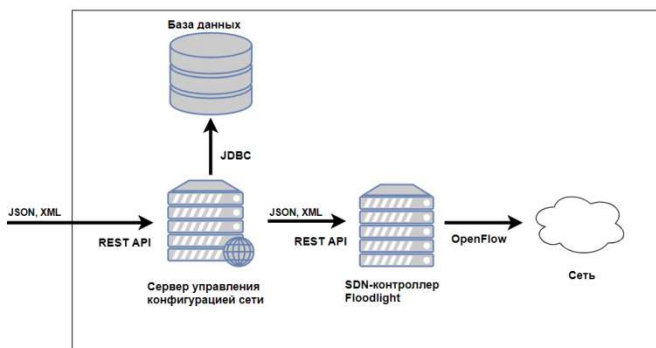


Рис. 2. Структурная схема системы

Сервер управления конфигурацией сети является входной точкой и предоставляет интерфейс REST API для взаимодействия с внешними системами. Используя данный интерфейс, пользователи сети могут создавать канал связи между заданными узлами для выполнения своих экспериментов, удалить ранее созданный канал, а также получить текущую информацию о состоянии созданных каналов. Входная информация для системы отражает требуемые характеристики создаваемого канала связи. В качестве входных параметров определены следующие:

- идентификатор канала;
- идентификаторы узлов, между которыми создается канал (IP-адреса или доменные имена);
- время создания канала;
- время удаления канала;
- необходимая пропускная способность;
- приоритет.

Основными функциональными возможностями сервера управления конфигурацией сети являются:

- трансляция команд от внешних систем SDN-контроллеру;
- балансировка нагрузки;
- протоколирование событий системы.

Получив запрос на создание или удаление канала, входной сервер посылает управляющие команды SDN-контроллеру по протоколу OpenFlow, который фактически является стандартом для технологии SDN [5]. Контроллер знает необходимую информацию о состоянии сети: активные устройства, характеристики каналов связи, граф сети. Используя эти данные, он может проложить оптимальный маршрут между заданными узлами.

Для управления сетевыми устройствами и создания правил маршрутизации трафика SDN-контроллер рассылает таблицы потоков, которые содержат инструкции для коммутаторов. Получив какой-либо пакет, сетевые устройства производят поиск соответствия данного пакета записям в таблицах потоков. При нахождении такого соответствия пакет отправляется на заданный порт, или производятся другие действия, определенные контроллером.

Разработанная система позволяет автоматизировать процесс создания канала связи для проведения научно-исследовательских экспериментов в сети ПФИЦ УрО РАН.

Данная система интегрирована с существующим планировщиком задач SLURM. Перед тем как планировщик запускает какую-либо задачу на выполнение, отправляется команда на создание канала серверу управления конфигурацией сети. В случае успешного создания канала задача начинает выполняться. После завершения задачи планировщик отправляет команду системе на удаление созданного ранее канала связи для освобождения зарезервированных ресурсов сети.

Библиографический список

1. Shchapov V.A., Masich A.G., Masich G.F. The technology of processing intensive structured dataflow on a supercomputer // Journal of Systems and Software. – 2017. – Vol. 127. – P. 258–265.
2. Вычислительный ресурс [Электронный ресурс]. – URL: <https://it.icmm.ru/oborudovanie/6-vychislitelnyj-resurs> (дата обращения: 01.05.2019).

3. RFC 7426. Software-Defined Networking (SDN): Layers and Architecture Terminology. 2015. – URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc7426> (accessed 12 March 2019).

4. SDN: кому это надо и зачем // Журнал сетевых решений/LAN – 2012. – № 12. – URL: <https://www.osp.ru/lan/2012/12/13033012/> (дата обращения: 10.05.2019).

5. SDN Architecture Overview [Электронный ресурс] // Open Networking Foundation. – 12 декабря 2013. – URL: <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/technical-reports/SDN-architecture-overview-1.0.pdf> (accessed 18 April 2019).

Сведения об авторах

Бортник Дмитрий Аркадьевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ1-17-1м, г. Пермь, e-mail: bort.dm@gmail.com

Масич Григорий Федорович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, заведующий лабораторией «Телекоммуникационные и информационные системы» Института механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь, e-mail: masich@icmm.ru

М.И. Ямаев

КЛАССИФИКАЦИЯ ВОООБРАЖАЕМЫХ ДВИЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В данной статье приведён краткий алгоритм работы интерфейсного устройства «мозг-компьютер». Проводится эксперимент по классификации воображаемых движений на основе открытого набора данных BCI Competition IV 2a (4 класса) с помощью многослойного перцептрона. В качестве методов выделения признаков использовались дискретное вейвлет-преобразование и общий пространственный фильтр. Результаты работы нейронной сети оказались близки к алгоритму Kai Keng Ang, но не превосходили его.

Ключевые слова: интерфейсное устройство мозг-компьютер, электроэнцефалограмма, дискретное вейвлет-преобразование, общий пространственный фильтр, многослойный перцептрон, перекрёстная проверка.

M.I. Yamaev

MOTOR IMAGERY CLASSIFICATION WITH MACHINE LEARNING METHODS

This article provides a brief for processing algorithm of the Brain-Computer Interface. An Imaginary movements classification was conducted on the basis of the BCI Competition IV 2a open data set (4 classes) using a multilayer perceptron. Discrete Wavelet Transform and a Common Spatial Filter were used as feature extraction methods. The results of the neural network is close to Kai Keng Ang algorithm, but have not surpassed it.

Keywords: brain-computer interface, electroencephalogram, discrete wavelet transform, common spatial filter, MPLNN, k-fold cross-validation.

Интерфейс-устройство «мозг-компьютер» (ИУМК) – устройство, позволяющее управлять внешними исполнительными устройствами посредством свободной модификации ЭЭГ-сигнала. Задача классификации является одной из самых актуальных в этой области, так как основные недостатки ИУМК – это точность и оптимизация этих интерфейсов. Одно из самых интересных его применений – управление транспортным средством или роботом [1]. Практическая значимость технологии заключается в том, что ЭЭГ – это совершенно новый и перспективный вывод для человека помимо мышечного. То есть в недалёком будущем клавиатуру и мышь заменит маленький нейро-

интерфейс. На данный момент это спеллеры [2]. Кроме того, применение в медицине, для реабилитации или управления инвалидным креслом [3]. Для этого необходим алгоритм, который позволял бы ИУМК определять задачи более двух классов. В работе приведён краткий обзор работы ИУМК и эксперимент классификации четырёх видов воображаемых образов с использованием нейронной сети (НС).

Методология. Всю работу ИУМК можно разделить на несколько этапов (рис. 1). Первым элементом интерфейса «мозг-компьютер» является электроэнцефалограф. «Сырой» ЭЭГ-сигнал подвергается предобработке, так как изначально сигнал очень сильно зашумлён. Шумы вызваны как внешним электромагнитным фоном, так и фазовым шумом. Источником может быть даже наш мозг, вследствие того что реакция всегда различна, либо сам интерфейс, либо операционная система, на которой производится обработка сигнала. При различных методах «очистки» сигнала от шума удаётся выделить необходимые пики. После предобработки сигнала электрической активности мозга в зависимости от выбранного метода выделяются характерные признаки. Затем их классифицируют различными методами. Данные методы нередко основаны на машинном обучении [4].

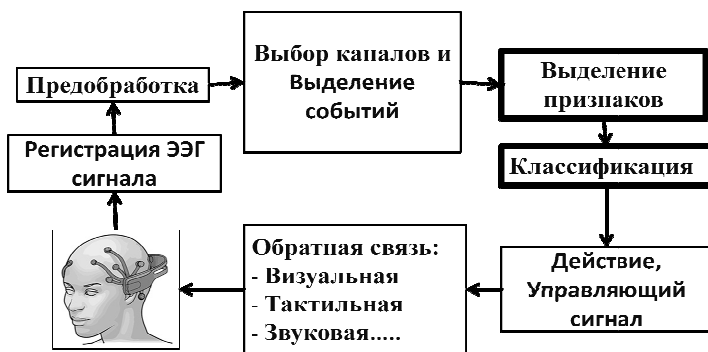


Рис. 1. Структура ИУМК

В качестве данных ЭЭГ использовался открытый набор данных BCI Competition IV 2a [5]. В эксперименте принимали участие 9 испытуемых. Парадигма ИУМК на основе сигнала состоит из четырёх различных двигательных воображаемых задач: воображаемые движения левой руки (класс 1), правой руки (класс 2), обеих ног (класс 3) и языка (класс 4). Для каждого испытуемого были записаны две

сессии в разные дни. Каждая сессия включает в себя 6 запусков разделённых короткими перерывами. Один запуск состоит из 48 испытаний (12 для каждого из 4 возможных классов) образуя тем самым 288 испытаний для каждой сессии.

Для записи ЭЭГ использовались 22 Ag/AgCl, расположенные по международной системе размещения ЭЭГ-электродов «10–20» (рис. 2). Также в наборе есть данные окулограммы (3 ЭОГ-канала). Но в данном эксперименте они использоваться не будут. Сигнал был записан с частотой 250 Гц и после профильтрован через полосовой фильтр с окном 0,5 и 100 Гц. Чувствительность усилителя составляла 100 μV .

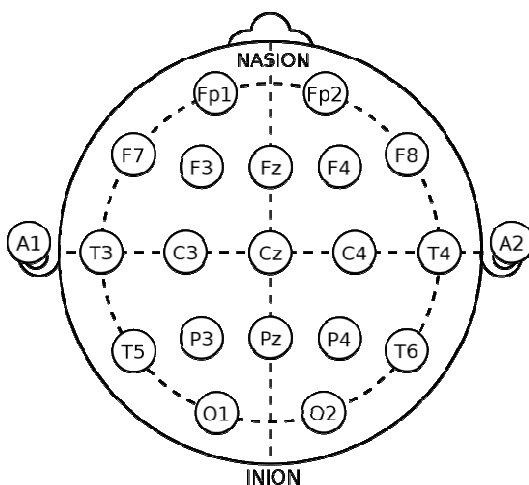


Рис. 2. Международная система размещения электродов «10–20»

Для каждого испытуемого помимо тренировочного были также подготовлены оценивающие наборы данных (18 файлов в формате «.gdf»). В качестве инструмента использовались библиотеки `mne`, `scipy`, `keras` и `sklearn` для программирования на языке `python`.

Выделение признаков. Перед классификацией надо выделить характерные признаки сигнала (своего рода «пики»). Для пространственного выделения признаков хорошо подходит дискретное вейвлет-преобразование (ДВП, DWT, discrete wavelet transform) [6]. На рис. 3 показана схема применения к сигналу ЭЭГ вейвлета Добеши «db4» на глубину 5.

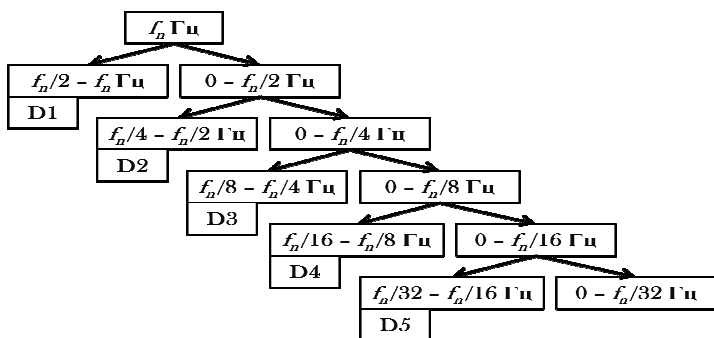


Рис. 3. Вейвлет-преобразование на глубину 5

Для обнаружения различий движений часто прибегают к общему пространственному фильтру (Common Spatial Patterns, CSP) [7], так как он позволяет максимизировать дисперсию между матрицами данных. Результирующей вектор характерных признаков включает в себя значения дисперсии первых четырех каналов.

Классификация. В последние несколько лет машинное обучение стало популярным. В частности, из-за новой волны классификаторов [4]. Нейронные сети подходят для классификации ЭЭГ-паттернов. Поэтому было решено в качестве классификатора использовать многослойный перцептрон (MPLNN) с прореживанием (Dropout). Прореживание необходимо, чтобы бороться с проблемой переобучения. На рис. 4 показано прореживание стандартной полносвязной нейронной сети.

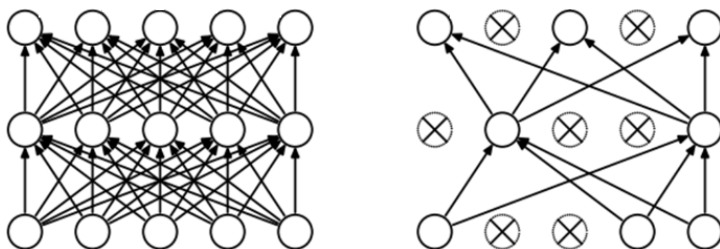


Рис. 4. Прореживание стандартной полносвязной НС

Нейронная сеть включала в себя: один входной слой и два скрытых слоя по 188 нейронов с функцией активации «relu», а также выходной слой на 4 нейрона с функцией активации «softmax».

Для наглядного и точного результата эксперимент проводился с 10-кратной перекрёстной проверкой (k-fold cross-validation).

Вместо стандартной точности работа классификатора оценивалась с помощью коэффициента Каппа Коэна (Карра). При идеальном распознавании $k = 1$, при случайном $k = 1/n = 0,25$, где n – количество классов. Результаты эксперимента представлены в таблице и сравнены с лучшим результатом конкурса BCI Competition IV 2a.

Сравнение MPLNN и BCI Competition IV 2a

Испытуемые	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Среднее
Тестируемая MPLNN	0,55	0,56	0,52	0,37	0,28	0,09	0,52	0,60	0,46	0,43
Kai Keng Ang	0,68	0,42	0,75	0,48	0,40	0,27	0,77	0,75	0,61	0,57

Таким образом, был получен классификатор для задачи определения четырёх воображаемых образов движений. Хотя превзойти лучший результат не удалось, полученные результаты доказывают, что нейронные сети могут использоваться в качестве классификатора ЭЭГ-паттернов. В следующих работах планируется повторить эксперимент, но уже для других типов НС (BNN, а также для ConvLSTM).

Библиографический список

1. Chae Y., Jeong J., Jo S. Toward brain-actuated humanoid robots: asynchronous direct control using an EEG-based BCI // IEEE Transactions on Robotics. – 2012. – Vol. 28. Toward brain-actuated humanoid robots. – No. 5. – P. 1131–1144.
2. A novel hybrid BCI speller based on the incorporation of SSVEP into the P300 paradigm / E. Yin [et al.] // Journal of Neural Engineering. – 2013. – Vol. 10. – No. 2. – P. 1–9.
3. Интерфейс «мозг-компьютер» «на волне P300»: исследование эффекта номера стимулов в последовательности их предъявления / И.П. Ганин [и др.] // Физиология человека. – 2012. – Т. 38. – Интерфейс мозг-компьютер «на волне P300». – № 2. – С. 5–13.
4. Ямаев М.И., Шипицин С.П. Нейронные сети для классификации ЭЭГ: от перцептрона до сверточной LSTM-сети // Материалы XXI Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018). – СПб: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018. – Т. 1. – С. 765–768.

5. BCI Competition 2008–Graz data set A / C. Brunner [et al.] // Institute for Knowledge Discovery (Laboratory of Brain-Computer Interfaces). – Graz University of Technology, 2008. – Vol. 16.

6. Ямаев М.И. Метод встраивания стеганографических водяных знаков в вейвлет-коэффициенты аудиоспектрограммы // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 04 (58). Ч. 4. – С. 129–132.

7. Optimizing spatial filters by minimizing within-class dissimilarities in electroencephalogram-based brain–computer interface / M. Arvaneh [et al.] // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – 2013. – Vol. 24. – No. 4. – P. 610–619.

Сведения об авторе

Ямаев Марсель Ильгамович – аспирант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИВТ-17а, г. Пермь, e-mail: marsel.iamaev@mail.ru

Г.К. Королев, С.Ф. Тюрин

РАЗРАБОТКА ОПЦИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО СИНТЕЗА АВТОМАТА ПО ГРАФУ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ САПР «КОВЧЕГ»

В данной статье описан разработанный способ расширения функциональности САПР «Ковчег» опцией синтеза автомата по графу. Граф автомата задаётся с помощью графических инструментов в САПР «Quartus», затем по графическому описанию САПР «Quartus» строит текстовое описание на уровне регистровых передач (RTL), по которому, в свою очередь, генерируется описание списка соединений для конкретного семейства ПЛИС. Данное описание списка соединений с помощью разработанной программы транслируется в описание списка соединений, которое принимает на вход САПР «Ковчег».

Ключевые слова: граф автомата, САПР «Quartus», список соединений, трансляция, САПР «Ковчег».

G.K. Korolev, S.F. Tyurin

DEVELOPING AUTOMATIC SYNTHESIS BY STATE DIAGRAM OPTION FOR CAD «KOVCHEG»

In this article is described developed CAD «Kovcheg» functionality extension by scheme synthesis using state diagram method. State diagram is designed via graphical tools in CAD «Quartus», then by graphical description CAD «Quartus» is building text description on register-transfer level (RTL), after that, it is generating netlist description for specific FPGA family. Given netlist description is translated by developed program in netlist description, which can be accepted by CAD «Kovcheg».

Keywords: state diagram, CAD «Quartus», netlist, translation, CAD «Kovcheg».

Intel – один из крупнейших разработчиков интегральных схем специального назначения (application-specific integrated circuit – ASIC), а также программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Для проектирования цифровых устройств на базе таких микросхем требуются мощные программные средства поддержки и автоматизации проектирования. Программное обеспечение Intel может считаться одним из самых совершенных в отрасли [1].

Одним из основных программных продуктов компании Intel является система автоматизированного проектирования (САПР) Quartus. Из всего многообразия различных средств САПР «Quartus» для данной прикладной задачи представляет интерес режим графического задания логики работы схемы с помощью графа автомата (рис. 1).

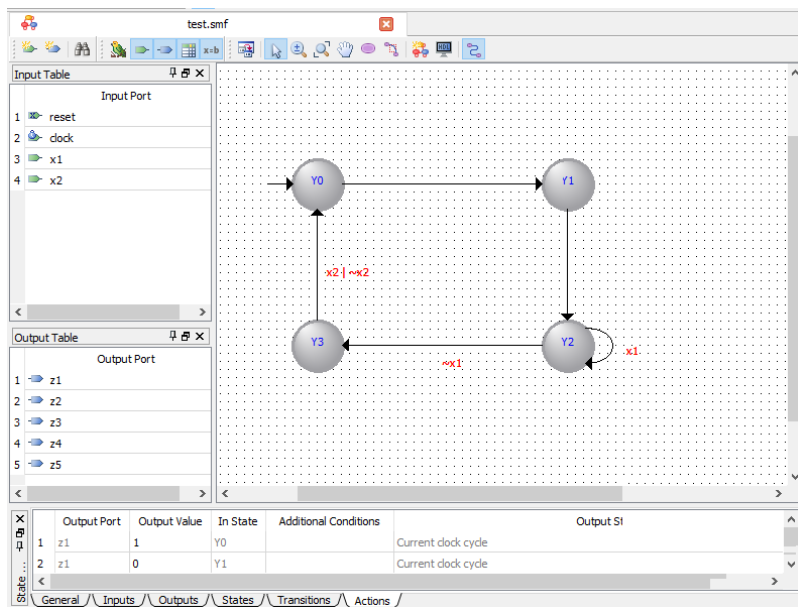


Рис. 1. Задание графа автомата в Quartus

Граф автомата задаётся с помощью инструментов «State Tool» и «Transition Tool». С помощью первого задаются состояния, с помощью второго – переходы. Во вкладках «Inputs», «Outputs», «States», «Transitions», «Actions» настраиваются входы, выходы, состояния, переходы, а также действия в различных состояниях соответственно. В примере на рис. 1 задан граф автомата, который соответствует изображённому на рис. 2.

Далее, по графическому описанию, САПР «Quartus» может сгенерировать текстовое описание на уровне регистровых передач на одном из языков описания аппаратуры. Такое описание является достаточно высокоуровневым, как следствие – архитектурно-незави-

симым. Для него характерны привычные в программировании конструкции условного оператора, оператора выбора, оператора присваивания. САПР «Quartus» имеет средства для графического представления RTL-описания. На рис. 3 изображено это представление для графа автомата с рис. 1 и 2.

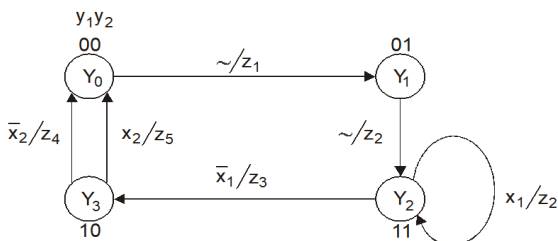


Рис. 2. Исходный граф автомата

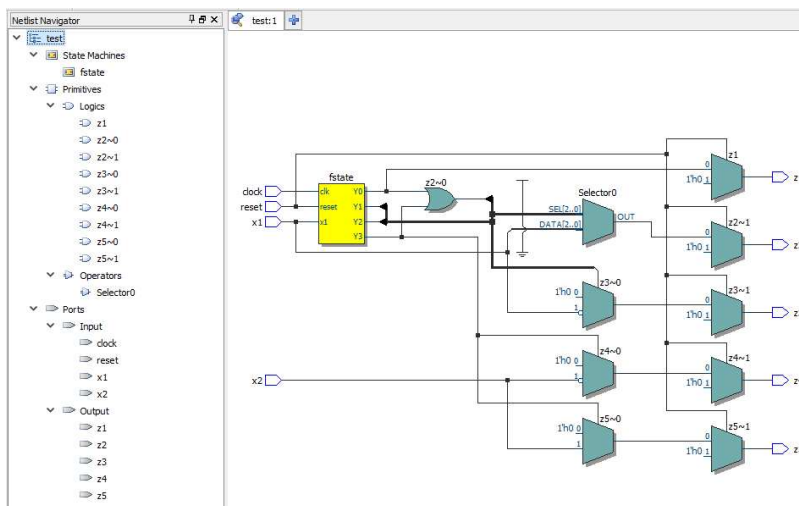


Рис. 3. RTL-описание

Как можно заметить, такое представление состоит из достаточно высокоуровневых примитивов, например – fstate – машина состояний. Это описание на поведенческом уровне абстракции устанавливается как основное для проекта и по нему после компиляции САПР «Quartus» может сгенерировать описание списка соединений для конкретного семейства ПЛИС на выбранном языке описания аппаратуры [2].

Анализ полученного описания списка соединений показывает, что логика работы схемы задаётся входными и выходными буферами (io_ibuf, io_obuf), D-триггером (dfffeas), логическими комбинационными ячейками (lcell_comb) [3]. Для каждого такого элемента из описания списка соединений, генерируемого САПР «Quartus», необходимо установить соответствующий элемент из унифицированной библиотеки функциональных ячеек. Для входных и выходных буферов и D-триггеров это не вызывает проблем: io_ibuf и io_obuf соответствует элемент BUF, dfffeas соответствует элемент FDC.

Преобразование экземпляров «lcell_comb» является более сложной задачей. В унифицированной библиотеке функциональных ячеек САПР «Ковчег» нет аналогов подобных логических ячеек [4]. Однако параметр «lut_mask» этой логической ячейки содержит в определённом формате таблицу истинности булевой функции четырёх переменных, которую представляет данная логическая ячейка. В описании схемы, генерируемом САПР «Quartus», значение параметра «lut_mask» задаётся в шестнадцатеричном формате, четырьмя разрядами – оно является таблицей истинности. По таблице истинности булевой функции возможно построить совершенную конъюнктивную нормальную форму (СКНФ) или совершенную дизъюнктивную нормальную форму (СДНФ). Выбор формы необходимо осуществлять на основе количества переменных и операций в логической формуле, они должны быть минимальными. Полученную формулу в базисе И-ИЛИ-НЕ достаточно легко представить множеством элементов «AND4», «OR4», «AND2», «OR2» «INV» из унифицированной библиотеки функциональных ячеек [5–7]. Таким образом, логическую ячейку можно представить в виде комбинации функциональных ячеек из унифицированной библиотеки.

Для преобразования текстового описания списка соединений было разработано программное средство на языке программирования C# с использованием фреймворка .NET Framework. Для создания пользовательского интерфейса был применён API Windows Forms. Решение состоит из проектов QuartusAnalyzer, KovchegSynthesizer, QuartusToKovchegTranslator, VerilogObjectModel, QuartusToKovchegApplication. На рис. 4 представлена онтология, построенная в программной среде Ontolis, которая более наглядно отражает сущности и связи между ними для данной прикладной задачи [8].

VerilogObjectModel содержит в себе классы, с помощью которых строится модель, которая подходит как для описания списка

3. Designing with Low-Level Primitives // Intel URL: https://www.intel.com/content/dam/www/programmable/us/en/pdfs/literature/ug/ug_low_level.pdf (accessed 01 May 2019).

4. Мир электроники. Библиотека функциональных ячеек для проектирования полужаказных микросхем серий 5503 и 5507 / А.Н. Денисов, Ю.П. Фомин, В.В. Коняхин, Р.А. Федоров. – М.: Техносфера, 2012. – 304 с.

5. Математическая логика и теория алгоритмов. Моделирование логики: учеб. пособие/ С.Ф. Тюрин, Д.Р. Валеев, А.В. Мазунина, В.А. Суворова, А.А. Чесноков; под ред. С.Ф. Тюрин; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2015. – 176 с.

6. Тюрин С.Ф., Каменских А.Н., Зобнина О.А. Использование в учебном процессе отечественной системы автоматизированного проектирования (САПР) «Ковчег» // Вестник Перм. гос. нац. исслед. ун-та. Сер.: Математика. Механика. Информатика. – 2018. – № 2(41). – С. 75–79.

7. Зобнина О.А., Каменских А.Н., Тюрин С.Ф. Синтез конечного автомата с использованием отечественной САПР «Ковчег» // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы всерос. науч.-техн. конф.: в 2 т. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. – С. 28–32.

8. Чуприна С.И., Никифоров В.А. Онтологический подход к индексации смыслового содержания графической информации // Вестник молодых ученых Перм. гос. нац. исслед. ун-та. – Пермь, 2013.

Сведения об авторах

Королев Георгий Константинович – студент Пермского государственного научного исследовательского университета, гр. ПМИ-2015-2, инженер-программист 3-й категории, ГК «ИВС», г. Пермь, e-mail: korolevgk@mail.ru.

Тюрин Сергей Феофентович – доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель Российской Федерации, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, профессор кафедры «Математическое обеспечение вычислительных систем» ПГНИУ, e-mail: tyurinsergfeo@yandex.ru

М.С. Хохряков, Д.С. Курушин

О ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ И ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ДОКУМЕНТОВ ПОСРЕДСТВОМ ДИАЛОГА С ЧАТ-БОТОМ

В статье рассмотрен процесс формирования и получения документа, содержащего график математической функции, параметры которой были указаны в ходе диалога с чат-ботом. Процесс состоит из нескольких этапов, начиная с интерпретации сценария диалога и заканчивая отправлением готового файла в формате PDF. Рассмотрены основные проблемы реализации отдельных этапов процесса, приведено описание разработанных приемов, используемых для их решения.

Ключевые слова: автоматизация, чат-боты, генерация документов, latex, python, nodejs.

M.S. Khokhryakov, D.S. Kurushin

THE USE OF CHAT-BOT TO PREPARE WELL-FORMAT E-DOCUMENTS ON USERS REQUESTS

The article deals with the process of forming and obtaining a document containing a graph of a mathematical function, the parameters of which were specified during the dialogue with the chat-bot. The process consists of several stages, beginning with the interpretation of the dialogue script and ending with the sending of the finished file in PDF format. The main problems of implementation of individual process steps are considered and the description of the developed methods used to solve them is given.

Keywords: automation, chat-bots, document generation, latex, python, nodejs.

Существует множество ситуаций, когда необходимо, используя набор входных данных, составить электронный документ на основе имеющегося шаблона. Таким образом, например, делают чеки, паспорта и различные отчеты.

Одной из проблем в процессе создания таких документов является совместимость между различными его этапами. Рассмотрим в качестве примера построение отчета, содержащего график функции, параметры которого вводит пользователь. Сначала необходимо получить все данные от пользователя и проверить их целостность. Затем передать их в программу, которая нарисует график функции

и сохранит его файл. После этого нужно оформить отчет и отдать его пользователю. Каждый из этапов наверняка будет выполняться совершенно разными программами, а на стадии оформления, возможно, еще и при участии человека.

В данной работе рассматривается процесс подготовки и получения электронных документов в полностью автоматическом режиме, с использованием дружелюбного к пользователю диалогового интерфейса чат-бота. На рис. 1 показаны все три этапа автоматизируемого процесса: прием входных данных, генерация выходных данных и их объединение в электронном документе. Каждый из них реализован средствами NodeJS, Python и LaTeX соответственно, а сообщение между ними осуществляется путем сохранения и загрузки промежуточных данных в файлы.

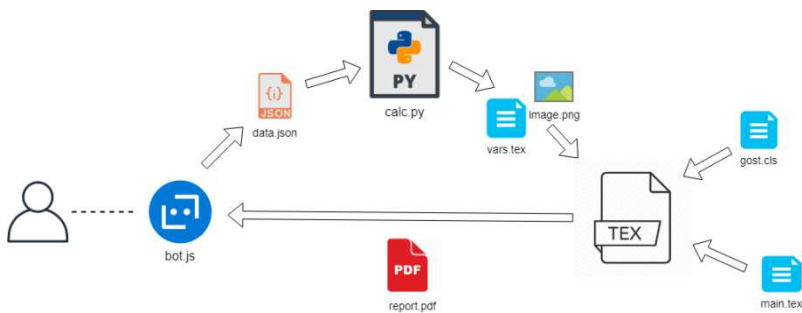


Рис. 1. Процесс формирования документа

Первым шагом в построении отчета является получение из диалога с пользователем нужных данных и передача их скрипту на Python. Чтобы иметь возможность составлять конфигурации для диалогов, была написана собственная утилита parser, которая входит в состав библиотеки чат-бота [1]. На вход ей подается следующая конфигурация диалога:

```
[{
  "name": "dist_params",
  "text": "Параметры  $\mu$  и  $\sigma$ ",
  "type": "array",
  "values": [{"type": "double"}, {"type": "double", ">": 0}]
},
{
  "name": "dist_params",
  "text": "Параметры  $\mu$  и  $\sigma$ ",
  "type": "array",
  "values": [{"type": "double"}, {"type": "double", ">": 0}]
}]
```

```

    "name": "graph_type",
    "text": "Тип графика",
    "type": "select",
    "options": [{
        "text": "Функция распределения",
        "value": "cdf"
    }, {
        "text": "Плотность вероятности",
        "value": "pdf"
    }]
}]

```

Интерпретируя каждый из элементов конфигурации, parser составляет диалог с пользователем и формирует результат в виде json-объекта. В ходе диалога с пользователем также проверяется корректность вводимых данных.

Пример диалога с пользователем:

Бот: Параметры μ и σ (через запятую)

Пользователь: 2, -1

Бот: Второе значение должно быть больше нуля

Пользователь: 2, 0,5

Бот: тип графика (предлагает две кнопки выбора: “Функция распределения” и

“Плотность вероятности”)

Пользователь: Плотность вероятности

Бот: Готовый файл (report.pdf в приложении)

В результате создается файл data.json со следующим содержимым:

```

{
    "dist_params": [2, 0.5],
    "graph_type": "pdf"
}

```

На следующем шаге управление передается скрипту на Python. Используя библиотеку Scipy [2], он строит график функции по загруженным из data.json параметрам. Фрагмент скрипта, отвечающего за создание файлов image.png и vars.tex, выглядит так:

```

IMAGE_FILE = 'latex/generated/image.png'
VARS_FILE = 'latex/generated/vars.tex'
plt.grid(True)
plt.plot(x, y)
plt.savefig(IMAGE_FILE, bbox_inches='tight')
def addVar(f, key, value):

```

```
f.write("\\newcommand{\\var%s}{%s}\\n" % (key, value))
with open(VARS_FILE, 'w', encoding="utf-8") as f:
    addVar(f, 'Caption', caption)
    addVar(f, 'Mu', mu)
    addVar(f, 'SigM', sigma)
```

После его выполнения vars.tex будет выглядеть следующим образом:

```
\\newcommand{\\varCaption}{Плотность вероятности}
\\newcommand{\\varMu}{0}
\\newcommand{\\varSigM}{0.4}
```

Содержимое шаблона main.tex, используемого при сборке конечного PDF:

```
\\documentclass{gost}
\\graphicspath{{generated/}}
\\input{generated/vars}
\\begin{document}
График функции нормального распределения с параметрами
 $\\mu = \\varMu$ ,  $\\sigma = \\varSigM$ 
изображен на рисунке \\ref{img:image}.
\\insertimage{image}{\\varCaption{}}
\\end{document}
```

Для форматирования подключается класс документа ГОСТ 7.32 [3]. В результате собранный документ будет выглядеть так, как показано на рис. 2.

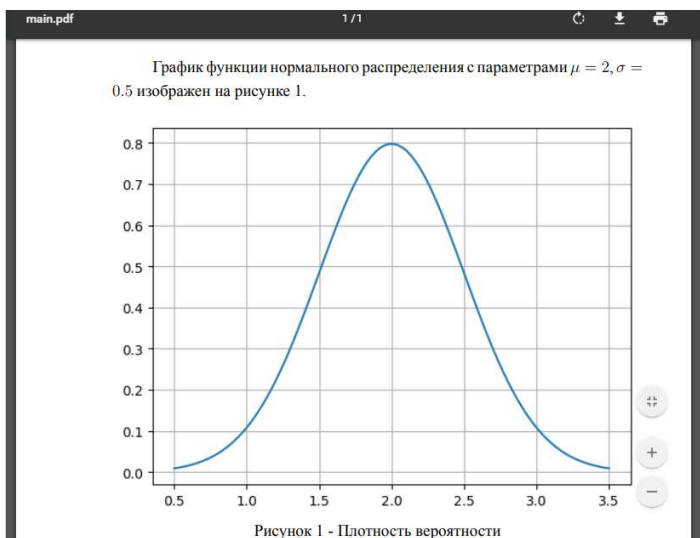


Рис. 2. Содержимое report.pdf

Теперь, реализовав полный цикл формирования документа, необходимо уметь запускать процесс генерации и отправлять файл пользователю. Для этого используется система сборки GNU Make [4]. При помощи функции NodeJS `exec` возможно запустить `make` как дочерний процесс:

```
function run_program(dialog) {
    exec('mingw32-make.exe', async (err, stdout,
stderr) => {
        const attach = await dia-
log.uploadFile('latex/build/report.pdf');
        dialog.output('Готовый файл', attach);
    });
}
```

Правила сборки находятся в файле `Makefile`:

```
BUILD = xelatex -output-directory=build -job-
name=report.pdf main
all: latex/build
    python3 calc.py && cd latex && $(BUILD) &&
$(BUILD)
    latex/build:
        mkdir latex/build
```

Для сборки PDF используется компилятор XeTeX [5], который был выбран из-за хорошей поддержки Юникода.

После выполнения `Makefile` дочерний процесс завершит работу, и бот загрузит созданный файл на сервер используемой соцсети или мессенджера, а затем прикрепит его в отправляемом сообщении.

Описанный процесс позволяет создавать и рассылать пользователям разнообразные документы. Для этого достаточно составить список вводимых параметров – тех, что бот запрашивает у пользователя, написать `Makefile` – описание действий с этими параметрами. Остальные шаги являются опциональными – например, можно было исключить этап создания PDF, а пользователю присылать только изображение, созданное скриптом Python.

В заключение хотелось бы отметить сходство процесса с популярным в веб-программировании паттерном MVC: моделью является программа на Python, которая создает необходимые данные, представлением – latex, который объединяет их с готовым шаблоном, а бот, который преобразует данные от пользователя и высылает ему ответ, является контроллером.

Библиографический список

1. Simple-bots // GitHub. – URL: <https://github.com/khok/simple-bots> (accessed 18 May 2019).
2. SciPy // SciPy.org. – URL: <https://www.scipy.org/> (accessed 19 May 2019).
3. Tex-cw // GitHub. – URL: <https://github.com/khok/tex-cw> (accessed 19 May 2019).
4. Make // GNU Project. – URL: <https://www.gnu.org/software/make/> (accessed 19 May 2019).
5. XeTeX // Sourceforge. – URL: <http://xetex.sourceforge.net/> (accessed 18 May 2019).

Сведения об авторах

Хохряков Максим Сергеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ-15-16, г. Пермь, e-mail: khokm@ya.ru

Курушин Даниил Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университет, г. Пермь, e-mail: dan973@yandex.ru

И.А. Вязнин, И.А. Вялых

АВТОМАТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПОТОЧНОГО NIR-АНАЛИЗАТОРА

В данной статье представлено решение задачи сбора, хранения, обработки и визуализации данных о функционировании поточного NIR-анализатора, реализованное с помощью веб-приложения на платформе ASP.NET MVC.

Ключевые слова: мониторинг, поточный NIR-анализатор, C#, MVC, ASP.NET, веб-приложение.

I.A.Viaznin, I.A.Vyalih

AUTOMATIC MONITORING OF THE CONDITION OF A STREAMING NIR ANALYZER

This article presents the solution of a problem of collection, storage, processing and visualization of stream-oriented NIR analyzer operation data, implemented with the help of a web application based on the ASP.NET MVC framework.

Keywords: monitoring, stream analyzer, C #, ASP.NET, web application.

Качество продукции технологических процессов может определяться двумя типами измерений:

- 1) с применением лабораторного аналитического контроля;
- 2) использование поточных анализаторов качества.

С развитием науки и техники второй тип измерений начинает внедряться на производстве, несмотря на высокую стоимость приборов. Такие приборы требуют периодической калибровки и обновления математических моделей расчета показателей качества путем измерения физико-химических свойств веществ. Для построения калибровочных зависимостей необходим сбор, визуализация, хранение и выгрузка статистической информации о работе прибора и действительных значениях показателей качества продукции (данные лабораторного контроля). Для реализации этих задач выбрана платформа ASP.NET MVC5. На промышленных предприятиях последнее время набирает популярность использование веб-приложений для доступа к диспетчерской информации, информационным системам предприятия в рамках корпоративной сети предприятия. Такая популярность

обусловлена удобностью доступа пользователей к ресурсам информационных систем в отличие от клиентских приложений, требующих инсталляции и настройки для каждого пользователя индивидуально.

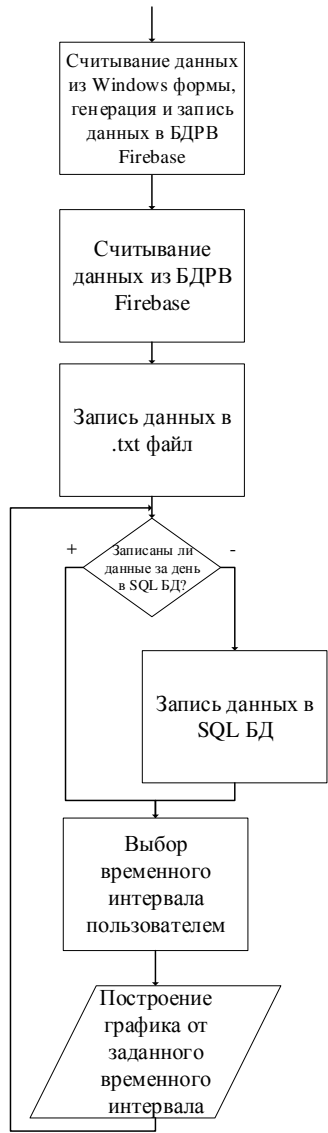


Рис. 1. Блок-схема работы двух программ

Основное преимущество веб-приложений относительно клиентских приложений – простота и удобство технической поддержки сопровождения в рамках корпоративной сети.

При разработке приложения необходимо решить следующие задачи:

- 1) разработка приложения;
- 2) тестирование приложения на различных входных данных.

Для решения этих задач разработано два приложения: программа для ввода калибровочных данных и генерации псевдослучайных значений, получаемых с поточного анализатора качества, веб-приложение на платформе ASP.NET для сбора, визуализации и экспорта статистических данных (рис. 1).

Программа для генерации данных лабораторного контроля данных поточного анализатора. Программа представляет собой Windows-форму, при запуске которой происходит старт второго потока, который соединяется с БДРВ Firebase, используя URL базы данных и ключ аутентификации. В бесконечном цикле происходит генерация и последующая запись данных, состоящих из значения показаний поточного анализатора и временной метки получения значений в БДРВ.

Вторая функция этой программы осуществляет генерацию данных аналитического лабораторного контроля, их генерация осуществляется путем ввода в форму рис. 2 и сопровождается дополнительно созданием файла спектра поточного анализатора нажатием кнопки Enter с данными в директории: ~\Values from the lab\yyyy\mm\dd.txt.

Рис. 2. Интерфейс первой программы

Созданный файл (рис. 4) представляет собой три строки, в каждой из которых содержатся данные класса Value (рис. 3) и разница свойств LabVal и SensVal, исключая свойство Id.

```

public class Value
{
    // 1 usage
    public int Id { get; set; } // Id значения
    // 3 usages
    public double LabVal { get; set; } // Калибровочное значение
    // 3 usages
    public double SensVal { get; set; } // Значение, полученное с датчика
    // 3 usages
    public DateTime Time { get; set; } // время создания объекта

    // 1 usage
    public Value(int id, double labVal, double sensVal, DateTime time) // Конструктор класса
    {
        Id = id;
        LabVal = labVal;
        SensVal = sensVal;
        Time = time;
    }
}

```

Рис. 3. Класс Value

```

L_92,1 S_92,12 T_15.05.2019 21:38:09.27 L-S:-0,02000000000000102
L_92,3 S_92,61 T_15.05.2019 21:38:09.495 L-S:-0,3100000000000002
L_92,4 S_92,98 T_15.05.2019 21:38:09.962 L-S:-0,5799999999999998

```

Рис. 4. Текстовый файл, созданный программой

Веб-приложение. Приложение написано на платформе ASP.NET с использованием паттерна MVC5. При запуске главной и единственной страницы приложения (представления) происходит отработка метода **Index()** контроллера **HomeController**. Во время его выполнения происходит проверка существования файла следующим путем: ~\Values from the lab\yyyy\mm\dd.txt. В случае возвращения ИСТИНА запускается проверка на наличие данных из этого файла в SQL БД.

Проверка представляет собой открытие файла dd.txt и просмотр первого символа данного файла. Если первый символ в таблице ASCII != 10 (символ новой строки), то происходит запись данных из файла в SQL БД. После записи (рис. 5) в открытый файл первым символом добавляется новая строка. Все методы проверок и записи находятся в классе **FillDb**. Далее возвращается представление **Index**, которое является html-страницей, содержащей в себе JavaScript с графиком, а также поля для выбора временного интервала, кнопку вывода графика и кнопку загрузки данных за выделенный временной отрезок в виде файла, содержащего в себе данные о точках отображенного графика, на станцию клиента.

При изменении временного интервала график анимированно перестраивается (рис. 6).

	Td	TabVal	SensVal	Time
1	4	92.4	92.49	2019-05-04 22:33:59.000
2	5	92.5	92.49	2019-05-04 22:34:00.000
3	6	92.6	92.2	2019-05-04 22:34:00.000
4	7	92.45	92.05	2019-05-04 23:53:42.000
5	8	92.55	92.87	2019-05-04 23:53:43.000
6	9	92.64	92.69	2019-05-04 23:53:43.000
7	10	92.4	92.14	2019-05-06 00:00:36.733
8	11	92.5	92.49	2019-05-06 00:00:37.223
9	12	92.6	92.62	2019-05-06 00:00:37.707
10	13	92.5	92.74	2019-05-06 02:15:06.307
11	14	92.6	92.78	2019-05-06 02:15:06.793
12	15	92.4	92.8	2019-05-06 02:15:07.277
13	16	92.5	92.7	2019-05-06 08:29:23.257
14	17	92.6	92.13	2019-05-06 08:29:23.733
15	18	92.7	92.8	2019-05-06 08:29:24.207
16	19	92.6	92.47	2019-05-06 11:06:26.513
17	20	92.4	92.55	2019-05-06 11:06:27.130
18	21	92.8	92.42	2019-05-06 11:06:27.753
19	22	92.4	92.21	2019-05-07 14:48:38.120
20	23	92.5	92.68	2019-05-07 14:48:39.150
21	24	92.4	92.68	2019-05-07 14:48:39.813
22	25	92.1	92.12	2019-05-15 21:38:09.270
23	26	92.3	92.61	2019-05-15 21:38:09.497
24	27	92.4	92.98	2019-05-15 21:38:09.963

Рис. 5. SQL-база данных после записи данных из нового файла

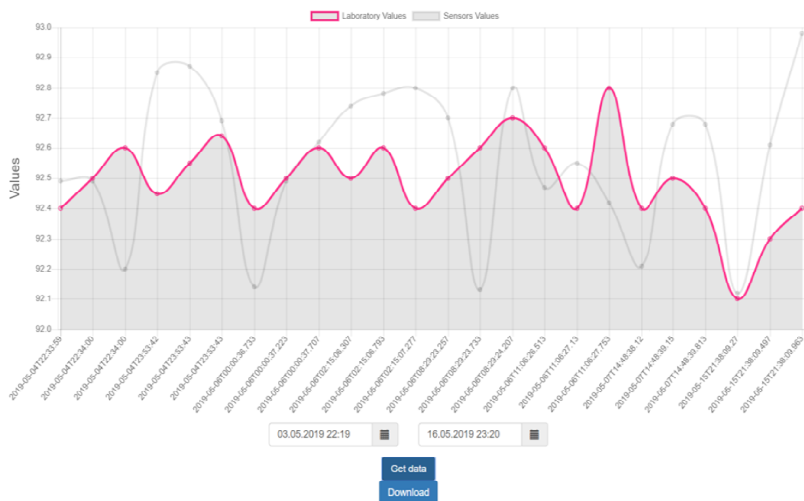


Рис. 6. Html-страница с построенным графиком

При нажатии кнопки Get Data происходит вызов метода **Set(start, end)**, в который передаются временные метки, затем вызывается метод **Creator(start, end)** класса **Dot**. Объект класса Dot обладает теми же свойствами, что и класс Value. Затем происходит выборка сущностей из SQL БД, их сериализация в формат JSON и отправка этой JSON строки в JavaScript для вывода графика. При нажатии кнопки Download происходит вызов метода **Create(start, end)**, находящегося в HomeController и принадлежащего классу **DownloadFile**. На сервере формируется файл с данными о текущем графике, затем этот файл загружается к клиенту.

В результате работы были созданы две программы, позволяющие собирать данные состояния поточного анализатора, данные для его калибровки и визуализировать их. Исходный код проекта находится на: <https://github.com/mlc1b/WebApp>.

Библиографический список

1. NuGet пакет для работы с Firebase в C#. – URL: <https://github.com/ziyasal/FireSharp> (accessed 03 March 2019).
2. Библиотека для работы с графиками в JavaScript [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.chartjs.org/docs/latest/> (дата обращения: 02.05.2019).
3. Сериализация и десериализация данных JSON [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/framework/wcf/feature-details/how-to-serialize-and-deserialize-json-data> (дата обращения: 05.03.2019).
4. Документация для работы с Entity Framework 6 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.entityframeworktutorial.net/entityframework6/introduction.aspx> (дата обращения: 02.05.2019).

Сведения об авторах

Вязнин Илья Андреевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТП-18-16, г. Пермь, e-mail: viaznin123@gmail.com

Вялых Илья Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ilya.vyalyh@pstu.ru

А.Н. Поляков, Р.Т. Мурзакаев

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕРМОШТАМПОВКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Увеличение эффективности производства деталей из композиционных материалов является очень актуальным на сегодняшний день. Уровень автоматизации в этой области остается крайне низким. Работа посвящена процессу производства деталей из термопластов и автоматизации работы печи предварительного нагрева заготовок. Описано разработанное ПО управления печью и приведены результаты апробации системы

Ключевые слова: термоштамповка, термопластичный композиционный материал, управление прогревом заготовки.

A.N. Polyakov, R.T. Murzakayev

THERMOPLASTIC PARTS THERMAL STAMPING PROCESS AUTOMATION

The increase in production efficiency of parts made of composite materials is very relevant today. The level of automation in this area remains extremely low. The work is devoted to thermoplastic parts production process and automation of the laminate furnace preheating operation. The developed software for furnace control is described and the results of the system approbation are presented.

Keywords: heat stamping, thermoplastic composite material, laminate heating control.

В последние годы область применения полимерных композиционных материалов существенно расширилась, в первую очередь за счет широкого использования их в гражданском авиастроении и двигателестроении. Основными композиционными материалами, применяемыми в настоящее время для изготовления деталей и узлов самолетов и двигателей, являются полимерные композиционные материалы (ПКМ), армированные однонаправленными или текстильными наполнителями на основе угольных или стеклянных волокон с реактопластичными матрицами на основе эпоксидных смол.

В последнее десятилетие на рынке появились термопластичные композиционные материалы, армированные традиционными

наполнителями, с матрицами из современных термопластичных полимеров. Такие материалы позволяют существенно сократить время и себестоимость изготовления конструкций, поскольку в технологическом цикле их изготовления отпадает необходимость проведения реакции полимеризации [1].

Использование автоматизированной технологии изготовления деталей из таких материалов позволило бы повысить технологичность и скорость производства по сравнению с аналогами. В России на сегодняшний день отсутствуют промышленные технологии термопластичных композиционных материалов [2].

Описание технологического процесса. Из-за высоких давлений уплотнения и температур, требуемых для обработки термопластичных композитов, детали чаще всего формируются в горячем прессе с использованием компрессионного формования или термоштамповки [3]. Во время термоштамповки отдельные листы материала предварительно нагревают и переносят в пресс для окончательного формования и уплотнения.

Схема процесса представлена на рис. 1.

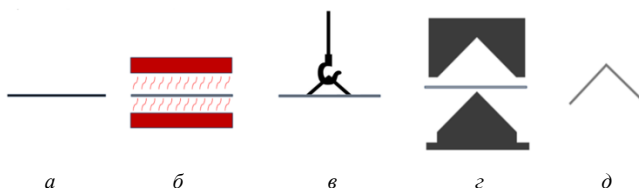


Рис. 1. Схема технологического процесса термоштамповки термопластов: а – сырой лист термопласта; б – предварительный нагрев листа; в – перенос нагретого листа в пресс; г – штамповка листа; д – готовая деталь

Для реализации такой технологии требуется автоматизированный комплекс, состоящий из трех основных частей:

- печь для предварительного нагрева заготовки;
- кран-манипулятор для переноса заготовки;
- термопресс для окончательного формования детали.

В статье рассматривается автоматизация печи как наиболее значимого компонента системы. Печь предназначена для предварительного нагрева металлической пресс-формы и заготовки из термопластичного композита до температуры плавления связующего вещества в составе композита перед непосредственной формовкой в гидравлическом прессе [4]. Основными требованиями к печи являются:

- рабочая зона 1000×1000×350 мм;
- максимальная температура нагрева 1200 °С;
- скорость нагрева до температуры 500 °С: не менее 10 °С/мин;
- отклонение температурного поля при установившемся режиме не более 2°С от установленной температуры;
- подогрев заготовки сверху и снизу;
- 17 независимых зон нагрева сверху и снизу.

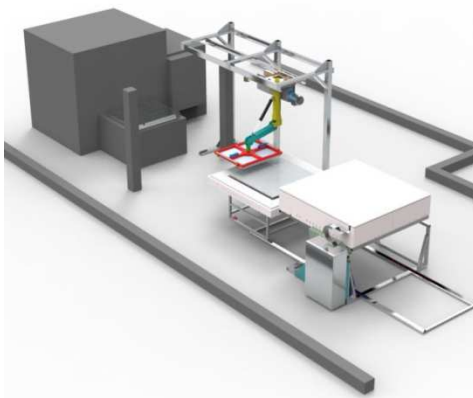


Рис. 2. Внешний вид комплекса термоштамповки

Контроль температуры производится контактными термопарами, минимум, по одной термопаре на зону нагрева и бесконтактными пирометрами.

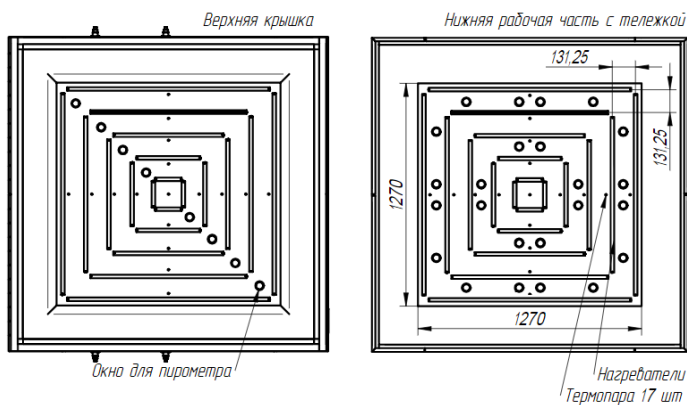


Рис. 3. Схема печи

Автоматизация печи предварительного нагрева. Печь оснащена контроллером, отвечающим за работу нагревателей и силовых элементов. Контроллер позволяет обеспечить работу режимов безопасности и настраивать и сохранять программы работы.

К контроллерам подключаются датчики и исполнительные элементы. Каждый контроллер имеет:

- дискретные (цифровые) входы – 16 шт.;
- дискретные (цифровые) выходы типа открытый коллектор – 16 шт.;
- аналоговые входы 0–5 В или 0–20 мА – 10 шт.;
- аналоговые выходы 0–20 мА – 2 шт.



Рис. 4. Контроллер печи

Контроллер позволяет хранить в памяти 10 независимых технологических программ, и каждая программа может иметь до 12 этапов процесса. Однако такие ограничения не удовлетворяют потребностям технологического процесса. Поэтому управление осуществляется с помощью дополнительного промышленного компьютера, подключенного к контроллеру по внешнему интерфейсу.

Связь организована по интерфейсу RS485. Ведущий промышленный компьютер отправляет пакет и ожидает ответ в течение 50 мс. Если ответа нет, запрос повторяется еще три раза. Если ответов нет, считается, что связь с контроллером потеряна.

Формат пакета представлен в таблице.

Формат пакета контроллера печи

Запрос	Длина пакета	Код команды	Данные	Контрольная сумма
Ответ	Длина пакета	Код ответа	Данные	Контрольная сумма

Длина пакета – Полная длина пакета в байтах; Код команды – Код команды или ответа на команду; Данные – Данные для команды (может имеет нулевую длину); Контрольная сумма – Один байт, контрольная сумма пакета вычисляется как сумма всех байтов пакета с ограничением до одного младшего байта (без контрольной суммы).

В качестве управляющего компьютера был выбран промышленный компьютер с сенсорной панелью 8” с установленной операционной системой семейства Windows и оснащенный адаптером беспроводной связи для возможности удаленного доступа.

Программное обеспечение, разработанное для управления печью с промышленного компьютера, предоставляет оператору возможность мониторинга температуры каждой зоны нагрева печи с построением графиков во времени.

Оператору предоставлена возможность задавать модель для нагрева по каждому нагревательному элементу, создавать неограниченное количество программ отжига, просматривать историю работы печи, а также отслеживать неполадки системы и управлять выкатом тележки. Кроме того, есть возможность просмотреть графики температур для запущенных ранее программ нагрева.

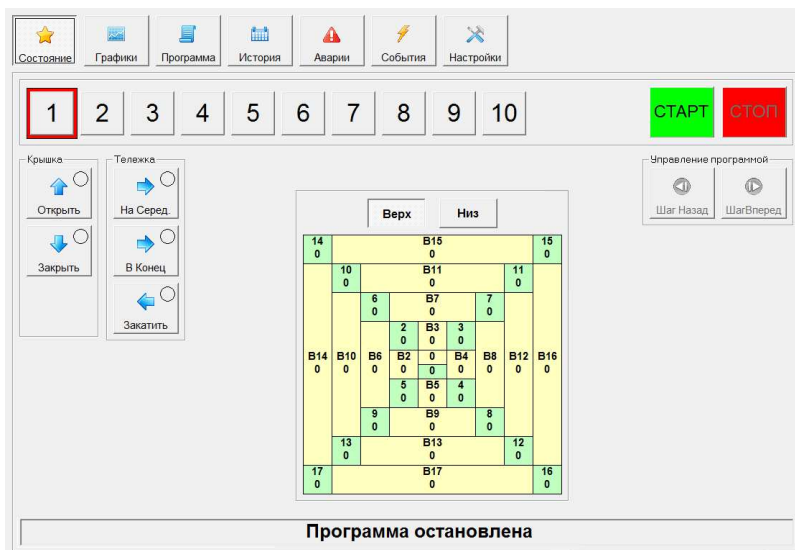


Рис. 5. Главный экран ПО управления печью

Для хранения всех вышеперечисленных данных была разработана БД на базе СУБД MS Access. Схема взаимодействия компонентов системы представлена на рис. 6.

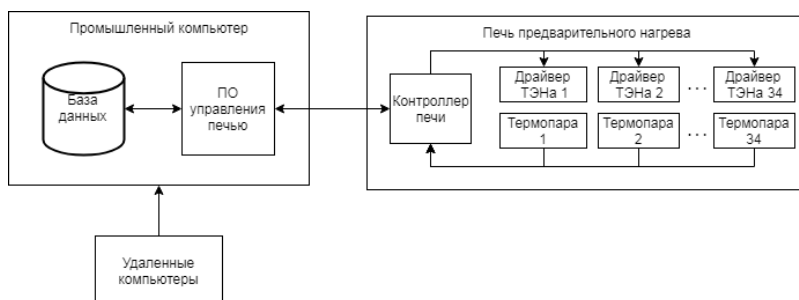


Рис. 6. Схема взаимодействия компонентов системы

Апробация разработанной системы. Были проведены технологические исследования по определению параметров технологических режимов переработки этих материалов с применением разработанного комплекса, режимы подбирались в соответствии с технологическими параметрами по температуре от производителя материала (рис. 7).



Рис. 7. Образец, полученный в ходе испытаний

После получения годного образца армированного термопластичного композиционного материала по рациональным параметрам технологического процесса была проведена экспертная оценка качества изготовления. Оценка проводилась путём исследования микроструктуры материала и изготовленной заготовки.

Анализируя полученные результаты, можно сказать, что при применении разработанной системы автоматизации произошла полная пропитка слоёв угольной ткани.

Библиографический список

1. Fiber deformation behavior during press forming of rectangle cup by using plane weave carbon fiber reinforced thermoplastic sheet / S. Hinenoa, T. Yoneyamaa, D. Tatsunoo, M. Kimuraa, K. Shiozakia, T. Moriyasub, M. Okamotob, S. Nagashimab // *Procedia Engineering*. – 2014. – Vol. 81. – P. 1614–1619.
2. Anoshkin A.N., Zuiko V.Y., Artemev V.V. Design and manufacture of aircraft engine frame from polymer composites depending on technological features // *Mechanics of composite materials: XVIII International conference, devoted to the 50 Anniversary of the Institute of Polymer Mechanics, University of Latvia: b. of abstr., June 2-6, 2014, Riga, Latvia / Institute of Polymer Mechanics, University of Latvia*. – Riga: [s. n.], 2014. – P. 33.
3. Аношкин А.Н., Писарев П.В., Кирова Ю.С. Численное моделирование нагрева образцов из термопластичных композиционных материалов в процессе изготовления // *Автоматизированные системы управления и информационные технологии : материалы всерос. науч.-техн. конф. (г. Пермь, 17 мая 2018 г.)*; в 2 т. Т. 1. – Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2018. – С. 130–135.
4. Automated Stamp Forming of Continuous Fiber Reinforced Thermoplastics for Complex Shell Geometries / Behrens Bernd-Arno & Raatz, Annika & Hübner, Sven & Bonk, Christian & Bohne, Florian & Bruns, Christopher & Micke-Camuz, Moritz // *Procedia CIRP*. – 2017. – Vol. 66. – P. 113–118. 10.1016/j.procir.2017.03.294.

Сведения об авторах

Мурзакаев Рустам Талгатович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: rustmur@gmail.com

Поляков Анатолий Николаевич – аспирант кафедры «Механика композиционных материалов и конструкций» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: squarepants_07@mail.ru

Е.А. Лузин, Л.С. Галкина

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ВХОДЯЩЕЙ И ИСХОДЯЩЕЙ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

В данной статье рассмотрены аспекты проектирования и разработки модуля обработки информации о корреспонденции предприятия, входящего в состав комплексной системы управления проектными работами USP_Alina.

Ключевые слова: проектирование информационных систем, разработка, корреспонденция.

E.A. Luzin, L.S. Galkina

AUTOMATION OF PROCESSING INCOMING AND OUTGOING CORRESPONDENCE OF THE COMPANY

This article discusses aspects of the design and development of a module for processing information about the correspondence of an enterprise that is part of the complex design management system USP_Alina (текст аннотации на английском языке).

Keywords: information systems design, development, correspondence.

Сбор, хранение, обработка информации о входящей и исходящей корреспонденции в организации является актуальной задачей. Полученные данные могут использоваться для официальной переписки с заказчиками, поставщиками оборудования и материалов, а также различными агентствами и ведомствами. Так, для ООО «УРАЛСТРОЙПРОЕКТ» в рамках комплексной системы управления проектными работами USP_Alina была предусмотрена разработка модуля «Обработка входящей/исходящей корреспонденции на предприятии».

Рассматриваемый модуль предназначен для работы в локальной сети. Предполагаемый функционал: оперативный учет и хранение информации о входящей/исходящей корреспонденции, а также данных о контрагентах (заказчики, поставщики и т.п.); формирование различных форм отчетности; доступ к корреспонденции согласно ролям.

Использование методологии IDEF0 позволило смоделировать логику взаимодействия бизнес-процессов, связанных с обработкой корреспонденции («Регистрация писем», «Создание и контроль поручения»,

«Выполнение поручения»). В качестве примера на рис. 1 приведена диаграмма декомпозиции бизнес-процесса «Регистрация писем» (проектирование выполнено с использованием AllFusion Process Modeler).



Рис. 1. Декомпозиция бизнес-процесса «Регистрация писем»

Разработанная функциональная модель системы позволяет понять, что должна делать система и за счет каких действий будет достигнут требуемый результат, при этом не отвечая на вопрос, каким образом организованы данные в системе. Поэтому на основе методологии IDEF1X в программе ERwin Data Modeler r7.3 были разработаны логическая и физическая (на основе MS SQL Server 2012) модели данных исследуемого модуля. На рис. 2 представлена логическая модель данных.

Для реализации проекта модуля «Обработка входящей/исходящей корреспонденции на предприятии» требуется аппаратный сервер с операционной системой Microsoft Windows Server 2008/2012 R2, который включён в локальную сеть организации и добавлен в домен. На этом сервере должен быть развернут Microsoft SQL Server 2008/2012 R2 с доступом по TCP/IP-протоколу. Также на сервере устанавливается приложение-сервер в виде службы (Service), которая отвечает за обработку событий клиентов и выполнение функции файлового ftp-сервера. При создании физической модели данных был получен скрипт для запуска в MS SQL Server Management Studio, на основе которого сформирована структура БД. Таблицы SQL-сервера с взаимосвязями показаны на рис. 3.

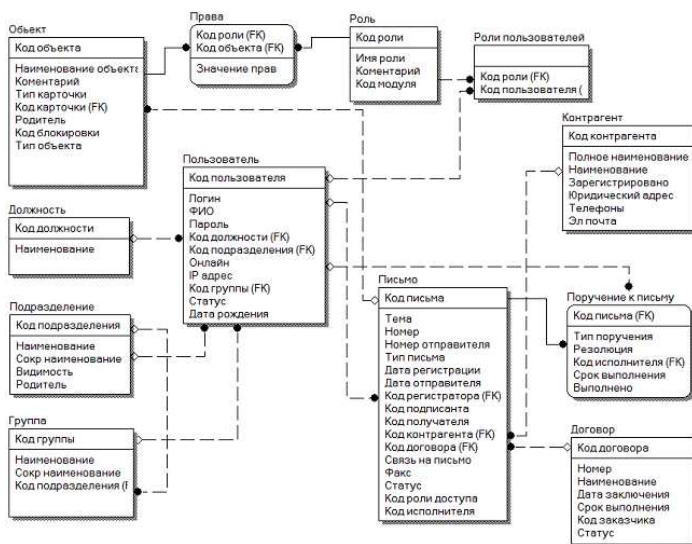


Рис. 2. Логическая модель данных

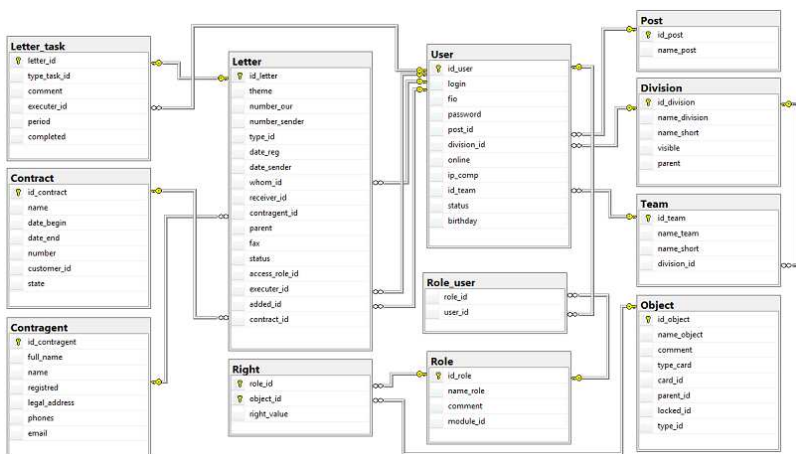


Рис. 3. Таблицы SQL-сервера с взаимосвязями

Серверное и клиентское приложение разработаны на языке C# в Microsoft Visual Studio 2015. Клиент и сервер общаются между собой посредством SQL-запросов и по сокетам протокола TCP/IP. Клиентское приложение работает в режиме «толстого клиента». Минимальные требования для использования исследуемого модуля комплексной

системы управления проектными работами USP_Alina: процессор: x86-совместимый процессор, желательно класса Intel; Celeron IV и выше; частота от 1800 Mhz; оперативная память от 512 Мб; видеоадаптер: любая современная видеокарта, от 64Мб ОЗУ; ОС: Windows: XP и выше; установленный FrameWork DotNET 3.5 Full.

После запуска клиентского приложения выходит окно авторизации. Если установлен автоматический вход, то сразу появляется окно клиента (рис. 4).

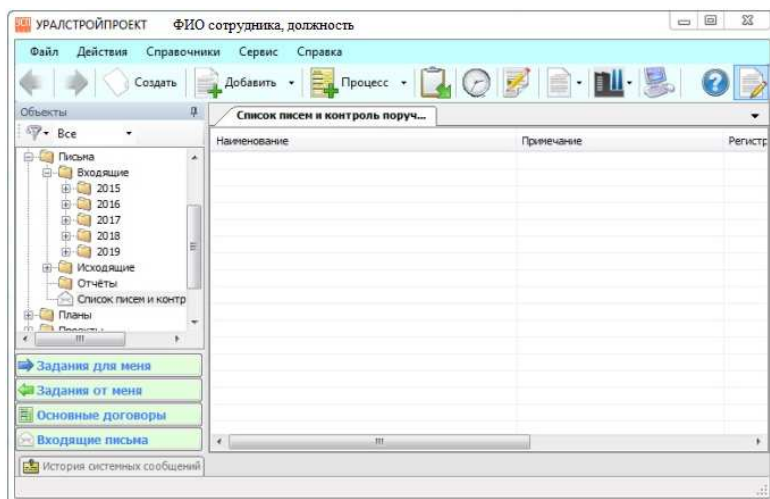


Рис. 4. Клиентское окно

Для данного модуля была создана инструкция в виде файла PDF с иллюстрациями форм и кнопок. В результате внедрения модуля «Обработка входящей/исходящей корреспонденции на предприятии» отмечено ускорение бизнес-процессов, связанных с делопроизводством предприятия в целом.

Сведения об авторах

Лузин Евгений Анатольевич – студент Пермского института (филиала) РЭУ им. Г.В. Плеханова, гр. При-21, г. Пермь, e-mail: lika.Luz@yandex.ru

Галкина Людмила Сергеевна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Экономический анализ и статистика» Пермского института (филиала) РЭУ им. Г.В. Плеханова, г. Пермь, e-mail: ludagalkina@mail.ru

Д.В. Сафронов, С.В. Юдина

ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ

В данной статье рассматривается разработка системы, предназначенной для повышения комфорта эксплуатации устаревших автомобилей и автомобилей, или спецтехники, условия эксплуатации которых не отвечают современным технологическим решениям в этой сфере.

Ключевые слова: вычислительные машины, эксплуатация автомобилей.

D.V. Safronov, S.V. Yudina.

AUXILIARY INFORMATION AND CONTROL SYSTEM FOR CARS

This article discusses the development of a system designed to increase the comfort of operating outdated cars and automobiles, or special equipment, whose operating conditions do not meet modern technological solutions in this area.

Keywords: computers, car exploitation.

Парк автомобильной техники в России насчитывает 51,8 млн единиц. Такие данные по состоянию на 1 января 2019 г. привело аналитическое агентство «Автостат» [1].

Большая часть от общего числа автомобилей (84 %) приходится на легковые машины. Их в отечественном автопарке 43,5 млн единиц. Далее идет легкая коммерческая техника (доля – 8 %, чуть более 4,1 млн) и грузовые автомобили (7 %, 3,8 млн штук).

Так же большое число (58,9 %) легковых автомобилей относят к числу старых, т.е. тех, которым больше десяти лет. Условия эксплуатации этих автомобилей сильно устарели, и не соответствуют современным техническим реалиям в области комфорта и удобства эксплуатации автомобиля.

Технические комплектации некоторых даже современных автомобилей, в частности российского производства, не могут продемонстрировать современных технологий в рассматриваемой сфере. Условия использования специализированных транспортных средств обладают малым числом систем, повышающих комфорт эксплуатации, а часто вовсе не оборудованы подобными средствами.

Целью создания вспомогательной информационно-управляющей системы для автомобилей является обеспечение владельцев автомобилей, не оснащенных или оснащенных узким спектром оборудования повышения комфорта эксплуатации автомобиля (таких как мультимедийная система, климат-контроль и подобные устройства и системы), более широким функционалом, повышающим комфорт использования автомобиля или специализированных транспортных средств.

Данная система предназначена для сбора, обработки и вывода информации с различных типов датчиков на дисплей, управления определенными узлами автомобиля, а также, при необходимости, установки новых узлов, не вносящих изменений в конструкцию автомобиля либо не противоречащих Федеральному закону 196-ФЗ «О безопасности дорожного движения» [2].

Сбор данных осуществляется с аналоговых и цифровых датчиков [3] и индикаторов, получающих информацию о состоянии различных систем и узлов автомобиля (датчик скорости, датчик положения дроссельной заслонки и прочие) и сигнализирующих о критическом состоянии систем или узлов (датчик износа тормозных колодок, датчик температуры охлаждающей жидкости и прочие). Информация, получаемая с данных систем может подвергаться предварительной обработке с использованием математических методов [4]. Решение о текущем состоянии транспортного средства принимается с учетом решающих правил и носит интеллектуальный характер, как, например, это выполняется в задачах медицинской диагностики [5].

Обработка полученных данных ведется для анализа работы двигателя, состояния определенных узлов автомобиля (например, по разнице температур на датчиках, установленных на помпе и радиаторе, можно определить, в рабочем ли состоянии находится термостат), прогнозирования остатка пути на текущем уровне топлива и прочих конвертаций данных.

Управление осуществляется над узлами, не влияющими на уровень обеспечения безопасности дорожного движения, и определяется на основе пожелания пользователя (например, управление группой электростеклоподъемников) или на основе анализа полученной информации с датчиков и сравнения текущего состояния изменяемого параметра с желаемым (климат-контроль с использованием электрорегулируемого крана отопителя салона). В качестве тестового образца используется автомобиль Газ 3110, укомплектованный двигателем

ЗМЗ 402.2 и пятиступенчатой коробкой передач. В качестве блока управления применяется микроконтроллер arduino uno [6].

Первым этапом разработки системы стал сбор информации о температуре двигателя и уровне топлива, после чего был реализован вывод информации на строковый дисплей, затем система была установлена в автомобиль. Схема расположения датчиков приведена на рисунке. Далее система будет дополняться информацией с большего числа датчиков, после чего будут реализованы управляющие функции: как ручные (управление стеклоподъемниками), так и автоматические (например, управление холостыми оборотами в процессе прогрева автомобиля).

Преимуществами данной системы являются:

- низкая стоимость производства в силу используемых материалов;
- широкий спектр применения на различных моделях автомобилей и определенных моделях спецтехники.

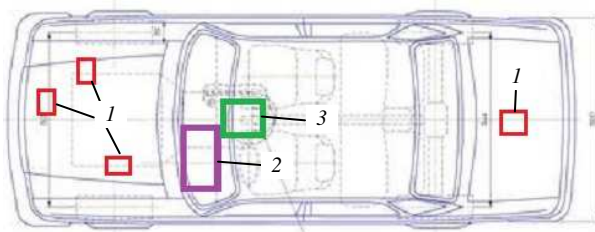


Рис. Схема расположения оборудования в автомобиле: 1 – расположение датчиков и информационных узлов; 2 – расположение приборной панели; 3 – расположение ИИУС, дисплея и индикаторов системы

Недостатком данной системы можно назвать сложность установки на автомобили, не оснащенные электронным блоком управления.

Таким образом, разработка вспомогательной информационно-управляющей системы для автомобилей без электронного блока управления двигателем и штатного бортового компьютера представляется технически реализуемым и перспективным проектом.

Библиографический список

1. Аналитическое агентство «Автостат» [Электронный ресурс] // В России числится около 52 млн единиц автотранспорта. – URL: <https://www.autostat.ru/news/37917/> (дата обращения: 20.04.2019).

2. О безопасности дорожного движения (с изменениями на 27 декабря 2018 г.): Федер. закон (редакция, действующая с 30 декабря 2018 г.) ст. 15 п.4.

3. Федоренко В.В., Кузьмин А.В. Сбор и хранение данных в автоматизированной системе контроля температуры объекта // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2017. – № 24. – С. 105–120.

4. Кузьмин А.В., Митрохина Н.Ю., Вдовикина О.А. Лабораторный практикум по основам компьютерных технологий в математике на базе пакета SCILAB. – Пенза: Изд-во Пензен. гос. ун-та, 2012.

5. Бодин О.Н., Кузьмин А.В., Логинов Д.С. Интеллектуальный анализ электрокардиосигналов для диагностики инфаркта миокарда // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2010. – № 1(13). – С. 46–53.

6. Arduino. – URL: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products> (accessed 24 March 2019).

Сведения об авторах

Сафронов Дмитрий Вячеславович – студент Пензенского государственного университета, гр. 14В01, г. Пенза, e-mail: diemondeath@gmail.com

Юдина Светлана Вячеславовна – магистрант Пензенского государственного университета, гр. 17ВЭм1, г. Пенза, e-mail: piro.tagro@gmail.com

Д.К. Кетов

РАЗРАБОТКА API-ДОСТУПА К ДАННЫМ С ДИНАМИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЕМОЙ СТРУКТУРОЙ НА ОСНОВЕ GRAPHQL

Существует множество различных способов организации API для доступа к данным, но задача проектирования такого API усложняется в случае, если данные имеют динамическую структуру. Статья содержит новое решение этой задачи, основанное на технологии GraphQL. В ходе работы было создано приложение, предоставляющее динамический API-интерфейс GraphQL для доступа к данным. Это приложение основано на динамической схеме запроса GraphQL, которая может быть изменена пользователем. Возможность создания динамической схемы GraphQL еще не была достаточно изучена ранее, зачастую использовалась статическая схема. Результат работы может быть полезен при проектировании API-приложений как один из новых возможных способов предоставления доступа к данным.

Ключевые слова: API, проектирование, архитектура, GraphQL.

D.K. Ketov

DEVELOPING A GRAPHQL-BASED API TO DYNAMIC STRUCTURED DATA

There is a variety of different ways to plan API to data, but this planning becomes harder if this data has dynamic structure. This article contains a new solution based on GraphQL dynamic schema. During this work, an application providing the access to dynamic GraphQL API to data. Users may work with the metadata of data with GraphQL as well. The opportunity of creating dynamic GraphQL schema was not discovered yet. The static schema was used usually. The results of this article may be interesting from API planning point of view.

Keywords: API, architecture, GraphQL.

API для доступа к данным используется повсеместно. Наиболее распространенным примером являются приложения с клиент-серверной архитектурой. В данном случае сервер предоставляет клиенту доступ к данным, за обработку и хранение которых он отвечает. Из этого следует, что вопрос проектирования API крайне актуален, так как количество приложений, использующих клиент-серверную архитектуру, настолько велико, что невозможно достаточно точно его оценить. Потребность в таком API возникла в ходе работы над проек-

том государственной автоматизированной системы правовой статистики. Для этого проекта требовалось решение, поддерживающее динамическую структуру данных, а также позволяющее избежать over и under fetching при передаче данных.

В ходе работы были изучены существующие подходы к проектированию API с точки зрения решения проблемы over и under fetching, а также поддержки динамической структуры данных. Были рассмотрены такие API, как REST, RESTfull, CRUD и т.д.

Обзор существующих решений осуществлялся с помощью вектора вариантов и со следующим набором критериев:

- 1) решение проблемы over-fetching;
- 2) решение проблемы under-fetching;
- 3) структура кода;
- 4) поддержка динамических данных.

Результат анализа представлен в таблице.

Обзор подходов к построению API

Критерий	Over-fetching	Under-fetching	Структура	Динамические данные	Сумма
Подход\веса	4	3	6	10	
REST-API	5	5	6	5	121
Pure JSON API	4	4	4	6	112
GraphQL	10	10	8	3	148
				Максимум:	230

Как видно из таблицы, ни один из вариантов не удовлетворяет сразу всем критериям в должной мере, а средний результат лучшего из вариантов не многим больше середины от максимально возможного. Из этого следует, что необходимо предложить некоторое свое решение для интерфейса доступа к данным с динамически изменяющейся структурой. Также из таблицы видно, что решение GraphQL в целом хорошо показывает себя на всех критериях, кроме динамических данных. Было решено построить свое решение на основе GraphQL.

Далее были сформулированы требования к разрабатываемой системе. Система должна предоставлять расширенный CRUD – интерфейс к метаданным данных (в данном случае метаданные хранятся в виде словарей), а также расширенный CRUD – интерфейс к самим данным на основе их метаданных. Более того, словари с метаданными должны группироваться при помощи системы папок.

Функциональные требования представлены с помощью диаграммы прецедентов и изображены на рис. 1.

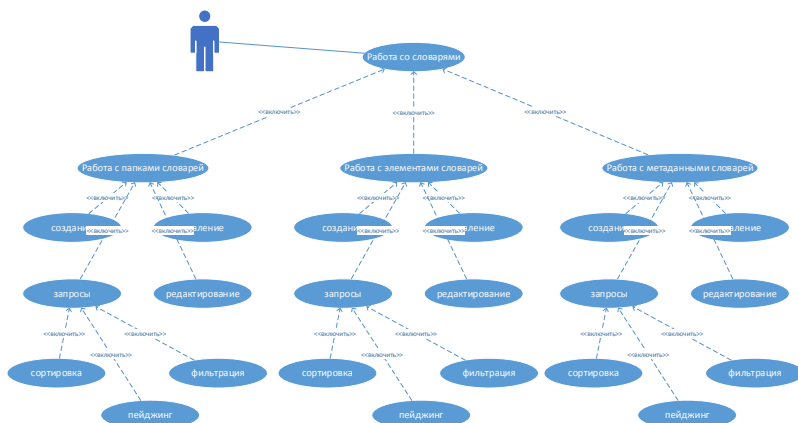


Рис. 1. Диаграмма прецедентов

Стоит отметить, что все операции фильтрации, сортировки или пейджинга, а также сами запросы к элементам словаря должны обеспечивать работу со связанными сущностями. Связи между сущностями могут быть как один к одному, так и один ко многим и многие ко многим. Более того, разрабатываемая система должна поддерживать версионные и иерархические справочники. Версионными называют справочники, в которых один и тот же элемент хранится в разных версиях. Это позволяет восстанавливать элементы, а также проследить их изменение. Иерархическими называются справочники, каждый элемент которого имеет 0 или 1 родитель из этого справочника. Таким образом, они образуют структуру, являющуюся лесом из подвешенных деревьев. Также должна быть реализована возможность экспорта в Excel, xml и rar динамических данных, в том числе версионных и иерархических. Вся система (которая является серверной частью более крупной системы государственной автоматизированной системы правовой статистики) была написана на .net core. Это решение связано с производительностью, а также простотой развертывания.

Архитектура разрабатываемой системы предоставлена на рис. 2. Стоит отметить, что кэширование через Redis происходит на двух уровнях: метаданные всегда жестко закэшированы и обновляются при их изменении, в то время как сами элементы обновляются по мере запросов на них.

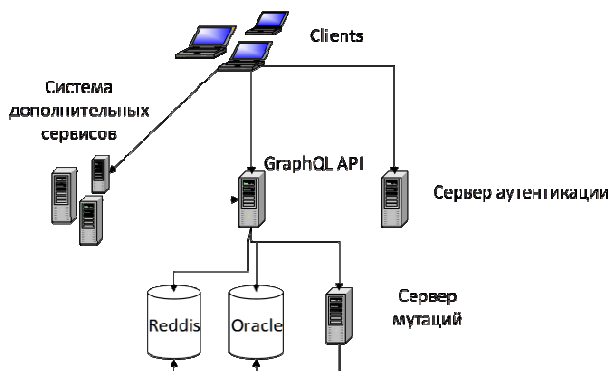


Рис. 2. Архитектура системы

Структура основного приложения во многом продиктована фреймворком GraphQL. Упрощенная диаграмма классов основного приложения представлена на рис. 3. Диаграмма классов была упрощена, чтобы продемонстрировать общую структуру приложения, сохранив при этом наглядность.

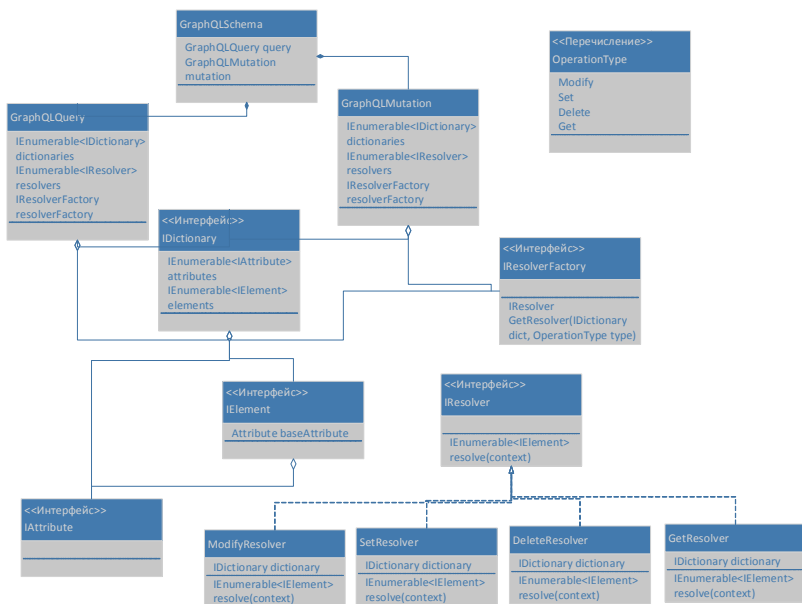


Рис. 3. Диаграмма классов основного приложения

В систему дополнительных сервисов входят вспомогательные сервисы, большинство которых специфично для предметной области государственной автоматизированной системы правовой статистики. С точки зрения проектирования API наиболее интересным является сервис экспорта.

Сервис экспорта устроен таким образом, что принимает на вход GraphQL запрос, а далее просто передает его на сервис GraphQL, а упаковкой и упорядочиванием данных занимается сервис GraphQL. Сам же сервис экспорта исключительно записывает данные в нужном формате.

Стоит отметить, что отдельно реализован экспорт в Excel версионных и иерархических справочников. В данном случае элементы версионных справочников выводятся с учетом их версий, а именно: вновь созданные элементы выводятся жирным шрифтом, удаленные зачеркиваются, а не изменившиеся выводятся обычным образом. У иерархических справочников элементы группируются по разным листам, далее по разным подгруппам с помощью шрифтов и т.д. Пример версионного иерархического экспорта изображен на рис. 4.

Перечень 1 Предварительное расследование									
Квалификация (Статьи УК РФ)	Дата вступления в законную силу	Окончание действия редакции	Дополнительное условие ГАС ПС	Подследственность	Тяжесть преступления	Ущерб/вред	группа лиц	доля/частное лицо	иное
перечень 1-1 в форме дознания и следствие									
Перечень 1-2-1									
Перечень 1-2-1-1									
Перечень 1-3-1, часть 2 (2.1, 2.1.1) без доп. условий			< текст формулы дополнительного условия >	дознание, следствие	небольшой тяжести	значительный ущерб			
ст. 274 эн. 1 ч. 1	01.01.2001	31.01.2020		Следствие	небольшой тяжести	ущерб			
ст. 279 эн. 1 ч. 1	02.01.2001	01.02.2020		Следствие	небольшой тяжести	значительный размер			
ст. 279 эн. 1 ч. 1	03.01.2001	02.02.2020		Следствие	средней тяжести	значительный размер			
ст. 274 эн. 1 ч. 1	04.01.2001	03.02.2020							
ст. 274 эн. 1 ч. 1	05.01.2001	04.02.2020							

Рис. 4. Пример экспорта

Экспорт в Excel реализован с помощью OpenXML. Это позволяет не иметь установленного MS Excel на серверах приложения, а также он производительнее остальных аналогов.

В заключение можно сказать, что данная система может использоваться по прямому назначению, как API-доступ к данным с динамически изменяющейся структурой в enterprise проектах за счет высокой производительности, широкой функциональности, а также удобства взаимодействия для frontend – разработчиков. Также за счет хорошей структуры кода систему легко поддерживать.

Стоит отметить, что система может быть использована и в ситуации со статическими данными в рамках прототипирования. В нее

можно просто добавить любую предметную область, тем самым избежав написания специального backend для этой предметной области, а в ситуации, когда прототип окажется удачным, создавать специальный backend для этой предметной области. Это достигается за счет того, что система легко воспроизводима и контейнеризируема.

Библиографический список

1. Антонов К. О модели взаимодействия клиент-сервер простыми словами. Архитектура «клиент-сервер» с примерами [Электронный ресурс] // ZametkiNaPolyah.ru. – 2016. – URL: <https://zametkinapolyah.ru/servera-i-protokoly/o-modeli-vzaimodejstviya-klient-server-prostymi-slovami-arxitektura-klient-server-s-primerami.html> (дата обращения: 01.02.2019).
2. Дизайн GraphQL-схем. – 2019. – URL: <https://github.com/nodkz/conf-talks/tree/master/articles/graphql/schema-design> (дата обращения: 01.02.2019).
3. Построение Enterprise-приложения. – 2019. – URL: <http://java-course.ru/student/book2/scheme/> (дата обращения: 01.02.2019).
4. Степанов Д.Ю. Проблемы внедрения корпоративных информационных систем: уровень приложений [Электронный ресурс] // Менеджмент сегодня. – 2015. – Т. 87, № 3. – С. 180–191. – URL: <http://stepanovd.com/science/30-article-2015-1-erpappl> (дата обращения: 01.02.2019).
5. AGILE – гибкая система управления проектами. – 2019. – URL: <https://4brain.ru/blog/agile/> (дата обращения: 01.02.2019).
6. Driving commerce to the web-Corporate Intranets and the Internet: Bitbucket. Gitflow Workflow. – 2019. – URL: <https://ru.atlassian.com/git/tutorials/comparing-workflows/gitflow-workflow> (accessed 01 February 2019).
7. Driving commerce to the web-Corporate Intranets and the Internet: Microsoft. System Namespace. – 2019. – URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/api/system?view=netframework-4.7.2> (accessed 01 February 2019).
8. Driving commerce to the web-Corporate Intranets and the Internet: Oracle. Procedures and Packages. – 2019. – URL: https://docs.oracle.com/cd/A57673_01/DOC/server/doc/SCN73/ch14.html (accessed 01 February 2019).

9. Fateev D.S., Klochkov K.S., Saburova V.V. Class Design Principles. – Russian Federation: Young Scientist, 2016. – P. 175–177.
10. Fielding R. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures. – 2000. – URL: <https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.html> (accessed 01 February 2019).
11. Gutsch J. Driving commerce to the Web—Corporate Intranets and the Internet: DZone. GraphiQL for ASP.NET Core. – URL: <https://dzone.com/articles/graphiql-for-aspnet-core> (accessed 01 February 2019).
12. Hartig, O., Pérez, J. An Initial Analysis of Facebook's GraphQL Language, 2017. – P. 20–27.
13. Kalinichenko G.A., Skorokhod S.V. Comparison of GraphQL and REST API technologies in the development of modern customer-server applications. – Russian Federation: Internauka, 2017. – P. 47–52.
14. Martin R. The Clean Coder: A Code of Conduct for Professional Programmers. – Russian Federation: Peter, 2017. – P. 153–187.
15. Tarik Eltaeib, Trinadh Venkata Swamy Naidu Venna, Vamsi Madasu. SOLID Principles in Software Architecture and Introduction to RESM Concept in OOP // Journal of Engineering Science and Technology. – 2015. – P. 18–25.

Сведения об авторе

Кетов Дмитрий Константинович – студент Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Пермь, e-mail: ketovdk@rambler.ru

А.А. Байдаров, В.А. Гурко, П.В. Майоров, О.А. Марков

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ВОСПРИЯТИЯ ЗВУКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

В статье описан подход к решению проблем восприятия звука человеком. Мы живем в мире звуковых сигналов и благодаря им получаем около 20 % всей информации, при этом, по данным Всемирной организации здравоохранения, в мире насчитывается 466 млн людей с инвалидизирующей потерей слуха. Проведены исследования информационных технологий и решений в области восстановления слуха.

Ключевые слова: информация, цифровые системы, звук, слуховой аппарат, костная проводимость, инновации в мире слуха, цифровые процессоры, беспроводная связь, беспроводная зарядка.

A.A. Baydarov, V.A. Gurko, P.V. Mayorov, O.A. Markov

THE USE OF DIGITAL SYSTEMS TO ELIMINATE PHYSIOLOGICAL PROBLEMS IN THE PERCEPTION OF SOUND INFORMATION

The article describes an approach to solving problems of human perception of sound. We live in a world of audible signals, and thanks to them we get about 20 % of all information, while according to the World Health Organization, there are 466 million people with disabling hearing loss. In the course of our work, research on information technologies and solutions in the field of hearing recovery has been carried out.

Keywords: information, digital systems, sound, hearing aid, bone conduction, innovation in the world of hearing, digital processors, wireless connection, wireless charger.

Человека в современном мире окружает информация, и воспринимает он ее с помощью органов чувств. Информация – это вся совокупность сведений об окружающем нас мире, о всевозможных протекающих в нем процессах, которые могут быть восприняты живыми организмами, электронными машинами и другими информационными системами [1]. Одним из ключевых источников информации являются органы слуха, благодаря которым человек воспринимает звуковую информацию. На данный момент задача восстановления слуха

у людей становится очень важной, так как роль информации в жизни человека является определяющей: чем больше навыков и знаний он имеет, тем выше ценится как специалист и сотрудник, тем больше имеет уважения в обществе.

Основным способом решения проблем со слухом являются слуховые аппараты – это устройства, которые призваны компенсировать недостаток слуховой информации, возникающий при тугоухости. Звуки, воспринимаемые человеком, по своей природе имеют аналоговую форму. Слуховые аппараты преобразуют входящий аналоговый сигнал в цифровой и усиливают его. Чтобы преобразование, усиление и доставка звуковой информации происходили в правильном режиме, аппарат нужно настроить.

Для настройки АЧХ-аппарата нужно знать, как воспринимает конкретный человек звук на разных частотах. Для этого врач-аудиолог производит необходимое тестирование слуха пациента [2]. Результатом обследования является график, на котором представлены частотные диапазоны и чувствительность слуха у пациента в этих диапазонах [3].

Нами было выявлено, что при эксплуатации слухового аппарата возникает потребность в его большой функциональности. В приоритете были такие функции как:

- регулировка громкости со смартфона;
- возможность ответа на входящие звонки;
- беспроводная зарядка;
- наличие нескольких режимов настройки.

Разные режимы настройки нужны для более комфортного использования слухового аппарата. Например, один из них будет для повседневного использования, в котором усиления на разных частотных интервалах будут настроены индивидуально для каждого пациента, исходя из данных, полученных в результате обследования врача-аудиолога. Второй режим для применения в шумных местах. Он будет настроен на достаточно сильное шумоподавление и выделение речи. Также возможно наличие еще нескольких режимов, в зависимости от пожелания пациента. Переключение между режимами, а также регулировка громкости будет осуществляться через специальное приложение в смартфоне. Связь смартфона и слухового аппарата будет реализована благодаря беспроводной низкоэнергетической технологии «Bluetooth Low Energy» [4–6].

Рассмотрим некоторые элементы слухового аппарата. На рисунке представлена упрощенная схема гибридной системы, которая показывает основные внутренние функциональные блоки и возможные внешние периферийные устройства.

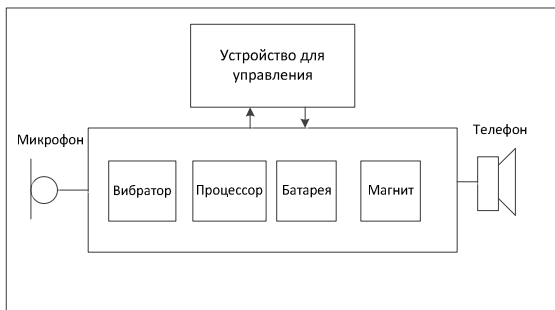


Рис. Структурная схема реализации

Одним из ключевых элементов является процессор [7]. Изучив рынок, мы остановили свой выбор на процессоре Ezairo 7150 SL Hybrid от компании ON Semiconductor [8]. Ezairo 7150 SL Hybrid – это гибрид с открытым программируемым процессором на базе цифровой обработки сигнала (digital signal processing), который обеспечивает беспроводную связь в слуховых аппаратах и кохлеарных имплантатах [9]. Данный процессор подходит для варианта реализации слухового аппарата по следующим критериям:

- 1) поддержка протоколов беспроводной передачи данных на частоте 2,4 ГГц;
- 2) высокоточная четырехядерная архитектура;
- 3) низкое энергопотребление;
- 4) гибкая программируемость;
- 5) сравнительно небольшие размеры;
- 6) сверхнизкое энергопотребление (1090 мкА);
- 7) поддержка потоковой передачи стереозвука.

В рамках исследования был выбран микрофон MEMS MP23AB02BTR [10], данная модель обладает рядом особенностей:

- низкое энергопотребление;
- соотношение сигнал/шум 64 дБ;
- всенаправленная чувствительность;
- защита от электромагнитных помех.

В качестве источника питания используем литий-ионный аккумулятор с возможностью беспроводной зарядки.

При успешной реализации данного проекта будут рассмотрены следующие задачи:

- 1) реализация проекта для иных случаев потери слуха. Проблемы с органами слуха у всех имеют разную природу, поэтому и решения для всех индивидуальные [11];
- 2) удешевление компонентов. Из данной задачи вытекает снижение общей стоимости на слуховой аппарат;
- 3) улучшение АЧХ-характеристик слухового аппарата;
- 4) минимизация составляющих;
- 5) рассмотрение проекта для животных.

Таким образом, мы рассмотрели актуальность и востребованность цифровых систем для устранения физиологических проблем восприятия цифровой информации. В рамках наших исследований был произведен анализ необходимых свойств и функций слуховых аппаратов. Также были определены некоторые компоненты для реализации слухового аппарата костной проводимости и поставлены задачи для дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Роль информации в современном обществе [Электронный ресурс]. – URL: http://infdeyatchel.narod.ru/rol_inf.htm (дата обращения: 18.05.2019).
2. Основные ограничения по использованию [Электронный ресурс]. – URL: www.ieeexplore.ieee.org/xpl (дата обращения: 21.04.2019).
3. Имитация многолучевого канала на основе IEEE 802.11b [Электронный ресурс]. – URL: <https://m.habr.com/ru/post/122544/> (дата обращения: 03.05.2019).
4. О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902048009> (дата обращения: 22.04.2019).
5. Совместимость технических средств электромагнитная [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200076812> (дата обращения: 22.04.2019).
6. Технология Bluetooth [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.bluetooth.com> (дата обращения: 05.01.2019).

7. Сигнальные процессоры. Успех в бытовой аппаратуре [Электронный ресурс]. – URL: www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_92_432.pdf (дата обращения: 20.04.2019).

8. Спецификация аудиопроцессора [Электронный ресурс]. – URL: www.onsemi.com/pub/Collateral/E7150-D.PDF (дата обращения: 30.04.2019).

9. Кохлеарный имплант. Кому могут помочь? [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cochlear.com/ru/home/understand/hearing-and-hl/hl-treatments/bone-conduction-implant> (дата обращения: 07.05.2019).

10. IC MEMS AUDIO SENSOR 3RHLGA. – URL: <https://www.digikey.com/productdetail/en/stmicroelectronics/MP23AB02BTR/497-14947-1-ND/4988080> (accessed 07 May 2019).

11. Сравнительная характеристика имплантационных систем [Электронный ресурс]. – URL: <https://medconfer.com/node/16826> (дата обращения: 08.05.2019).

12. Арфьева Н.А., Савельева Е.Е. Объективная диагностика частотных порогов слуха у детей раннего возраста // Российская оториноларингология. – 2016. – № 6. – С. 17–26.

Сведения об авторах

Байдаров Андрей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: cshp@bk.ru

Гурко Владимир Алексеевич – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: vlgurko@gmail.com

Майоров Павел Валерьевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК-15-16, г. Пермь, e-mail: pavelmayorov1996@gmail.com

Марков Олег Анатольевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК-15-16, г. Пермь, e-mail: markov-oa@mail.ru

П.В. Иванов, А.И. Сергеев

АВТОМАТИЗАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА

В статье рассмотрена проблема построения геометрии траектории движения инструмента на основе G-кода. Рассматриваются математические зависимости, позволяющие решить данную проблему. На основе предложенных математических моделей разработана прикладная программа визуальной верификации управляющих программ для станка с числовым программным управлением.

Ключевые слова: САМ-система, визуальная верификация, управляющая программа, числовое программное управление, 3D-модель, геометрия траектории движения инструмента.

P.V. Ivanov, A.I. Sergeev

GEOMETRY OF TRAJECTORY OF MOTION OF TOOL

The article deals with the problem of constructing the geometry of the toolpath on the basis of G-code. Mathematical dependences allowing to solve this problem are considered. On the basis of the offered mathematical models the application program of visual verification of operating programs for the machine with numerical control is developed.

Keywords: CAM-system, visual verification, control program, numerical control, 3D-model, toolpath geometry.

Сущность геометрической задачи числового программного управления (ЧПУ) металлорежущим станком заключается в преобразовании информации чертежа детали в движение формообразования, материализующее деталь в конечное изделие. Выполнение движения формообразования достигается согласованным перемещением вдоль осей X , Y , Z от соответствующих следящих приводов подачи. Расположение следящих приводов соответствует координатной системе станка.

Для управления движением перемещения приводов используется программа для станка с ЧПУ, которая состоит из последовательности кадров. Каждый кадр представляет собой один шаг обработки. В кадре записываются операторы в форме слов. Слово – это элемент кадра, представляющий собой оператор. Слово состоит из символа адреса (обычно это буква) и числового значения. Программу для

станка с ЧПУ можно описать как набор с указанием координат. Перед запуском управляющей программы (УП) на станке необходимо провести её верификацию.

Для сокращения времени на проверку УП необходимо использовать верификацию с применением автоматизированных систем. Рассмотрим алгоритм получения опорных точек из УП. В программу загружается текст с УП, из которого необходимо выбрать значения двух координат и занести их в числовой массив. Для этого выполняется синтаксический анализ и осуществляется выбор опорных точек с координатами, которые заносятся в массив для дальнейшего анализа.

В случае с использованием двумерной верификации УП будут использованы оси X , Y в качестве определения траектории движения инструмента. Анализ координаты Z нужен для определения участков, на которых производится обработка заготовки. По результатам анализа траектория движения инструмента в контакте с заготовкой будет выделена толстой линией. В обратном случае – линия будет тонкой.

При двумерной визуальной верификации есть возможность посмотреть ориентировочный итог работы УП. В таком методе есть существенный недостаток: определить ошибку программы визуально человек не всегда в состоянии, если брать мельчайшие отклонения в работе УП. Возможным вариантом улучшения визуальной верификации будет разработка программного построения 3D-модели детали, полученной из заданной модели заготовки в КОМПАС 3D. Данный вариант решения проблемы позволит достаточно подробно проверить корректность УП с использованием команд «Размер».

Для осуществления имитации станочной обработки необходимо провести лексический анализ, в результате которого будут получены координаты траектории движения инструмента. После того как будут определены данные о движении инструмента, возникает сложность с переносом координат в CAD-систему. В 3D-модели необходимо получить объемное представление обработки детали инструментом. Для рассмотрения решения задачи были проанализированы два типа движения инструмента: линейная и круговая интерполяции.

Линейная интерполяция. Инструмент движется от начальной к конечной точке по прямой траектории. Пример линейной интерполяции представлен на рис. 1.

```
...N10 G1 F50 X60 Y40 Z20  
N20 X103 Y145 Z20...
```

Для того чтобы найти точки 1 и 2, указанные на рис. 2, необходимые для построения имитации хода инструмента, была применена формула нахождения угла прямой по координатам двух точек. Сначала находим угловой коэффициент, который будет равняться арктангенсу данного угла. Координаты первой точки обозначим как (X_1, Y_1) , а координаты второй точки как (X_2, Y_2) . Формула для вычисления углового коэффициента

$$\frac{VR}{GR} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}, \quad (1)$$

где VR – вертикальное расстояние, определяемое изменением координаты Y ; GR – горизонтальное расстояние, определяемое изменением координаты X .

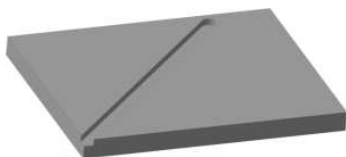


Рис. 1. Линейная интерполяция

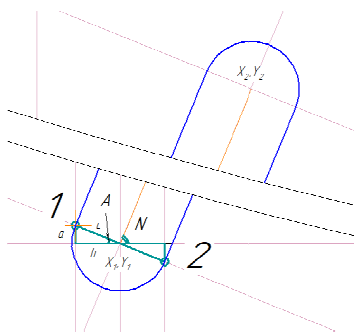


Рис. 2. Геометрия линейной интерполяции

Таким образом, находим угловой коэффициент угла N . Чтобы вычислить угол наклона прямой, из найденного значения вычислим арктангенс. Далее производится вычисление значения угла A , после чего определяются катеты a и b указанного на рис. 2 прямоугольного треугольника. Для этого используются формулы:

$$a = c \sin(A), \quad (2)$$

$$b = c \cos(A). \quad (3)$$

Круговая интерполяция. Круговая интерполяция задается с помощью операторов $G2$ и $G3$ (по часовой и против часовой стрелки). Инструмент движется от начальной точки к конечной по круговой траектории. Направление определяется G -функцией. Пример круговой интерполяции показан на рис. 3.

...N160 X160 Y300 Z20
N170 G2 X240 Y300 I200 J300...

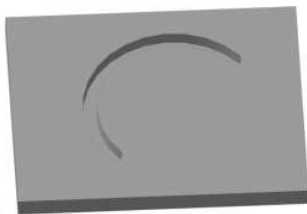


Рис. 3. Круговая интерполяция

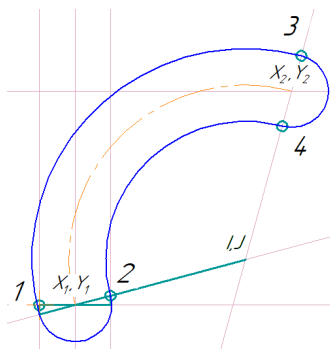


Рис. 4. Геометрия круговой интерполяции

В случае с круговой интерполяцией применяется методика нахождения координат точек 1 и 2, за одним исключением – изначально необходимо определить угол прямой относительно точек начала движения инструмента (X_1, Y_1) и центра дуги (I, J).

$$\frac{VR}{GR} = \frac{J - Y_1}{I - X_2}. \quad (4)$$

Так как траектория кругового движения инструмента отличается от линейной, необходимо будет найти и координаты точек 3 и 4. В результате будут определены координаты четырех точек, по которым производится построение геометрии движения инструмента (рис. 4).

Рассмотренные примеры дают понимание возможности получения имитации обработки на станке с ЧПУ за счет применения CAD-системы и разработанной подпрограммы. Данный вариант графической визуальной верификации дает возможность получить наглядное представление о получаемой с помощью загружаемого в подпрограмму G-кода модели обработанной заготовки.

Библиографический список

1. SINUMERIK 802D sl Управление и программирование. Фрезерная обработка (BP-F), вып. 05/2005 [Электронный ресурс]; ООО «Сименс». – М., 2005. – 388 с.

2. Веткасов Н.И., Рязанов С.И. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. – Ульяновск : Изд-во УлГТУ, 2006. – 68 с.

3. Сергеев А.И., Иванов П.В. Визуальная верификация управляющей программы // Машиностроение: инновационные аспекты развития: материалы междунар. науч.-практ. конф. – СПб.: СПбФ НИЦ МС, 2019. – № 2. – С. 141–143.

4. Конструирование роботов: пер. с фр. / П. Андре, Ж.-М. Кофман, Ф. Лот, Ж.-П. Тайар. – М.: Мир, 1986. – 360 с.

5. Поляков А.Н., Мурзакаев Р.Т. Разработка программного модуля формирования управляющей программы для станков с ЧПУ // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы всерос. науч.-техн. конф. – Пермь, 2015. – С. 128–132.

6. Рыбаков А.В. Переход от традиционных стандартов предприятия к компьютерным базам знаний / А. Рыбаков, С. Евдокимов, А. Краснов, Н. Никонов // CAD/CAM/CAE Observer. – 2003. – № 4(13). – С. 2–7.

7. Сергеев А.И., Гончаров А.Н., Кузьмин В.А. Разработка управляющих программ для станка 400V в системе ЧПУ Siemens 802D sl: метод. указания / Оренбург. гос. ун-т. – Оренбург, 2012. – 92 с.

Сведения об авторах

Иванов Павел Владимирович – аспирант кафедры «Системы автоматизации производства» Оренбургского государственного университета, e-mail: pavel.ivanov91@mail.ru

Сергеев Александр Иванович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Системы автоматизации производства» Оренбургского государственного университета, e-mail: alexandr_sergeew@mail.ru

О.В. Гончаровский, В.В. Воркунов

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАБОТЫ РОБОТА В ПОМЕЩЕНИИ

В работе исследованы решения задач позиционирования и навигации для помещения. Выполнен анализ наиболее популярных систем позиционирования. Предложена специализированная система позиционирования с использованием лидара и магнитометра (электронного компаса). Предложено решение навигационной задачи с помощью специализированной системы позиционирования для помещения. Разработан алгоритм навигации для автоматической самоходной тележки.

Ключевые слова: автономный робот, навигация автономного робота, система позиционирования, исчисление координат, ориентир.

O.V. Goncharovsky, V.V. Vorkunov

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF SPECIAL NAVIGATION SYSTEM FOR A ROBOT TO WORK IN A ROOM

The solution of problems of positioning and navigation in the room were investigated in the work. The analysis of the most popular positioning systems was made. A specialized positioning system using a LIDAR and a magnetometer (electronic compass) is proposed. A solution to the navigation problem using a specialized positioning system in the room has been proposed. Developed a navigation algorithm for an automatic self-propelled cart.

Keywords: Autonomous robot, Positioning system, Navigation, Positioning, Navigation of Autonomous robot, Calculation of coordinates, Reference points.

Постановка задачи. Навигация является одной из самых сложных компетенций, которой должен обладать автономный мобильный робот. Реализация этой компетенции зависит от решения четырех задач навигации:

- 1) восприятие (перцепция) – робот должен верно интерпретировать показания своих датчиков (сенсоров) для выделения значимых данных;
- 2) локализация – робот должен определить свое положение в окружающей среде;
- 3) осознание полученных данных (когниция) – робот должен решить, как действовать для достижения цели;

4) управление движением – робот должен так воздействовать на свои двигатели, чтобы достигнуть желаемой траектории.

Эти задачи навигации внутри помещения решаются в рамках двух подходов: идеоцентрического и алоцентрического. В первом случае решение опирается только на сенсоры робота, а во втором – используется внешняя навигационная система, основанная на различных маяках. Идеоцентрическая система не требует разворачивания специальной инфраструктуры, но уступает по точности локализации алоцентрической системе.

Стоит задача по достижению точности идеоцентрической системы, близкой к точности алоцентрической, с минимальной стоимостью системы путем использования адаптированного датчика LIDAR и магнитометра. С помощью адаптированного датчика LIDAR определяем расстояния, а с помощью магнитометра азимут. Разрабатываем алгоритм построения маршрута и движения робота по нему.

Краткий обзор существующих навигационных систем используемых внутри помещения. Алоцентрическая система позиционирования (Indoor positioning systems (IPS)) – это позиционирование внутри помещения, в системе используют внешнюю навигационную систему, датчики и коммуникационные технологии (различные маяки) для локализации объектов в помещениях [2].

Основные этапы определения местоположения и IPS следующие: 1-й этап – данные, где устройство измеряет характеристики сигнала; 2-й этап – измерения расстояния, где приборы используют измерения или данные, полученные для определения расстояния до/от объекта, который необходимо расположить; 3 этап – объединение предыдущих этапов, определение расстояний по порядку с целью оценить свое местоположение.

Объединение может быть выполнено с использованием методов оптимизации или методов матричных уравнений.

Технологии (IPS) – это конкретные способы использования физических сигналов, зарегистрированных через датчики, такие как радиоволны или магнитные поля, для достижения целей IPS [2]: **инфракрасная технология (ИК); видимый свет связи (VLC);** радиочастотные технологии; компьютерное зрение.

Система позиционирования внутри помещения Marvelmind. Система позиционирования внутри помещения Marvelmind – готовое позиционирование внутри помещения, предназначенное для обеспечения данных о местоположении для автономных роботов.

Система основана на стационарных ультразвуковых маяках, соединена радио-интерфейсом, с бесплатной лицензией.

Местоположение мобильного радиомаяка, установленного на роботе (автомобиле, вертолете, человеке), рассчитывается исходя из задержки распространения ультразвукового сигнала в ряд стационарных ультразвуковых маяков с помощью трилатерации [5].

Система позиционирования внутри помещения состоит: из четырех или более стационарных маяков; одного центрального маршрутизатора; одного или более мобильных маяков на роботе; ПК с Windows или Raspberry Pi с приборной панели УВ (для настройки системы и мониторинга).

Идеоцентрические системы – это решение навигации опирается только на сенсоры робота и на его датчики. И для таких систем не нужно устанавливать дополнительное оборудование в помещении.

Simultaneous localization and mapping (SLAM) – синхронное определение местоположения и составление карты. Эта задача связана с построением карты неизвестного пространства мобильным роботом во время навигации по строящейся карте [7].

Общий принцип работы SLAM можно представить циклической последовательностью следующих действий. Первоначально происходит сбор данных с датчиков, чтобы получить информацию об объектах, расположенных в окружающей местности. Далее определяется собственное местоположение на основе полученной информации и карты препятствий, которая содержит предыдущие измерения. Определив позицию управляемого объекта, система переходит к обновлению карты. Таким образом, на каждом шаге алгоритма система располагает предположениями о структуре окружающей местности (карта препятствий) и местоположении управляемого объекта относительно этой карты.

Навигация мобильного робота на основе использования бортовой веб-камеры. Основной задачей является формирование траектории движения МР и сигналов обратных связей для его системы управления на основе данных, получаемых с бортовой видеокамеры.

Алгоритм работы системы. В общем виде алгоритм работы навигационной системы на основе использования данных, получаемых с бортовой видеокамеры, состоит из следующих этапов:

1. Получение кадра с бортовой камеры.
2. Устранение перспективных искажений.

3. Вычисление соотношения между пиксельными координатами и координатами в системе координат (СК) МР.

4. Для режима движения по целевым точкам: a – выделение маркеров; b – классификация выделенных маркеров.

5. Использование полученной информации для управления МР.

Таким образом, результатом работы алгоритма, в зависимости от режима движения МР, будут классифицированные маркеры с их координатами относительно МР [6]. При этом для реализации алгоритма используются функции из свободной библиотеки с открытым исходным кодом OpenCV.

В позиционировании исчисления координат или DR – это процесс подсчета текущей позиции с помощью предварительно определенной позиции или корректировки, эта позиция основывается на известных или расчетных скоростях за прошедшее время и пути.

Исчисление координат, вычисление в реальном времени положения робота рассчитывается от измерения колеса энкодера. Проблема ADAMR может быть легко решена с помощью численных подходов к скорости информации от датчиков, установленных на ведущие колеса, впереди кинематической модели. Чтобы найти непрерывную позицию робота из уравнения, существуют много численных методов, таких как формула Эйлера, Рунге-Кутты и т.д., которые могут быть использованы в зависимости от требуемой точности расчета и размера шага [4].

Обзор LIDAR-технологий. Термин LIDAR (Light Detection and Ranging) относится к системам радиолокации, работающим в оптическом диапазоне и использующим в качестве источника излучения лазер. В мобильных наземных робототехнических комплексах и беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) эта технология играет очень важную роль: она используется для автоматического построения трёхмерной карты (сцены) окружающего пространства и пространственной ориентации аппарата.

Время полётного типа (Time-of-Flight,ToF) – используют короткие импульсы лазерного излучения, с высокой точностью фиксируя моменты их передачи и приёма откликов (отражённых сигналов), чтобы вычислить расстояния до объектов в окружающем пространстве или на поверхности земли (например, при топосъёмке с БПЛА). После объединения серии таких измерений с информацией о местоположении и ориентации аппарата создаётся результирующая трёх-

мерная сцена интересующей области пространства [1]. Чаще всего эта сцена сохраняется в виде массива координат (x, y, z) , называемого облаком точек. Основные компоненты представлены на рис. 1.



Рис. 1. Компоненты системы LIDAR

Алгоритм построения маршрута. Принцип алгоритма заключается в следующем. Для построения маршрута нужны контрольные точки, через которые нужно будет проложить маршрут из точки А в точку В. Построить маршрут можно в ручном режиме и автоматическом. Опорные точки на карте расставляем вручную. Контрольные точки располагаются таким образом, что можно проложить прямую и обойти препятствия, как показано на рис. 2. Используем датчик LIDAR узкого обхвата. После того как маршрут построен, робот начинает движение. С помощью данных с датчика LIDAR определяется расстояние и программно вычисляется, сколько прошел робот и сколько ему осталось пройти, а направление задается с помощью магнитометра (электронный компас). Данную систему мы будем моделировать и отлаживать с помощью инструмента разработки Pelles. С помощью данного инструмента программирования строим карту. На рис. 2, а показана карта и построение маршрута из точки А в точку В. На рис. 2, б показан результат моделирования с помощью инструмента программирования Pelles.

Проанализируем рассмотренные выше системы, технологии и методы, которые активно применяются в позиционировании внутри помещения. У каждой системы и технологии есть свои достоинства и недостатки. Поговорим сейчас об алоцентрических системах позиционирования, в частности о тех, которые используются для позиционирования внутри помещения. Возьмем систему Marvelmind, главное достоинство – точность позиционирования, которая составляет $(\pm 2 \text{ см})$.

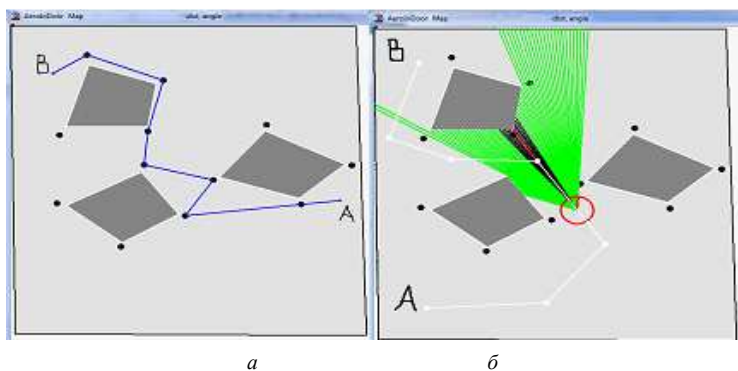


Рис. 2. Построение маршрута (а); движение по маршруту (б)

С помощью системы Marvelmind можно с легкостью построить карту помещения, в котором находится робот. Главный недостаток этой системы – в необходимости подготавливать помещения для системы, устанавливая датчики (маяки) по периметру помещения, кроме того, к каждому маяку нужно подвести питание, а если использовать батарею, то она достаточно быстро выходит из строя в режиме активного использования. Если помещение большое или в здании имеются комнаты, разделенные стенами, то необходимо установить большое количество маяков в каждой комнате, что требует достаточно много времени и сил.

Если рассматривать идеоцентрические системы позиционирования внутри помещения, то здесь тоже есть свои достоинства и недостатки. В таких системах уже не нужно устанавливать дополнительную инфраструктуру (маяки), максимум – может понадобиться установить маркеры в помещении, но это занимает намного меньше времени и средств. Рассмотрим вышеприведенный пример такой системы (навигация в помещении с использованием бортовой веб-камеры). Распознавание происходит путем определения цвета и формы маркера с помощью САПР OpenCV, а для удаления шумов и выделения маркером из полученной картинки применяются различные фильтры и алгоритмы. Очень трудно определить первоначально местоположение робота, если в зоне действия камеры нет данных маркеров, поэтому нужно это учитывать при написании алгоритма. Недостатком является то, что точность этого метода хуже, чем та же система Marvelmind.

Для нашего метода мы хотим учесть достоинства и недостатки каждой системы и предложить данную реализацию метода навигации и коррекцию позиционирования с помощью сенсора LIDARA и магнитометра.

Библиографический список

1. Современная электроника [Электронный ресурс]. – 2016. – № 1. – URL: <https://www.soel.ru> (дата обращения: 5.05.2019).
2. Journal of Sensors. – 2017. – Vol. Article ID 2630413. – 21 p.
3. Koyuncu H., Yang S. H. A survey of indoor positioning and object locating systems // IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security. – 2010. – Vol. 10. – No. 5. – P. 121–128.
2. The active badge location system / R. Want, A. Hopper, V. Falcão, J. Gibbons // ACM Transactions on Information Systems. – 1992. – Vol. 10. – No. 1. – P. 91–102.
3. Официальный сайт <http://www.marvelmind.com/Marvelmind> Indoor Navigation System Operating Manual V2015_09_17 (дата обращения: 04.05.2019).
4. Юхимец Д, Новицкий А. Метод построения навигационной системы мобильного робота на основе использования бортовой веб-камеры // The 23rd International Conference on Computer Graphics and Vision. – Russia, Vladivostok, September 16–20, 2013. – Vladivostok, 2013.
5. Riisgaard S., Blas M.R. SLAM for Dummies. – URL: http://ocw.mit.edu/NR/rdonlyres/Aeronautics-and-Astronautics/16-412JSpring-2005/9D8DB59F-24EC-4B75-BA7A-F0916BAB2440/0/1aslam_repo.pdf

Сведения об авторах

Гончаровский Олег Владленович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: 35911953@mail.ru

Воркунов Вячеслав Владимирович – магистрант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: vorkunovv@mail.ru

А.М. Перевалов, Д.С. Курушин

РАЗРАБОТКА ВОПРОСНО-ОТВЕТНОГО МОДУЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И СТРУКТУРИРОВАННЫХ БАЗ ЗНАНИЙ

Данная работа посвящена разработке вопросно-ответной системы на основе совместного использования нейронных сетей и баз знаний. Модель нейронной сети представляет собой мультиколоночную сверточную сеть, позволяющую получать векторные представления вопросов, основываясь на двух аспектах: путь от сущности в вопросе до сущности ответа в базе знаний, контекст сущности ответа в базе знаний. Целевой функцией данной модели является Triplet Loss. В работе представлен метод подсчета важности слов в вопросе с использованием полученных в ходе обучения весов модели.

Ключевые слова: обработка естественного языка, вопросно-ответная система, сверточная нейронная сеть, база знаний, семантический граф.

A.M. Perevalov, D.S. Kurushin

DEVELOPING OF QUESTION-ANSWERING MODULE USING NEURAL NETWORKS AND KNOWLEDGE BASES

In this work, we develop question-answering system based on joint usage of neural networks and knowledge bases. The multi-column convolutional neural network model is able to produce question embeddings based on two aspects: path from question entity to answer entity and answer entity context. The target function is Triplet Loss. In addition, we present a method of word sailence calculation using learned embeddings.

Keywords: Question answering, Convolutional Neural Network, Knowledge base, Triplet Loss, Graph Embeddings.

С ростом и развитием информационных технологий, в частности интернета, социальных сетей, форумов, новостных порталов, возрастает и объем информации, генерируемой пользователями в том или ином формате. К примеру, поисковая система Google каждую секунду обрабатывает около 40'000 поисковых запросов, а пользователи Twitter ежеминутно генерируют 456'000 твитов [1]. Важнейшим видом представления информации является естественный язык. Методы обработки такой информации объединила в себе область, называемая «обработка естественного языка».

Одной из задач обработки естественного языка является создание систем, позволяющих автоматически отвечать пользователю на вопрос, написанный на естественном языке. Такие системы называют вопросно-ответными (ВО)[2]. Так или иначе, в ВО-системах задействованы методы с использованием глубоких нейронных сетей, основной проблемой которых является слабая интерпретируемость результатов [3]. Таким образом, **актуальной** является задача разработки и модификации имеющихся методов с целью повышения интерпретируемости.

Текущее состояние проблемы. В данной работе рассматриваются вопросно-ответные системы на основе баз знаний, разработанные с помощью методов информационного поиска. Пример работы такой системы [4] представлен на рис. 1.

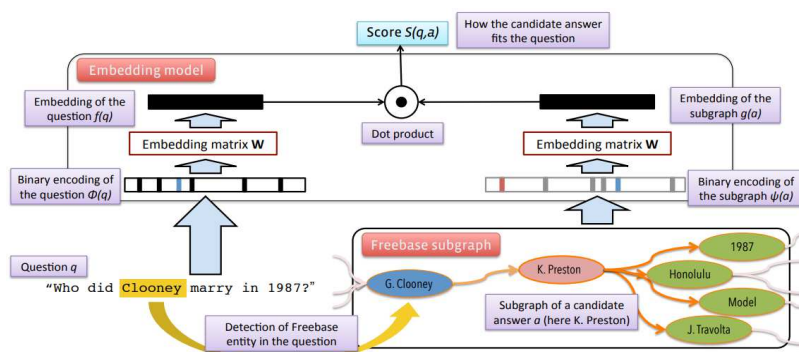


Рис. 1. Схема алгоритма работы вопросно-ответной системы

Итак, задача делится на 2 этапа: на первом этапе, основываясь на входном вопросе и имеющейся базе знаний, генерируем ответы-кандидаты. На втором этапе, используя определенный функционал близости ранжируем ответы, наиболее «близкий» ответ и будет являться истинным.

Предлагаемая модель и методы. *Целевая функция* (Triplet Loss) – это функция, в которой базовый вход сравнивается с позитивным и негативным. Расстояние между базовым и позитивным входами минимизируется, а между негативным – максимизируется:

$$L(A, P, N) = \max \left(\|f(A) - f(P)\|^2 - \|f(A) - f(N)\|^2 + \alpha, 0 \right) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где A – базовый объект; P – позитивный объект; N – негативный объект; $f(X)$ – функция векторного отображения объекта X ; α – поправочный коэффициент.

Поиск ответов-кандидатов. Поиск ответов-кандидатов происходит с помощью простой эвристики, которую можно представить в виде ряда следующих шагов:

- определение сущности, о свойстве/факте которой спрашивается;
- запрос в граф знаний на выдачу сущностей, лежащих в окрестности двух или меньше связей;
- запоминание путей от сущности-ответа до главной сущности.

В данном случае поиск ответов-кандидатов упрощается тем, что сущность, о которой спрашивается, уже определена. Таким образом, в работе уделено больше внимания работе с графом знаний и векторными представлениями сущностей.

Модель нейронной сети. За основу модели нейронной сети была взята модель из работы [5]. Однако она подверглась упрощению и представлена на рис. 2.

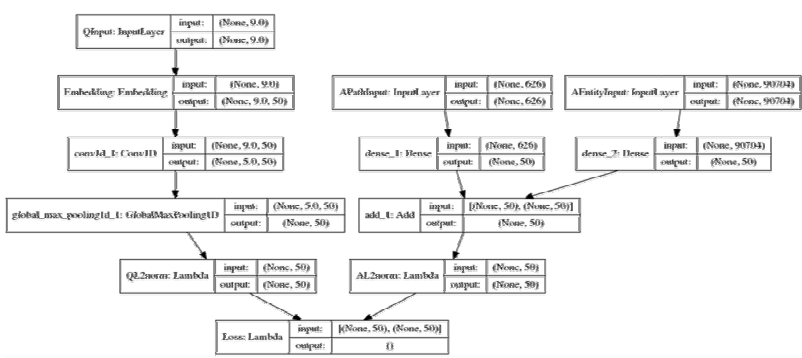


Рис. 2. Архитектура модели нейронной сети

При обучении использовался алгоритм AdaGrad, а также мини-батчинг для избежания проблем с затухающим градиентом. Модель обучалась на 10 эпохах.

Получение результата из модели. Опишем алгоритм получения результата из модели от начала до конца:

- первый этап – получение главной сущности, о свойствах которой задаётся вопрос;
- второй этап – получение ответов-кандидатов из графа знаний;

- третий этап – кодирование вопроса и ответов-кандидатов;
- четвертый этап – ранжирование ответов-кандидатов по расстоянию в векторном пространстве;
- пятый этап – выбор наиболее близкого вектора ответа-кандидата к вектору вопроса из ранжированного списка.

Получение важности слов происходит по формуле

$$e(w_j) = ||f(w_1^n) - f(w_1^{j-1} \cdot w_j' \cdot w_{j+1}^n)||^2, \quad (2)$$

где j – индекс слова; w_n^k – набор слов из вопроса от k до n ; w_j' – слово-заменитель, не имеющее семантического смысла (стоп-слово); $f(x)$ – функция получения вектора вопроса.

Эксперименты и выводы. В качестве исходных данных используется датасет WebQuestions [6], а также база знаний Freebase [7]. Для удобства использования WebQuestions разделён на тренировочную, тестовую и валидационную части выборки.

После обучения модели на тренировочном сете были проведены эксперименты по вычислению ключевой метрики вопросно-ответной системы – F -меры на тестовых данных. Результаты экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты проведения экспериментов

Метод	F1-score
MCCNN	40,8
Bordes et al., 2014a (Facebook Research)	39,2
Bordes et al., 2014b (Facebook Research)	29,7
Наша модель	38,3

Таблица 2

Выявление схожих вопросов

Исходный номер	Вопрос
	What are the major cities in France?
1	What are the three major rivers in South America?
2	What are the major religions in UK?
3	What major landforms are located in Egypt?
4	What tv shows are taped in New York City?
5	What are the major religions practiced in Israel?

Как видно из табл. 1, предложенная модель даёт сопоставимые результаты с имеющимися.

Для того чтобы оценить полученное векторное пространство нейронной сети на семантическую адекватность, проведем ряд экспериментов по выявлению схожих вопросов через расстояние между их векторами. Результаты эксперимента приведены в табл. 2.

Как видно из таблицы, были получены наиболее близкие вопросы по векторному расстоянию к исходному вопросу.

В данной работе была рассмотрена проблема создания вопросно-ответных систем на основе баз знаний. В ходе работы были решены следующие задачи:

- анализ типов существующих вопросно-ответных систем;
- исследование применяемых моделей и методов;
- исследование методов хранения и обработки данных в вопросно-ответных системах;
- разработка математической модели;
- программная реализация математической модели;
- подготовка данных и проведение экспериментов;
- анализ результатов экспериментов.

Основные результаты являются новыми, так как:

- исследована и усовершенствована имеющаяся математическая модель MCCNN [5];
- усовершенствован метод векторного представления вершин графа знаний;
- разработан программный вопросно-ответный модуль;
- разработанный модуль показал сопоставимые с существующими моделями результаты.

Можно выделить следующие направления дальнейших исследований:

- обучение и проведение экспериментов на русскоязычной БЗ;
- добавление модуля автоматической генерации ответа на естественном языке;
- совершенствование методов первичного кодирования сущностей БЗ.

В результате выполнения работы все поставленные задачи были выполнены, а цель достигнута.

Библиографический список

1. Bernard Marr How Much Data Do We Create Every Day? The Mind-Blowing Stats Everyone Should Read // Forbes. – 2018.
2. Harabagiu S., Moldovan D. Question answering // The Oxford Handbook of Computational Linguistics. – Ed. Mitkov R. – Oxford University Press, 2013.
3. Chakraborty S., Tomsett R., Raghavendra R. Interpretability of deep learning models: A survey of results // IEEE SmartWorld. – 2017.
4. Bordes A., Chopra S., Weston J. Question answering with subgraph embeddings // DBLP computer Science Bibliography. – 2014.
5. Question answering over freebase with multi-column Convolutional Neural Networks / Li Dong, Furu Wei, Ming Zhou, Ke Xu // arXiv. – 2015.
6. Semantic parsing on freebase from question-answer pairs / J. Berant, A. Chou, R. Frostig, P. Liang // Proceedings of the 2013 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. – 2013.
7. Freebase: a collaboratively created graph database for structuring human knowledge / K.D. Bollacker, C. Evans, P. Paritosh, T. Sturge, J. Taylor // International Conference on Management of Data. – 2008.

Сведения об авторах

Перевалов Александр Максимович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ2-18-1м, г. Пермь, e-mail: perevalovA@pstu.ru

Курушин Даниил Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: dan973@yandex.ru

Т.М. Прибылев

ДИВЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ СБОРА ИНФОРМАЦИИ О КАЧЕСТВЕ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

Данная статья посвящена использованию диверсионного анализа для выявления возможных проблем в управлении организацией и составлению рекомендаций для правильного проведения диверсионного анализа.

Ключевые слова: диверсионный анализ.

T.M. Pribylev

DIVERSION ANALYSIS AS APPLIED TO COLLECT INFORMATION ON QUALITY MANAGEMENT OF ORGANIZATION

This article is devoted to the use of diversion analysis to identify possible problems in the management of an organization and to make recommendations the successful conduct of the diversion analysis.

Keywords: diversion analysis.

Диверсионный анализ – это метод исследования объектов или систем путем выявления их слабых сторон, предложенный Б.Л. Злотиным в 70-х годах XX в.¹. Суть данного метода в конструировании условий, приводящих к краху системы, иначе говоря – в изобретении диверсий. На основе этих данных можно разрабатывать стратегию развития системы, направленную на устранение возможностей появления таких условий или на минимизацию ущерба от них.

В качестве системы для диверсионного анализа может выступать и любая организация, и система ее управления. В данном исследовании такой организацией выступает Пермский кампус Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ – Пермь). Цель данной работы – составление рекомендаций для улучшения управления образовательным процессом с помощью диверсионного анализа процесса обучения в НИУ ВШЭ – Пермь,

¹ Злотин Б.Л., Зусман А.В. Решение исследовательских задач. МНТЦ «Прогресс, Картя Молдовеняскэ». Кишинеу, 1991. С. 84–114.

с точки зрения студентов, и составление списка самых популярных. Также целью является составление общих рекомендаций для проведения диверсионного анализа.

Проведение диверсионного анализа. В качестве материала для исследования используются данные, полученные от студентов НИУ ВШЭ – Пермь, обучавшихся на образовательных программах «Бизнес-информатика» и «Программная инженерия» в период с 2014/15 по 2018/19 уч. гг. Студентам был задан вопрос: «Как надо организовать процесс обучения в НИУ ВШЭ – Пермь, чтобы студенты получили наилучшую квалификацию с точки зрения работодателя?». Статистика участия по каждому учебному году приведена в табл. 1.

Таблица 3

Статистика участия по годам

Категории	Учебный год					За все годы
	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	
Количество участников	104	92	27	52	63	338
Количество всех диверсий	639	491	141	332	470	2073
Количество оригинальных диверсий	70	39	43	81	79	154
Содержание оригинальных диверсий, %	11,0	7,9	30,5	24,4	16,8	7,4
Количество повторов «верхних» 20 % оригинальных диверсий	355	244	81	165	271	1796
Содержание «верхних» диверсий, %	55,6	49,7	57,4	49,7	57,7	86,7

Из ответов на данный вопрос были созданы таблицы диверсий за каждый год обучения, а также единая таблица по всем годам. В итоге были выделены 12 самых популярных видов диверсии образовательного процесса в НИУ ВШЭ – Пермь (табл. 2). Данные диверсии присутствуют не во всех годах обучения, поэтому в таблице указывается, в каком году студенты предлагали данную диверсию.

Таблица 4

Самые популярные диверсии

№	Диверсии	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
1	Минимум практики, максимум теории	+	+	+	+	+
2	Отсутствие регулярной проверки знаний студентов	+	+	+	+	+

Окончание табл. 2

№	Диверсии	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
3	Неквалифицированные преподаватели/плохая подача материала	+	+	+	+	+
4	Отсутствие доступа к информации или устаревшая информация	+	+	+	+	+
5	Низкие требования к знаниям студентов	+	+	+	+	+
6	Слишком широкая специализация	+	+	+	+	+
7	Разрешить студентам свободное посещение	+	+	–	+	+
8	Отсутствие коллективных проектов	+	+	+	+	+
9	Неудобное расписание	+	+	+	+	+
10	Отсутствие углублённого изучения языков	+	+	+	+	+
11	Отсутствие поощрений	+	+	–	+	+
12	Минимум информации о работодателях	+	+	+	+	+

Обработка результатов анализа. Данные из табл. 1 показывают, что большая часть респондентов повторяют одни и те же мысли, и уже при участии 63 респондентов количество оригинальных идей становится меньше 20 %. Также стоит отметить, что во все годы верхние 20 % диверсий составляли 50–60 % от всех высказанных идей, несмотря на разброс в количестве респондентов от 27 до 104 человек. При этом при значительном повышении числа респондентов в сводке за все годы количество (от 3 до 13 раз в зависимости от года) оригинальных идей возросло не столь сильно (от 2 до 5 раз), и большая часть предложенных идей была повторением верхних 20 % диверсий, содержание которых достигло почти 87 %.

Из этого, а также из данных табл. 2 можно сделать вывод, что для выделения основных диверсий достаточно опросить 60–100 респондентов. Увеличение числа респондентов приведет к незначительному увеличению оригинальных идей и к подтверждению ранее выделенных основных диверсий.

Рекомендации. Основываясь на списке самых популярных диверсий (см. табл. 2), можно вывести лишь весьма общие рекомендации для управления учебным процессом. Чтобы получить более точные данные, руководству вуза следует провести также диверсионно-

стратегический анализ, позволяющий выявить, какие диверсии из списка реально существуют в учебном процессе и насколько они выражены. На основе этих данных можно создать стратегию по исправлению проблем учебного процесса и как следствие повышению эффективности управления в целом.

Для составления общих рекомендаций по проведению таких исследований следует отметить два момента. Во-первых, данный анализ опирался лишь на мнение студентов. Для получения более точных данных следует в первую очередь провести опрос среди работодателей о критериях неквалифицированного работника с их точки зрения, а после опросить студентов, как необходимо организовать учебный процесс для соответствия выпускников этим критериям. Во-вторых, все респонденты данного исследования были из одной сферы деятельности – студенты-программисты. Для увеличения числа оригинальных диверсий следует расширить диапазон привлекаемых респондентов.

Таким образом, рекомендации по проведению диверсионного анализа в организации следующие:

- к опросу следует привлекать 50–100 респондентов;
- желательно, чтобы респонденты имели различный круг интересов и сферу деятельности, то есть привлекать респондентов из разных отделов исследуемой организации или состоящих на разных должностях в одном отделе;
- если анализ предполагает использование информации, о которой респонденты имеют слабое представление, то предварительно следует провести анализ для уточнения данной информации среди людей, имеющих лучшее представление о предмете исследования.

Проведенное исследование показывает принципиальную возможность использования диверсионного анализа в качестве инструмента для сбора информации о качестве управления организацией. В дальнейших исследованиях следует учитывать выявленные проблемы данного исследования и приведенные выше рекомендации для повышения эффективности диверсионного анализа.

Сведения об авторе

Прибылев Тимофей Михайлович – студент Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», гр. ПИ-18-2, г. Пермь, e-mail: tim.prib@gmail.com

О.В. Гончаровский, А.В. Медников

ВАРИАНТЫ СОЗДАНИЯ ПРОТОТИПА РОБОТА-ОФИЦИАНТА И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НОВОЙ ВСТРОЕННОЙ СИСТЕМЫ

Рассмотрен ряд вариантов для создания прототипа AGV (автоматической самоходной тележки), представлена разработка простой встроенной системы.

Ключевые слова: робот-официант, прототипирование, микроконтроллер, система позиционирования, микрокомпьютер, многозадачность.

O.V. Goncharovsky, A.V. Mednikov

VARIANTS OF CREATING A PROTOTYPE OF A WAITERBOT AND SOFTWARE DEVELOPMENT OF A NEW EMBEDDED SYSTEM

Consider a number of options for creating a prototype AGV (automatic self-propelled trolley) and the development of a simple embedded system.

Keywords: waiterbot, prototyping, microcontroller, positioning system, micro-computer multitasking.

Пусть необходимо разработать новое устройство, которое должно определять состояние объекта управления, воздействовать на него и иметь пользовательский интерфейс. Как убедиться, что концепция устройства работоспособна? Для этого необходимо создать прототип (макет), разработав, изготовив и собрав (например, на контрактном производстве) собственные узлы, или же использовать близкие по характеристикам готовые узлы.

Рассмотрим второй путь, известный как быстрое прототипирование [1]. Одним из вариантов быстрого прототипирования является «Обратимый взлом» (reversiblehacking) – это модификация серийного устройства, которую можно отменить для возвращения устройства в исходное состояние [2].

Во многих университетах для освоения компетенций, относящихся к разработке встроенных систем, используется, например, мо-

дификация серийного робота-пылесоса с открытым интерфейсом компании iRobot, известного как iRobotCreate 2. iRobotCreate 2 рассматривается как прототип автоматической самоходной тележки – базовый элемент мобильных роботов.

Другим устройством для быстрого прототипирования может стать сервисный робот PROMOBOT V.4 от компании «ПромоБот», содержащий гораздо больше датчиков, исполнительных механизмов и более производительный процессорный узел чем iRobot Create 2. PROMOBOT V.4 также оснащен средствами удаленного манипулирования через веб-интерфейс. PROMOBOT V.4 работает под управлением открытой мета-операционной системы ROS под Ubuntu.

Если прототип доказывает работоспособность, то разработчик создает проект для его серийного производства, т.е. рассматривает вопросы размеров, цены, энергопотребления, процесса производства, наличия комплектующих, надежности и контроля качества. Для выполнения работы необходим персональный компьютер с установленной операционной системой Windows и доступ в интернет.

Пример. Пусть появилась идея робота-официанта (waiterbot), который призван вытеснить неквалифицированный труд из сферы общественного питания. Суть идеи состоит в том, что посетитель, расположившись за свободным столиком, делает с помощью мобильного телефона заказ на сайте кафе, указывает местоположение (для упрощения системы)и оплачивает его с помощью мобильного банка. Через некоторое время заказ доставляет робот-официант.

Основой робота-официанта является автоматическая самоходная тележка (AGV) с датчиками обнаружения препятствий и точной (сантиметры) системой позиционирования для помещений (IndoorGPS).

Рассмотрим ряд вариантов для создания прототипа AGV.

Вариант 1. Упомянутый робот-пылесос iRobotCreate 2 с колесной схемой 2WD-1WS. Препятствия обнаруживаются с помощью пьезоэлектрических датчиков удара и бесконтактного инфракрасного датчика приближения. К iRobotCreate 2 через соединитель mini-DIN и преобразователь USB-UART может быть подключен планшетный компьютер или микроконтроллер для передачи команд управления движением и приема данных с датчиков. Размеры – 348×92, вес – 3,5 кг, цена – \$200 (рис. 1).



Рис. 1. Робот-пылесос iRobotCreate 2

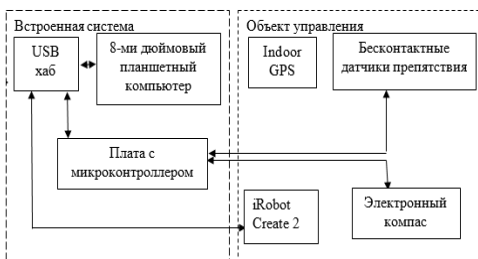


Рис. 2. Структурная схема робота-официанта на базе робота-пылесоса iRobotCreate 2 и планшетного компьютера

На рис. 2 приведена структурная схема прототипа робота-официанта. Дополнительно потребуется электронный компас для движения по заданному азимуту и бесконтактные датчики препятствия. Для их подключения введена микроконтроллерная плата с необходимыми интерфейсами. 8-дюймовый планшетный компьютер (например, Acer Iconia Tab W3-810 64Gb, вес – 500 г, цена – \$75, рис. 3) выполняет роль центрального элемента управления, обеспечивающего интеграцию всех компонентов и позволяет реализовать сетевую систему управления с удаленным контроллером.



Разрешение (пикс)	1280×800
Частота процессора (МГц)	1500
Количество ядер	2
Оперативная память (Мб)	2048
Встроенная память (Гб)	64
Фотокамера (Мп)	5.0
Время работы (ч)	8
ОС	Windows 8

Рис. 3. Планшетный компьютер Acer Iconia Tab W3-810 64Gb, и его основные характеристики

На рис. 4 приведена структурная схема прототипа робота-официанта без планшетного компьютера. Сетевую систему управления с удаленным контроллером позволяет реализовать Wi-Fi-модем.

Вариант 2. Набор для шасси PololuRomiChassisKits с колесной схемой 2WD-1WS, включающий два мотора-редуктора, два колеса (70×8 мм), опорное шаровое колесико, плату для крепления деталей (165 мм), цена – \$30 (рис. 5).

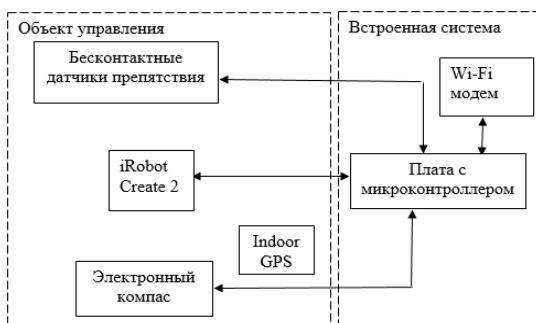


Рис. 4. Структурная схема робота-официанта на базе робота-пылесоса iRobotCreate 2 и Wi-Fi-модема

На рис. 6 представлена структурная схема прототипа робота-официанта. Дополнительно потребуется драйвер двигателей, электронный компас для движения по заданному азимуту и бесконтактные датчики препятствия. Для их подключения введена микроконтроллерная плата с требуемыми интерфейсами. Включение в встроенную систему Wi-Fi-модема (планшетный компьютер не поместится) позволяет реализовать сетевую систему управления с удаленным контроллером.



Рис. 5. Шасси PololuRomiChassisKits

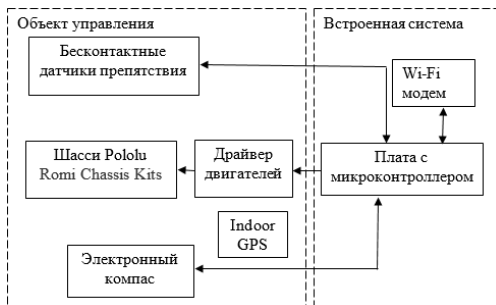


Рис. 6. Структурная схема робота-официанта на базе шасси PololuRomiChassisKits

Не так давно появился микрокомпьютер Asus VivoStick PC TS10 с очень малыми размерами – 138×36×16 мм, вес 75 г (рис. 7). Ниже приведены некоторые его характеристики, интересные для использования в прототипе Windows 10 Домашняя. Высокая производительность – 4-ядерный процессор Intel® Atom™, 2 ГБ оперативной памяти и встроенный накопитель объемом 32 ГБ.

Современные интерфейсы и легкое подключение – модули Wi-Fi 802.11ac и Bluetooth 4.1, порты USB 3.0 и USB 2.0, аудиовыход, адаптер для удобного расположения. Система охлаждения с встроенным вентилятором. Встроенные средства безопасности – поддержка TPM, сигнализация.



Рис. 7. Микрокомпьютер Asus VivoStick PC TS10

На рис. 8 приведена структурная схема прототипа робота-официанта с шасси PololuRomiChassisKits и микрокомпьютер Asus VivoStick PC TS10.

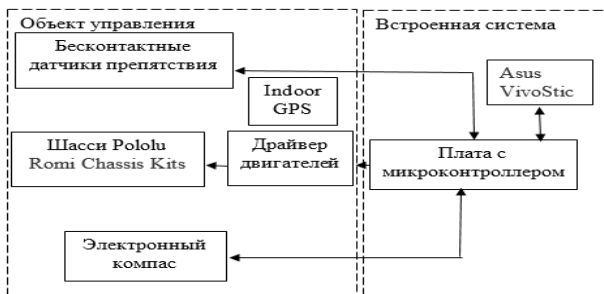


Рис. 8. Структурная схема робота-официанта на базе шасси PololuRomiChassisKits и микрокомпьютера Asus VivoStick PC TS10

Необходимо позаботиться об автономном питании микрокомпьютера (аккумулятор + DC/DC-преобразователь).

Вариант 3. Мотор-редуктор Gekko MR25-098 120 об/мин. Размеры – 65,3×25×25 мм, вес – 90 г, цена – \$9 (рис. 9). На рис. 10 приведена структурная схема прототипа робота-официанта. Дополнительно потребуются детали для изготовления шасси, драйвер двигателей, электронный компас для движения по заданному азимуту и бесконтактные датчики препятствия. Для их подключения введена микроконтроллерная плата с необходимыми интерфейсами. Включение во встроенную систему Wi-Fi-модема позволяет реализовать сетевую систему управления с удаленным контроллером.



Рис. 9. Мотор-редуктор Gekko MR25-098

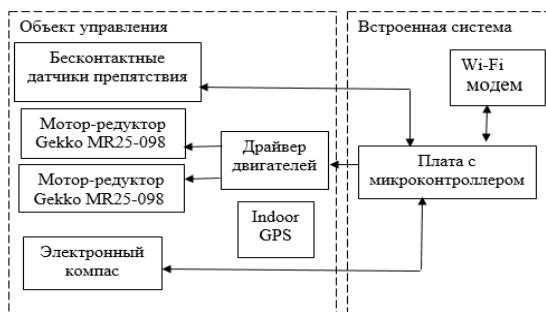


Рис. 10. Структурная схема робота-официанта на базе моторов-редукторов Gekko MR25-098

Габариты позволяют использовать в качестве встроенной системы нетбук, ноутбук, планшет, неттоп или микрокомпьютер.

Прототипы встроенной системы. Из примера концепции новой системы видно, что варианты прототипа содержат плату с микроконтроллером. Во всех вариантах она выполняет функции сбора информации от сенсорной части, информирования управляющих воздействий для исполнительской части объекта управления. В ряде вариантов она одновременно выполняет роль центрального элемента управления. Что может стать прототипом платы с микроконтроллером? Электронная промышленность выпускает много таких устройств. Рассмотрим наиболее популярные среди разработчиков встроенных систем.

Arduino – аппаратно-программная платформа с открытым исходным кодом. Для написания программ используется бесплатная интегрированная среда разработки (IDE) ArduinoSoftware. Аппаратная составляющая содержит большой набор смонтированных печатных плат, выпускаемых разными производителями под брендом Arduino [3]. В платах в основном применяются микроконтроллеры AtmelAVR с частотой 8–10 МГц.

Mbed – аппаратно-программная платформа с открытым исходным кодом и одноимённая операционная (MbedOS) система для устройств на базе 32-разрядных микроконтроллеров семейства ARM Cortex-M [4]. IDE-платформы работают онлайн. Аппаратная составляющая содержит платы семейства mbed от ARM и NXP Semiconductors, семейства FRDM от NXP Semiconductors, семейство Nucleo от STMicroelectronics, семейство EFM32 от Silicon Labs и многие другие. Аппаратная составляющая содержит также модули беспроводной связи, платы расширения и другие компоненты.

В платах Mbed используются значительно более производительные микроконтроллеры чем в платах Arduino, ориентированных на непрофессионалов.

Разработка ПО простой встроенной системы. Простые встроенные системы обычно используют концепцию Сверхцикла (Super-Loop). Для критических по времени частей программы используются Подпрограммы обработки прерывания (ISR – Interrupt Service Routines):

Для более сложных систем концепция Сверхцикла приводит к следующим недостаткам:

- функции ISR становятся сложными и требуют большего времени выполнения;
- вложенность ISR может привести к непредсказуемому времени их выполнения и непредсказуемому размеру требуемого стека;
- обмен данными между Сверхциклом и ISR выполняется с помощью разделяемых глобальных переменных, что требует обеспечения их целостности;
- сверхцикл может быть легко синхронизирован с системным временем, но если системе требуется несколько различных временных циклов, то это усложняет реализацию, требуется разбиение для функций, время выполнения которых превышает Сверхцикл;
- приложение со Сверхциклом становится сложным и, следовательно, его труднее совершенствовать – простые изменения могут привести к непредсказуемым сторонним эффектам и большему времени для их анализа.

Эти недостатки концепции Сверхцикла устраняет концепция Операционной системы реального времени (RTOS – Real-Time Operating System), которая распределяет функции по автономным задачам и реализует планирование их выполнения по требованию. Преимущества заключаются в следующем:

- планирование задач – задачи вызываются, когда необходимо обеспечить лучший поток программы и ответить на событие;

- многозадачность – планирование задач дает иллюзию одновременного выполнения нескольких задач;
- детерминированное поведение – события и прерывания обрабатываются в течение заданного времени;
- уменьшение длины ISR;
- взаимодействие между задачами – управление доступом к общим данным, памяти и аппаратным ресурсам для нескольких задач;
- предопределенное использование стека – каждой задаче выделяется заданный объем стека, что обеспечивает предсказуемое использование памяти;
- управление системой – позволяет сфокусироваться на разработке приложения, а не на управлении ресурсами.

Библиографический список

1. Shuang-Hua Yang. Internet Based Control Systems. Design And Applications. – Springer-Verlag London Limited, 2011. – P. 197.
2. Терехов А.Н. RTST-технология программирования встроенных систем реального времени «CASE-средства RTST++». – СПб.: Изд-во С.Петербург. гос. ун-та, 1998. – С. 3.
2. [https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBsQFjAAahUKEwiIpevYsuzIAhWmj3IKHTcHDjo&url=http%3A%2F%2Fwww.math.spbu.ru%2Fuser%2Fant%2fall_articles%2F049_Terekhov_RTST.pdf&usg=AFQjCNG3fFzz4X997Pk9e40f66YTI0urSg&bvm=bv.106130839,bs.1,d.bGQ](https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBsQFjAAahUKEwiIpevYsuzIAhWmj3IKHTcHDjo&url=http%3A%2F%2Fwww.math.spbu.ru%2Fuser%2Fant%2Fall_articles%2F049_Terekhov_RTST.pdf&usg=AFQjCNG3fFzz4X997Pk9e40f66YTI0urSg&bvm=bv.106130839,bs.1,d.bGQ)
3. Hwang S., Park Y.-S., Park Y. Detection of speaker position for robot using HRTF // Proc. of the KSNVE Annual Autumn Conference. – 2005. – P. 637–640.
4. Brandstein M., Ward D. Microphone arrays signal processing techniques and applications. – Springer, 2001.

Сведения об авторах

Гончаровский Олег Владленович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: olegvladlenovich@gmail.com

Медников Антон Владимирович – магистрант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: mednikov.at13@mail.ru

А.Г. Авраменко, Е.Ю. Данилова

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ ЗАМЫКАНИЙ ВХОДОВ ПЛИС

В данной статье описывается генетический алгоритм (ГА) для построения диагностической последовательности для диагностирования замыканий входов ПЛИС, построена модель отказов замыканий входов ПЛИС двух видов: монтажное «И» и монтажное «ИЛИ», представлены результаты тестирования и сделаны выводы об эффективности применения данного алгоритма.

Ключевые слова: ПЛИС, диагностирование, замыкание входов ПЛИС, диагностическая последовательность, генетический алгоритм.

A.G. Avramenko, E.Yu. Danilova

GENETIC ALGORITHM FOR BUILDING A DIAGNOSTIC SEQUENCE FOR DIAGNOSING CIRCUIT OF FPGA INPUTS

This article describes a genetic algorithm (GA) for building a diagnostic sequence for diagnosing circuit of FPGA inputs, built a model of failures of input circuit FPGA of two types: wired "AND" and wired "OR", presents test results and draws conclusions about the effectiveness of this algorithm.

Keywords: FPGA, diagnosis, input circuit FPGA, diagnostic sequence, genetic algorithm.

ПЛИС широко используются при проектировании малогабаритных устройств. ПЛИС применяются в стендовом оборудовании. Отдельной областью применения ПЛИС являются устройства для защиты от копирования. Наиболее широко ПЛИС используются в микропроцессорной и вычислительной технике. На их основе разрабатываются контроллеры шины, адресные дешифраторы и др. На ПЛИС часто изготавливаются микропрограммные автоматы [1]. При этом независимо от области применения возникновение ошибок в работе ПЛИС происходит довольно часто, поэтому диагностирование ПЛИС является важной актуальной задачей.

Диагностирование ПЛИС – процесс обнаружения отказа, нахождения места его возникновения и установление его типа [2]. При диагностировании единичных замыканий входов ПЛИС строится

диагностическая последовательность, которая представляет собой последовательность наборов значений аргументов $x_1, \dots, x_n$ функции f_0 , где n – количество входов ПЛИС. При диагностировании на входы ПЛИС подаются все наборы из диагностической последовательности, а на основе полученных результатов работы делается вывод о месте возникновения отказа и его виде.

Существуют разные виды отказов, например константный отказ входа; замыкание входов.

В работе Тюрина С.Ф., Ермакова С.В., Городилова А.Ю. рассматривались модели однократных константных отказов, замыканий: «монтажное И, ИЛИ», а также доминантные замыкания [3].

В работе Никифоровой К.В. рассматривался генетический алгоритм для построения диагностической последовательности для определения единичных константных отказов, которые представляют собой появление константного нуля или константной единицы вместо одного из входов ПЛИС [4].

В данной работе будет рассматриваться замыкание соседних входов. Данный вид отказа может быть представлен двумя видами замыканий: «монтажное И» и «монтажное ИЛИ». «Монтажное И» означает, что на оба входа будет подан сигнал, соответствующий логическому И исходных сигналов. «Монтажное ИЛИ» означает, что на оба входа будет подан сигнал, соответствующий логическому ИЛИ исходных сигналов [3].

Для построения диагностической последовательности будет использоваться классический генетический алгоритм (ГА).

Генетический алгоритм – эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путем последовательного подбора, комбинирования и вариации искоемых параметров и использования механизмов, напоминающих естественный отбор в природе [5].

Генетические алгоритмы используются для решения таких задач, как оптимизация функций; оптимизация запросов в базах данных; разнообразные задачи на графах (задача коммивояжера, раскраска); составление расписаний; игровые стратегии и т.д.

Модель отказов. Пусть дана булева функция от n переменных. Для этой функции строятся вспомогательные функции, которые получаются из данной функции при замыкании соседних входов. Количество вспомогательных функций равно $2n-2$, где n – количество

входов ПЛИС (аргументов функции f_0). Пусть f_0 – исходная функция, тогда f_{2k-1} – функции, которые получаются из f_0 при замыкании входов $k, k + 1$ по «И», f_{2k} – функции, которые получаются из f_0 при замыкании входов $k, k + 1$ по «ИЛИ», $k = 1 \dots n - 1$. Правила формирования функций $f_1 - f_{2n-2}$ для функции трёх аргументов представлены в таблице.

Правила формирования теста

x_3	x_2	x_1	f_0	f_1	f_2	f_3	f_4
0	0	0	α_0	α_0	α_0	α_0	α_0
0	0	1	α_1	α_0	α_3	α_1	α_1
0	1	0	α_2	α_0	α_3	α_0	α_6
0	1	1	α_3	α_3	α_3	α_1	α_7
1	0	0	α_4	α_4	α_4	α_0	α_6
1	0	1	α_5	α_4	α_7	α_1	α_7
1	1	0	α_6	α_4	α_7	α_6	α_6
1	1	1	α_7	α_7	α_7	α_7	α_7

Генетический алгоритм. Для построения ГА необходимо решить несколько задач: разработать схему кодирования и декодирования особи, выбрать способ скрещивания, мутации, отбора. В данном ГА выбран способ кодирования в виде бинарной строки. Диагностическая последовательность состоит из набора данных, которые представлены в виде бинарных строк. Особь – упорядоченная совокупность наборов данных. Длина каждого набора равна количеству входов n . Ген – один бит в битовой строке. Длина особи d зависит от количества входов n и от длины диагностической последовательности l ,

$$d = l \cdot n. \quad (1)$$

Поскольку способ кодирования – бинарная строка, то сходимость ГА обуславливается сходимостью канонического ГА, доказанной Холландом [6].

В качестве функции приспособленности взята

$$f(p) = 1 - \frac{p}{\max}, \quad (2)$$

где p – произведение количества неразбитых функций на каждом из листов на количество простоев, а $\max$ – максимально возможное произведение количества неразбитых функций на каждом из листов на количество простоев. Простоем называется ситуация, когда поданный на вход набор не разбивает ни один из листьев дерева. Максимальное

произведение количества неразбитых функций равно $n(n - 1)$, где n – количество переменных входной функции. Максимальное количество простоев равно l – длине диагностической последовательности, то есть когда на каждом из наборов значения всех функций совпадают и, соответственно, исходный лист не разбивается.

Скрещивание будет однотоочечным. Это означает, что случайным образом для двух особей берется одна точка разрыва. Точка разрыва – это любая точка между двумя соседними генами. У первого потомка оказываются гены до точки разрыва первого родителя и после разрыва – второго. У второго потомка – наоборот. Процесс и результат скрещивания представлены на рис. 1.

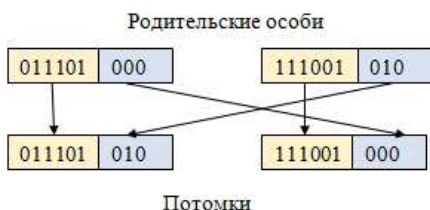


Рис. 1. Одноточечное скрещивание

Мутация происходит в одном гене. Случайным образом выбирается ген, который будет подвержен мутации, и его значение инвертируется. Процесс мутации представлен на рис. 2.



Рис. 2. Мутация

В результате скрещивания и мутации могут появиться особи, у которых будет совпадение наборов. Такие особи являются нежизнеспособными. В зависимости от настройки алгоритма данные особи будут либо удаляться автоматически, либо погибать в результате эволюции.

Все особи в популяции отсортированы по значению функции приспособленности в порядке убывания, поэтому отбор осуществляется просто отсеканием всех наименее приспособленных особей, чей номер превышает размер популяции.

Для построения диагностической последовательности кроме самого ГА был введен внешний цикл, который нужен для того, чтобы

запускать генетический алгоритм для различных длин теста l . Условием выхода из цикла является либо достижение минимальной длины диагностической последовательности, либо достижение величиной l значения $2n - 2$. На рис. 3 изображена блок-схема алгоритма.

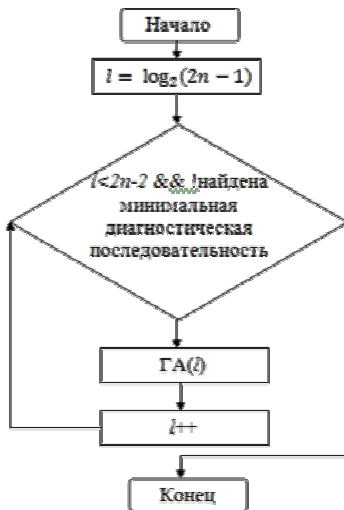


Рис. 3. Блок-схема алгоритма с внешним циклом

Результаты тестирования. В результате тестирования были получены следующие оптимальные параметры работы ГА:

- оптимальный размер популяции 70 особей;
- для эффективной работы алгоритма необходимо количество поколений при работе ГА не менее 100;
- 10–20 пар особей для скрещивания;
- количество мутирующих особей должно быть примерно 15–20.

По результату тестирования можно сделать следующие выводы:

- в большинстве случаев (60–80 %) минимальная диагностическая последовательность получается в результате мутации особей;
- минимальная диагностическая последовательность находится меньше, чем за 1 с;
- в результате работы ГА полученное решение превышает оптимальное не более чем на 2.

Реализованный генетический алгоритм, возможно, нуждается в модификации, так как скрещивание играет очень малую роль в эво-

люционном механизме. В дальнейшем планируется при вычислении функции приспособленности учитывать не только простой всего уровня в целом, но и простой каждого листа отдельно. Также планируется реализовать алгоритм полного перебора для более точной оценки эффективности работы генетического алгоритма.

Библиографический список

1. ПЛИС. [Электронный ресурс] – URL: <http://stud.izhdv.ru/msch/23.htm> (дата обращения: 15.05.2018).
2. Городилов А.Ю., Тюрин С.Ф. Генетический алгоритм диагностирования цифровых устройств [Электронный ресурс] // Наукоедение. – 2013. – № 5(18). – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/12tvn513.pdf> (дата обращения: 15.05.2018).
3. Тюрин С.Ф., Ермаков С.В., Городилов А.Ю. Сравнение моделей внешних отказов элементарного мультиплексора логического элемента ПЛИС FPGA относительно покрывающих тестовых наборов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2013. – № 5.
4. Никифорова К.В., Данилова Е.Ю. Построение генетического алгоритма с обратной связью для диагностирования ПЛИС // Математика и междисциплинарные исследования. – 2018. – С. 76–79.
5. Демина А.А., Арзамасцев А.А. Генетический алгоритм [Электронный ресурс] // Вестник ТГУ. – 2009. – Т. 1, вып. 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/geneticheskiy-algoritm> (дата обращения: 15.05.2018).
6. Цой Ю. Генетические алгоритмы. Введение. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.qai.narod.ru/GA/intro.html>

Сведения об авторах

Авраменко Дарья Георгиевна – студентка Пермского государственного национального исследовательского университета, гр. ПМИ-1,2 (2016), г. Пермь, e-mail: AvramenkoDasha@yandex.ru

Данилова Екатерина Юрьевна – старший преподаватель кафедры «Математическое обеспечение вычислительных систем» Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: ket-eref@yandex.ru

С.Х. Ахметшин, А.В. Тарутин

ОНЛАЙН-СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЗАЯВКАМИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

В статье рассматривается вопрос разработки проекта автоматизированного рабочего места исполнителя и заказчика автоматизированной системы управления заявками клиентов. Для этого было проведено описание объекта автоматизации, проанализированы существующие решения, определены недостатки существующей системы. Практическая значимость заключается в автоматизации процесса поступления и обработки заявок, а также автоматического формирования необходимых документов и отчётов.

Ключевые слова: система управления, онлайн-система, автоматизация, заявка.

S.H. Ahmetshin, A.V. Tarutin

ONLINE SYSTEM OF MANAGEMENT REQUEST

The article deals with the development of the project of the automated workplace of the contractor and the customer of the automated system of management of customer requests. For this purpose, the description of the automation object was carried out, the existing solutions were analyzed, the shortcomings of the existing system were identified. The practical significance lies in the automation of the process of receipt and processing of applications, as well as the automatic formation of the necessary documents and reports.

Keywords: control system, online system, automation, application.

Качество услуг – во многом субъективный параметр. Поэтому важно, помимо добросовестного и профессионального обслуживания, создавать у потребителей позитивные ощущения от взаимодействия с вами. Один из вариантов – это создание корпоративного портала, обладающего следующей функциональностью:

- дополнительный канал коммуникации с сервисной службой;
- регистрация заявок, переписка по выполненным заявкам;
- хранение всей истории взаимодействия;
- база знаний, содержащая подробное описание решения типовых проблем, что позволяет пользователю самостоятельно и быстро решать проблемы.

Целью проекта стала разработка автоматизированного рабочего места исполнителя и заказчика автоматизированной системы управления заявками клиентов¹.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- автоматизация процесса регистрации, согласования, обработки заявок на обслуживание компьютеров и устранения неисправностей;
- сокращение затрат времени на поиск решения заявок;
- снижение трудоёмкости при выполнении заявок;
- повышение информированности заказчиков предприятия;
- организация целостности базы данных.

Индивидуальный предприниматель Казаков А.П. уже более 10 лет занимается коммерческой деятельностью. Одно из направлений деятельности – техническое обслуживание компьютерной техники и программного обеспечения компьютерной техники, а также разработка программного обеспечения. Этим направлением занимается информационно-технический отдел.

Сотрудники компании, непосредственно работающие на обслуживании компьютерной техники, своевременно проходят курсы повышения квалификации, а также имеют сертификаты различных вендоров оборудования и программного обеспечения.

В организации существует проблема автоматизированного отслеживания поступивших и обработанных заявок от обслуживаемых организаций, а также имеются сложности с отчётностью о проделанных работах и времени, затраченного на выполнения заявок.

В ходе достижения поставленной цели был изучен текущий процесс выполнения заявок пользователей, и на основании изучения была построена модель «Как есть» в виде диаграммы USE Case (AS-IS) на языке UML (рис. 1).

В процессе изучения процессов на предприятии были выявлены следующие недостатки:

- избыточная нагрузка на исполнителей рутинных задач;
- отсутствие актуальной аналитической отчётности по объёму выполненных работ;
- децентрализованная база данных контактов заказчиков и данных для подключения к удалённым устройствам;

¹ Вендров А.М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем. М.: Финансы и Статистика, 2002. 352 с.

- отсутствие возможности подключаться к наблюдаемым устройствам из системы мониторинга;
- отсутствие возможности автоматического назначения задач исполнителям в соответствии с их компетенциями;
- отсутствие централизованного хранения базы знаний для заказчиков, желающих самостоятельно решить проблемы;
- отсутствие возможности совершения звонков напрямую из ИС-хранения телефонных номеров.

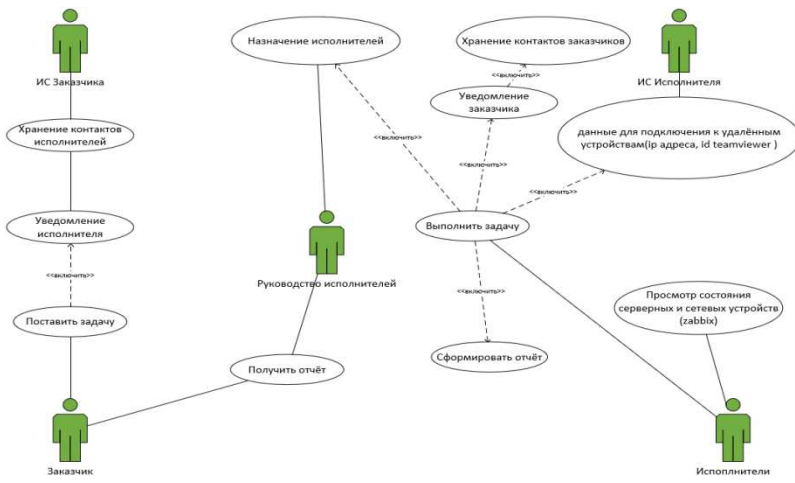


Рис. 1. Диаграмма USE Case (AS-IS)

В результате заказчиком были выдвинуты следующие требования для разработки ПО:

- возможность создания и просмотра заявок;
- наличие базы знаний с вариантами решения проблем;
- интеграция с системой мониторинга Zabbix;
- интеграция с системой ip телефонии Asterisk;
- наличие веб-интерфейса;
- возможность подключения к оборудованию клиентов прямо из программы (интеграция с Ammy Admin, Teamviewer, rdp и т.д.);
- возможность использования как платных СУБД (MS SQL, ORACLE), так и бесплатной PostgreSQL;
- разработка на платформе 1C 8.3.

Для решения данной задачи был разработан вариант оптимизации существующих процессов и составлена модель «Как должно быть» в виде диаграммы USE Case (TO-BE) (рис. 2).

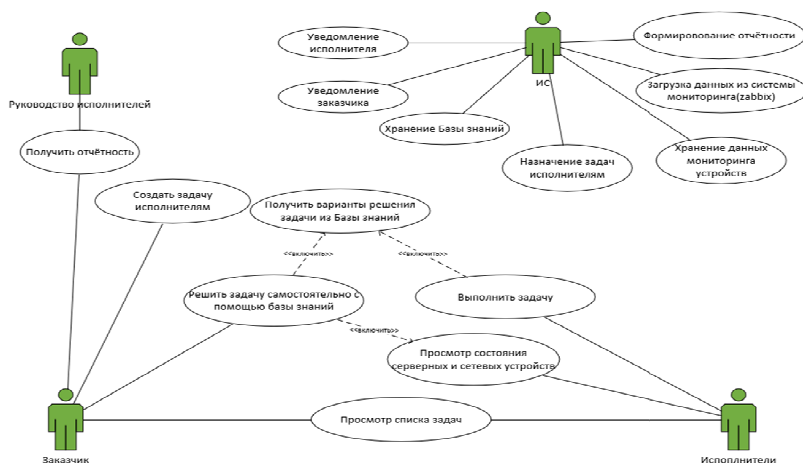


Рис. 2. Диаграмма USE Case (TO-BE)

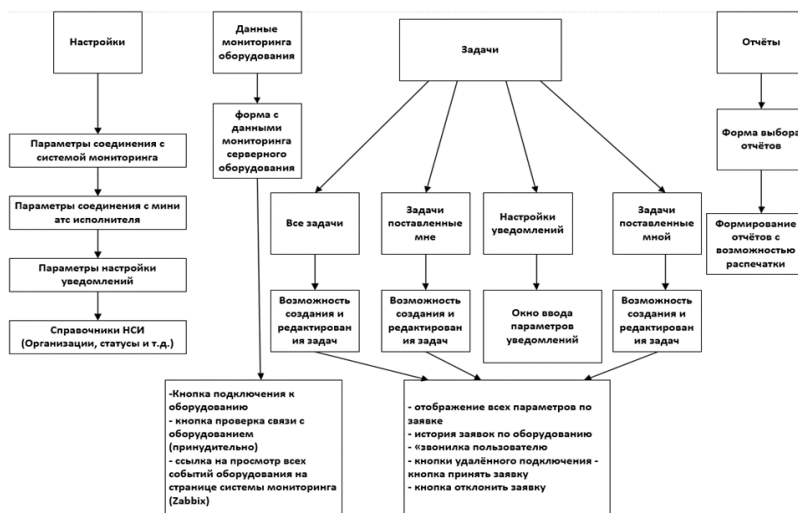


Рис. 3. Схема интерфейса АРМ-исполнителей

Также в соответствии с поставленными задачами были разработаны интерфейсы заказчиков и исполнителей (администраторов системы). Структурная схема интерфейса АРМ исполнителей приведена на рис. 3. В дальнейшем на основе платформы 1С Предприятие было разработано приложение. Основная задача платформы заключается в повышении уровня абстракции при разработке и использовании прикладных решений. Это позволяет перейти от технических и низкоуровневых понятий к более содержательным и высокоуровневым. Приблизить эти понятия к языку пользователей и специалистов в предметной области. В конечном итоге это значительно ускоряет и унифицирует разработку прикладного решения и его сопровождение. Одновременно с этим платформа решает и традиционные задачи, связанные с производительностью, эргономикой, функциональностью и т.д.

Таким образом, было создано приложение, позволяющее решать поставленные задачи и автоматизировать основные бизнес-процессы предприятия.

Сведения об авторах

Ахметшин Сергей Халитьянович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ-14-бз, г. Пермь, e-mail: permasu@gmail.com

Тарутин Анатолий Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: itas-pnpu@yandex.ru

С.А. Власов, И.А. Вялых

ИМИТАЦИЯ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ В UNISIM DESIGN

В данной статье рассмотрена возможность имитации возмущений входных параметров технологических процессов, смоделированных в программе Unisim Design. Описана актуальность данной проблемы, заключающаяся в приведении существующих математических моделей технологических процессов к реальным условиям работы. Представлена реализация генератора возмущающих воздействий, основанного на методе регистра сдвига с линейной обратной связью с конфигурацией Галуа.

Ключевые слова: моделирование, Unisim Design, технологический процесс, логические операции, имитация возмущений.

S.A. Vlasov, I.A. Vyalykh

IMITATION OF EXTERNAL DISTURBANCES OF MANAGEMENT OBJECTS IN UNISIM DESIGN

This article discusses the possibility of simulating disturbances of input parameters of technological processes modeled in the Unisim Design program. The relevance of this problem is described, which consists in adapting the existing mathematical models of technological processes to the actual working conditions. The implementation of the generator of disturbing effects based on the method of a shift register with linear feedback with a Galois configuration is presented.

Keywords: Modeling, Unisim Design, technological process, logical operations, imitation of disturbances.

На взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производствах согласно действующему в Российской Федерации законодательству должен быть разработан компьютерный тренажерный комплекс [1]. В основе таких тренажерных комплексов, как правило, лежит динамическая модель технологической установки. Значительная доля таких тренажеров разрабатывается с помощью программного продукта фирмы Honeywell под названием Unisim Design. Данный программный продукт позволяет производить высокоточное имитационное моделирование химических процессов разной степени сложности, как статических, так и динамических моделей. Разработанный с помощью Unisim Design компью-

терный тренажерный комплекс охватывает все необходимые элементы оборудования технологического процесса, контрольно-измерительное оборудование и исполнительные механизмы. Функционал Unisim Design также позволяет предусматривать различного рода неисправности оборудования и сценарии нештатных ситуаций, необходимые для обучения операторов технологических процессов.

В результате появилось множество математических динамических моделей, на которых методом имитационного моделирования можно оптимизировать действие как существующих автоматических систем регулирования, так и синтезировать новые, проверяя их эффективность и работоспособность. Но это необходимо проводить с учетом внешних возмущающих воздействий.

К сожалению, в программном продукте Unisim Design не предусмотрено моделирование возмущающих воздействий непосредственно на технологический поток на производстве, вызываемых влиянием предыдущих стадий. Такие возмущения позволили бы проверять качество работы системы автоматического управления технологическим процессом в условиях, приближенных к реальным [2].

Для имитации таких возмущений разработан генератор возмущений параметров технологических процессов. Данный генератор разработан исключительно средствами программного продукта Unisim Design и не требует дополнительного программного обеспечения. Данный генератор состоит из трех частей: генератора коротких импульсов со случайным временем между импульсами, генератора случайных чисел, и электронной таблицы (spreadsheet), через которую реализуется связь между вышеописанными генераторами и параметрами технологического потока.

Генератор коротких импульсов реализуется с помощью элемента boolean latch gate, выполняющего роль rs-триггера, и элемента digital point, в данном случае выполняющего роль задержки между импульсами. Время задержки между импульсами выбирается случайно с помощью генератора случайных чисел в заданном диапазоне после каждого импульса.

Генератор случайных чисел можно реализовать двумя способами: программно и логически. Программная реализация подразумевает использование встроенного языка программирования VBA с помощью стандартной функции rnd. В качестве события для срабатывания данной функции служит генератор коротких импульсов. Однако,

как показывает практика, выполнение программ на встроенном VBA, особенно на громоздких моделях, не отличается стабильностью. Поэтому в качестве альтернативы предлагается логическая реализация генератора случайных импульсов. Такой генератор реализуется с помощью регистра сдвига с линейной обратной связью с конфигурацией Галуа (рис. 1).

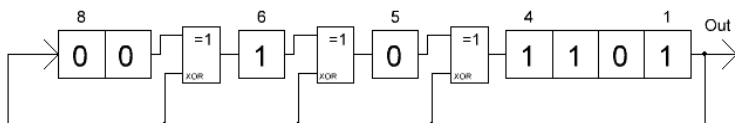


Рис. 1. Схема регистра сдвига с линейной обратной связью (конфигурация Галуа)

Для реализации в Unisim design регистра сдвига используется последовательно соединенные D-триггеры, созданные по схеме на рис. 2.

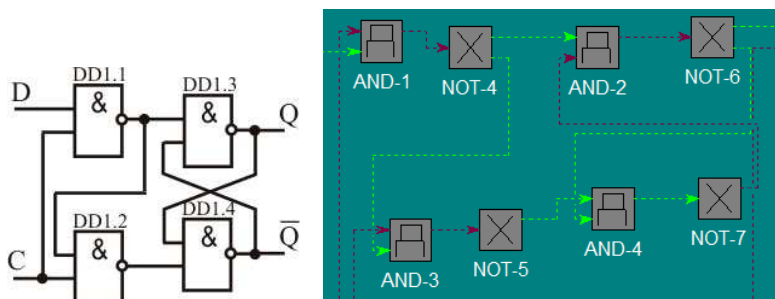


Рис. 2. Схема D-Триггера и его реализация в модели

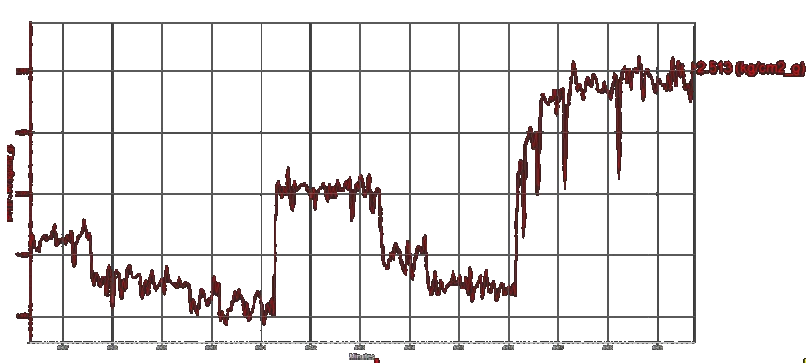


Рис. 3. Результат работы генератора возмущений технологических параметров

После соединения сгенерированных данных с параметрами технологического процесса через таблицу spreadsheet генерируемые возмущения реалистично отражают реальный технологический процесс (рис. 3). Таблица spreadsheet позволяет изменять максимальную амплитуду возмущений относительно математического ожидания.

Полученный сигнал имеет как высокочастотные, так и низкочастотные составляющие, зависящие от параметров генератора возмущений. Сигнал генератора можно накладывать на технологические переменные, такие как давление, расход и температура материальных потоков для тестирования алгоритмов управления в условиях, приближенным к реальным.

Библиографический список

1. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств: федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. – 2013. Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

2. Власов С.А., Вялых И.А., Колыхматов А.О. Адаптация математической модели компьютерного тренажерного комплекса на основе БДРВ // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2018. – № 28. – С. 50–61.

Сведения об авторах

Власов Сергей Алексеевич – аспирант кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: savlasov@pstu.ru

Вялых Илья Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: atp@pstu.ru

А.И. Швалюк, А.В. Греков

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА БАЗЕ CMS WORDPRESS

В статье обоснована необходимость разработки информационной системы учета результатов научной деятельности. Изложены недостатки старой системы учета результатов научной деятельности и преимущества разрабатываемой информационной системы. Представлен примерный пользовательский интерфейс разрабатываемой информационной системы.

Ключевые слова: учет, научная деятельность, преподаватель.

A.I. Shvaliuk, A.V. Grekov

INFORMATION SYSTEM FOR RECORDING THE RESULTS OF SCIENTIFIC ACTIVITIES BASED ON CMS WORDPRESS

The article substantiates the need to develop an information system for recording the results of scientific activities. The shortcomings of the old system for recording the results of scientific activities and the advantages of the developed information system are outlined. A sample user interface of the developed information system is presented.

Keywords: accounting, scientific activities, teacher.

В настоящее время все более актуальной проблемой становится автоматизация рабочих процессов учёта результатов научной деятельности военных образовательных организаций высшего образования (ВООВО) войск национальной гвардии Российской Федерации. В связи с этим появляется необходимость в эффективном хранении данных, их обработке и последующем обмене. За счет автоматизации повысится скорость обмена данными, уменьшатся случаи ошибок при заполнении необходимых для подсчётов данных, а также возрастёт скорость и качество сбора статистики.

Построение автоматизированной системы управления на базе современных технологий позволяет качественно повысить эффективность учёта любых процессов.

Целью работы является разработка информационной системы оценки научной деятельности ВООВО войск национальной гвардии Российской Федерации.

Информационная система должна быть реализована с использованием современных тенденций развития технологий, на базе web-интерфейса [1–3].

На сегодняшний день аналогов данной системы в Росгвардии нет, поэтому проект разработан без использования ранее созданных информационных систем.

Использование информационной системы учёта результатов научной деятельности ВООВО позволит:

- получать доступ к информации о результатах научной деятельности института;
- сформировать единые критерии и порядок их использования для учёта научной деятельности;
- вести статистику изменения значений показателей научной деятельности.
- сравнить результаты научной деятельности между вузами и выявить лидеров в этой сфере.

Внедрение системы обеспечит следующие преимущества по сравнению с текущей организацией работы:

- повышение оперативности работы за счет автоматизации основных технологических процессов обработки информации;
- уменьшение вероятности допущения ошибки в данных, используемых должностными лицами в процессе составления мониторинга;
- повышение скорости подготовки и достоверности представляемой командованию справочной и отчетно-статистической информации;
- сокращение времени, затрачиваемого на рутинные операции, и высвобождение времени для всестороннего анализа;
- стандартизация и унификация информации, используемой в процессе;
- сокращение времени обработки, обеспечение оперативного учета и анализа информации;
- повышение эффективности использования средств вычислительной техники офицерами органов военного управления;
- использование современных технологий в работе;
- наличие единых критериев для оценки научной деятельности.

Система должна обладать простым и понятным пользователю интерфейсом и обеспечивать автоматизацию работы должностных лиц научных подразделений.

Вариант интерфейса стартовой страницы представлен на рис. 1.

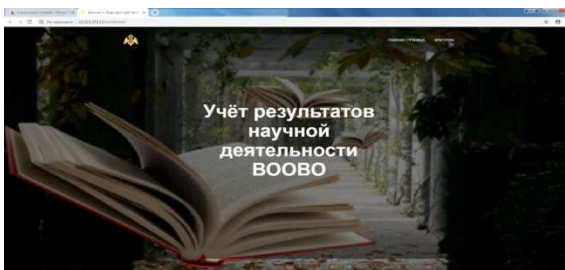


Рис. 1. Интерфейс стартовой страницы

Вариант интерфейса страницы «Критерии» представлен на рис. 2 и 3.

Рис. 2. Вариант интерфейса страницы «Критерии»

Рис. 3. Интерфейс страницы «Критерии»

Для создания информационной системы была выбрана система управления контентом (CMS) WordPress. WordPress полностью бесплатна, постоянно обновляется, имеет разнообразные плагины и легкий интерфейс административной части. WordPress – одна из самых простых систем. Для ее освоения не нужно фундаментальных знаний о программировании. Движок создавался для ведения блогов. Сегодня на его основе можно создать сайт любой направленности (форум, фотогалерею, видеоканал, информационную систему и т.д.). Благодаря многочисленным встраиваемым приложениям и виджетам можно создать по-настоящему уникальный ресурс.

Таким образом, результатом работы является информационная система учёта результатов научной деятельности ВООВО, которая позволяет вычислять оценку научной деятельности вузов. В дальнейшем планируется расширение возможностей системы для учета результатов научной деятельности войск.

Библиографический список

1. Греков А.В. Структуры и алгоритмы обработки данных: курс лекций / Перм. воен. ин-т. – Пермь, 2016. – 148 с.
2. Максимов А.В., Греков А.В. Оценка научного рейтинга кафедры ВУЗа // Символ науки: журн. – Уфа: Омега-сайнс, 2016. – № 1. В 3 ч., ч. 2. – С. 146–149.
3. Кушев В.О., Суворов А.О., Греков А.В. Базы данных / Перм. воен. ин-т. – Пермь, 2010. – 106 с.

Сведения об авторах

Швалюк Артем Игоревич – курсант факультета связи Пермского военного института войск национальной гвардии Российской Федерации, г. Пермь, email: shvalyuk48151623425@yandex.ru

Греков Артем Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Пермского военного института войск национальной гвардии Российской Федерации, г. Пермь, email: temagre@ieee.org

М.Д. Чистогов, Р.А. Файзрахманов

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СЕГМЕНТАЦИИ ЭНДОСКОПИЧЕСКИХ СНИМКОВ

В данной статье описан метод сегментации эндоскопических снимков уха в рамках развития системы поддержки принятия решения врача, основанной на применении нейронных сетей.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, сегментация изображений, подготовка набора данных, эндоскопия ЛОР-органов.

M.D. Chistogov, R.A. Faizrahmanov

DEVELOPMENT OF THE PRELIMINARY SEGMENTATION SYSTEM FOR ENDOSCOPIC IMAGES

This article describes a method of segmentation of endoscopic images of the ear within the framework of the development of a decision support system based on the use of neural networks.

Keywords: artificial neural networks, segmetation of images, preparation of a data set, endoscopy of ENT organs.

Для постановки диагноза ЛОР-врачи используют различное цифровое оборудование, которое помогает провести анализ здоровья пациента. Использование такого оборудования повышает скорость постановки диагноза пациенту, а также увеличивает общую пропускную способность клиники. Несмотря на присутствие информации в цифровом виде, постановка диагноза пациенту осуществляется исключительно врачами и может занимать некоторое время. Решением проблемы постановки диагноза является использование автоматизированной системы обработки цифровой информации с медицинского оборудования, что позволит ускорить постановку диагноза путем подсказок врачам возможного заболевания пациента. Таким образом, возможно не только сократить время на постановку диагноза, но и увеличить его точность, а также пропускную способность клиники в целом, что может существенно отразиться на экономическом эффекте от внедрения такой системы.

Для разработки системы поддержки принятия решения врача при постановке диагноза уха необходима сегментация эндоскопиче-

ских снимков. При помощи сегментации изображения возможно увеличение точности постановки диагноза. Сегментированное изображение представляет собой наглядную схему сделанного врачом снимка. На такой схеме отдельно отображаются все видимые элементы снимка. Сегментация снимков, в свою очередь, является лишь вспомогательным инструментом, позволяющим определить наличие того или иного признака на снимке, а также произвести его цифровую обработку для определения его площади, цвета, положения и других возможных параметров.

После анализа всех параметров возможно формирование отчета и снимка, объединяющего все распознанные сегменты. При помощи этих данных врач может точнее определить диагноз пациента, так как при анализе оригинального снимка возможны ошибки диагностики, связанные с внешними факторами, такими как освещение в кабинете, яркость экрана или качество снимка.

Сегментация – разделение изображения на непересекающиеся области (сегменты), однородные по некоторым признакам. Целью сегментации является отделение анализируемой области изображения от фона. Качество определения сегментов существенно влияет на возможность дальнейшей компьютерной обработки снимка, а также на возможность диагностики заболевания врачом визуально, без дальнейшей компьютерной обработки сегментированного снимка. Реализация эффективного метода сегментации эндоскопических снимков уха позволит повысить качество постановки диагноза пациенту и снизить риски постановки неверного диагноза в связи с недостаточным анализом снимка врачом.

В качестве входных данных для сегментации представляются эндоскопические снимки уха. В процессе выделения сегментов на снимке необходимо выделить как можно больше видимых сегментов. В зависимости от заболевания некоторые элементы на снимке могут присутствовать или отсутствовать. Для решения задачи диагностики заболевания при помощи сегментации эндоскопического снимка необходимо выделение следующих элементов: барабанная перепонка, световой рефлекс, молоточек, гиперемия.

После выделения данных областей на снимке возможен анализ их площадей и наличия для дальнейшей диагностики заболевания.

Обучение нейронной сети подразумевает подачу на ее вход примеров и контрпримеров определенного количества данных, в данном случае – графических. Однако для получения такого набора данных

необходима его предварительная подготовка. Предварительная подготовка снимков подразумевает ручную сегментацию каждого из изображений для дальнейшего обучения нейронной сети.

В качестве структуры нейронной сети для сегментации эндоскопических снимков используется структура U-net. Данная нейронная сеть хорошо зарекомендовала себя в решении задач сегментации биомедицинских изображений.

U-net является одним из ярких представителей сегментационных энкодер-декодер моделей. Несмотря на то, что впервые он заявлен как сеть для сегментации биологических снимков, он хорошо зарекомендовал себя при решении практических задач и соревнований сегментации.

Архитектура сети (рис. 1) содержит две части: сужающуюся (энкодер) и расширяющуюся (декодер). Первая представляет собой типичную архитектуру сверточной классификационной сети. Состоит из повторяющихся применений двух сверток 3×3 , за которыми следует функция активации (ReLU) и операция субдискретизации (pool) 2×2 с шагом 2. На каждом шаге повышаем количество каналов вдвое.

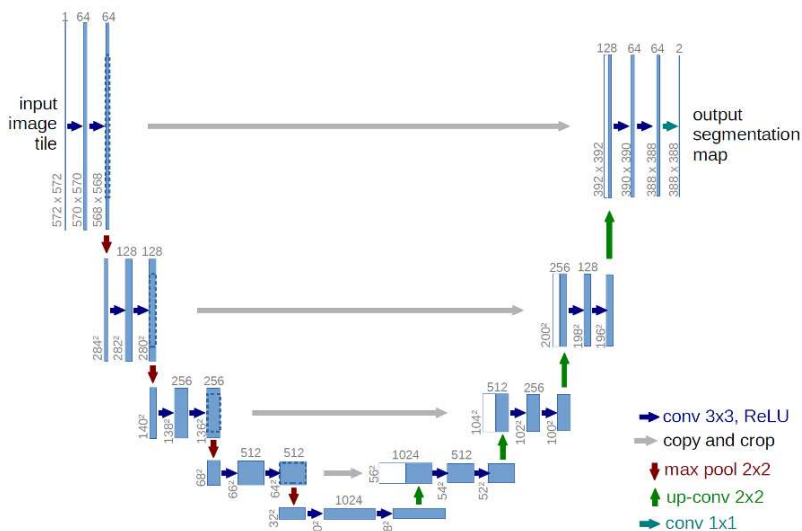


Рис. 1. Структура нейронной сети U-net

Расширяющаяся часть состоит из шагов так называемой обратной свертки(деконволюции) 2×2 , уменьшающей количество каналов, затем конкатенации с соответствующим образом обрезанной картой признаков от соответствующей (видно на схеме) сужающейся части и две свертки 3×3 и активация(Relu). Обрезка необходима из-за потери пограничных пикселей в каждой свертке. Эта часть очень похожа на соответствующую в SegNet, но на самом деле это похоже только по картинке, а механика процесса совершенно другая, там, в SegNet, эта связь обозначает, что мы используем индексы из пуллинг-слоя для повышения размерности картинки, а здесь пробрасываем выходы слоя не только на следующий латентный слой, но и пропускаем 14 уровней. Таким образом, модель использует на этапе восстановления маски давно забытые признаки, что хорошо сказывается на результатах сегментации.

На последнем уровне свертка 1×1 используется для сопоставления каждому 64-компонентного вектору признаков класса. В общей сложности сеть имеет 23 сверточных слоя [1].

Для обучения нейронной сети распознаванию сегментов на эндоскопическом снимке уха определены следующие требования к стандарту обучающей выборки:

- 1) все изображения должны иметь одинаковый размер;
- 2) все изображения должны быть приведены к типу «оттенки серого»;
- 3) все изображения должны иметь одинаковую контрастность с допустимой погрешностью.

Для стандартизации изображений по размеру была необходима обрезка фона на изображениях и приведение их к размеру 512×512 пикселей. Для обрезки черного фона на изображении применяется рекурсивный метод нахождения крайних точек информативной области изображения, после чего изображение обрезается по найденным точкам и приводится к необходимому размеру.

Для стандартизации изображений по контрасту выявляется средний контраст всей выборки изображений, после чего менее яркие изображения приводятся к большему контрасту, а менее яркие – к меньшему. Подготовка наборов данных для обучения нейронной сети распознаванию барабанной перепонки и молоточка осуществлялась вручную в графическом редакторе. Было подготовлено по 100 снимков и маски к ним.

Для увеличения точности распознавания применялись также и методы валидации на каждой из эпох обучения. После каждой эпохи файл обученной нейронной сети сохранялся, а после обучения всех эпох проводилось распознавание тестовой выборки. Для оценки качества распознавания тестовой выборки все полученные изображения визуально сравнивались с оригиналами. Кроме того, было установлено, что дообучение наиболее удачной эпохи из обучения распознавания предыдущего признака (барабанной перепонки) улучшает результаты распознавания следующего признака (молоточка). Таким образом, результаты обучения нейронной сети без начальных весов оказываются хуже результатов дообучения нейронной сети, обученной на похожем наборе данных.

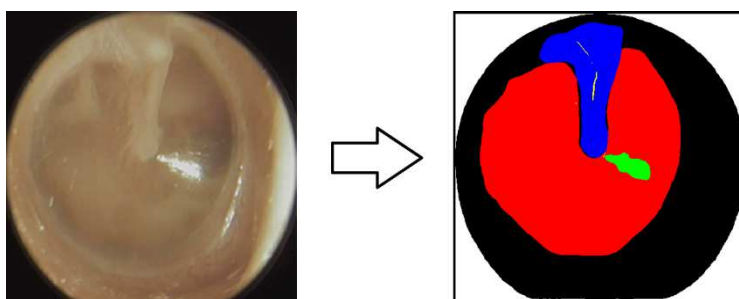


Рис. 2. Исходное изображение и результат объединения распознанных сегментов

После постобработки все снимки объединяются на общем итоговом изображении (рис. 2), а также подсчитываются площади полученных сегментов. Для выведения гипотезы об отношении площадей на определенных диагнозах необходимо провести анализ на снимках с заранее известными диагнозами. Таким образом получаются средние значения отношения сегментов для определенного диагноза. В дальнейшем при анализе нового снимка с неизвестным диагнозом возможно применение средних пороговых значений отношения площадей для предварительного определения диагноза.

В ходе выполнения исследовательской работы был предложен метод сегментации эндоскопических снимков уха. Данный метод предусматривает все этапы подготовки, обучения и постобработки распознанных снимков. Рассмотрены особенности распознавания снимков по каждому из необходимых сегментов: барабанная перепонка, световой рефлекс, молоточек, гиперемия.

В результате разработки инструмента согласно разработанному методу возможно решение задачи улучшения качества обследования пациентов при постановке диагноза уха, что соответствует решению поставленных задач Правительства Российской Федерации в рамках стратегии развития медицинской науки в Российской Федерации на период до 2025 года [2].

Библиографический список

1. Румянцев В. Использование методов машинного обучения для семантической классификации дорожной обстановки // Математическое обеспечение и администрирование информационных систем. – СПб., 2018.

2. О совершенствовании государственной политики в сфере здравоохранения: Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 598 // Собрание актов Президента и Правительства Российской Федерации. – 2012.

Сведения об авторах

Чистогов Максим Дмитриевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ-13-16, г. Пермь, e-mail: chistogovwork@gmail.com

Файзрахманов Рустам Абубакирович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: fayzrakhmanov@gmail.com

Н.В. Соловьева, Е.В. Долгова

**ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ С ВНЕШНЕЙ КАМЕРЫ
УСТРОЙСТВА С ЦЕЛЬЮ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ОБРАБОТКИ
В ПРОЕКТЕ UNREAL ENGINE 4**

В данной статье описываются возможные варианты получения видео с внешней камеры устройства для последующей его обработки в проекте Unreal Engine 4.

Ключевые слова: виртуальный робот, Unreal Engine 4, blueprint, камера.

N.V. Soloveva, E.V. Dolgova

**GETTING AN IMAGE FROM THE EXTERNAL CAMERA
OF THE DEVICE FOR FURTHER PROCESSING
IN THE PROJECT UNREAL ENGINE 4**

This article describes possible options for obtaining video from an external camera device for subsequent processing in the Unreal Engine 4 project.

Key words: virtual robot; unreal engine 4, blueprint, webcam.

Роботы и робототехника активно входят в повседневную жизнь современного человека, внедряются во все сферы человеческого существования – уже никого нельзя удивить роботом-пылесосом или роботом-хирургом, помогающим в проведении сложных хирургических операций [1].

Несмотря на то что проектирование и разработка роботов продолжает активно развиваться, физическая реализация остается дорогостоящей задачей. В связи с этим для отладки разрабатываемого робота рационально использовать виртуальную модель робота и на ее примере совершенствовать поведение и выполняемые функции разрабатываемой системы. Виртуальный робот – это имитатор реального робота, воссоздаваемый в виртуальной среде, представленный в виде пространственной модели [2].

Любое живое существо обладает таким чувством, как зрение, благодаря ему оно осознает окружающее его пространство. Возможность видеть и осознавать окружающее пространство также необходимо и для виртуального робота. Здесь открываются возможности

использования такой системы. Это могут быть как всем давно известная идентификация по лицу или распознавание эмоций, так и более специфические задачи, например возможность «понимать» язык жестов.

Но для реализации любой из этих задач в первую очередь необходимо получить данные, которые в конечном счете будут обработаны системой распознавания и дадут результат.

На сегодняшний день нет проблемы получить данные с камеры устройства: сейчас практически во всех телефонах, ноутбуках, планшетах присутствуют встроенные камеры, а если на компьютере нет встроенной камеры эта проблема легко решается при помощи USB-камеры. А если изображение с камеры нужно получить и обработать внутри проекта Unreal Engine? Для этого есть Unreal Engine 4 (UE4) – игровой движок, предназначенный для разработки игровых приложений различной направленности. Но мало в какой игре есть необходимость получения и тем более последующей обработки полученных данных с внешней камер.

Несмотря на то, что UE4 не специализируется на работе с данными, полученными с внешней камеры, в нем все-таки существует достаточно удобная возможность получения и отображения видео с внешней камеры внутри проекта. Такую возможность обеспечивает встроенный в UE4 Media Framework [3]. Данный модуль позволяет путем нехитрой настройки получить изображение с камеры устройства и показывать его в ходе запущенного проекта, например, как показано на Рис. 2. Также, немного изменив настройки и создав подходящий объект, можно отображать видео непосредственно в локации проекта, с возможностью игрока взаимодействовать с данным объектом (запускать или приостанавливать воспроизведение видео).



Рис. 2. Вариант отображения видео с камеры, полученного при помощи Media Framework

Основным недостатком данного способа получения видео является невозможность обработки видео после получения, поэтому данный способ не подходит для использования виртуальным роботом.

Для обработки видео, а также звука, полученного непосредственно с камеры (с микрофона, в случае звуковой информации), всемирно известная компания Intel разработала собственный модуль, направленный на работу со средой UE4 – Intel RealSense SDK [4]. Данный модуль разработан компанией Intel специально для работы с камерой INTEL RealSense Developer Kit SR300 и имеет множество преимуществ:

- отслеживание движения рук и пальцев;
- распознавание мимики лица;
- распознавание речи;
- отслеживание и распознавание лиц.

Несмотря на все преимущества данного способа и бесплатное распространение Intel RealSense SDK, камера, на использование которой он направлен, не позволяет свободно применять все преимущества данного модуля в нашем проекте.

Наиболее трудоемкий способ получения данных с web-камеры внутри проекта UE4 – это самостоятельное написание класса C++ с дальнейшим использованием в Blueprint для получения видео. Написание своего класса процесс трудоемкий, с массой проблем, но данный способ дает огромное преимущество по сравнению с остальными описанными вариантами, поскольку позволяет заложить все необходимые в дальнейшем возможности.

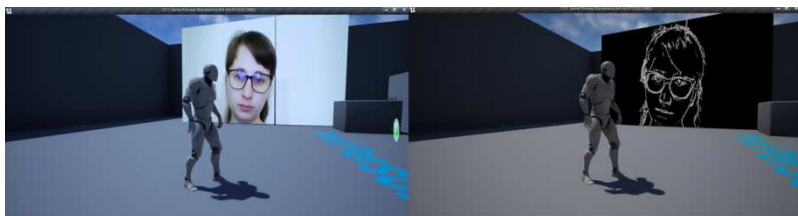


Рис. 3. Вариант отображения видео с камеры и последующая его обработка

Для реализации C++ класса и корректной его работы в последующем необходимо, чтобы проект UE4, в котором планируется использование данного, был создан на основе класса C++. При реализации C++ класса и подключении его к проекту через Blueprint в проект

добавляется некий объект с динамической текстурой, на котором и будет отображаться полученное с камеры изображение и результат его обработки. Таким образом, в проекте появляется возможность отображения видео с внешней камеры устройства и его обработки (Рис. 3).

Библиографический список

- 1 Робототехника будущего, 2012 г. – URL: <https://ribalych.ru/2012/04/02/robototexnika-budushhego/>
- 2 Тотухов К. Интеллектуальная система компьютерной симуляции промышленных роботов сферической компоновки: дис. ...канд. техн. наук. – Краснодар, 2015.
- 3 Playing Live Video Captures. – URL: <https://docs.unrealengine.com>
- 4 Geoffrey Douglas, «Intel® RealSense™ SDK для Windows», 2012. – URL: <https://software.intel.com>

Сведения об авторах

Соловьева Наталья Вячеславовна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ2-17-1м, г. Пермь, e-mail: Soloveva92@yandex.ru

Долгова Елена Владимировна – доктор экономических наук, профессор кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: elena@dolgova.info

Н.А. Кондратович, Е.В. Долгова

ТЕХНОЛОГИЯ ИМПОРТА ПЕРСОНАЖА ИЗ MAKEHUMAN В UNREAL ENGINE С ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ РЕАЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ

В данной статье представлена пошаговая инструкция по импортированию персонажа из программного 3D-продукта MakeHuman в игровой движок UnrealEngine с высокой степенью детализации движения.

Ключевые слова: 3D-моделирование, виртуальный робот, персонаж, MakeHuman, Unreal Engine, Animation Blueprint.

N.A. Kondratovich, E.V. Dolgova

TECHNOLOGY IMPORT CHARACTER FROM MAKEHUMAN TO THE UNREAL ENGINE WITH A HIGH DEGREE OF MOTION IMPLEMENTATION

This article provides step-by-step instructions on how to import a character from MakeHuman software 3D product into the UnrealEngine game engine with a high degree of motion detail.

Keywords: 3D modeling, virtual robot, character, MakeHuman, Unreal Engine, Animation Blueprint.

В настоящее время существует множество способов создания анимированных персонажей – от написания всего кода с нуля до более простых. Создание анимированного персонажа можно разделить на три этапа:

- моделирование самого персонажа;
- создание особых движений персонажа;
- создание окружения виртуального персонажа.

Для того чтобы виртуальный робот существовал в своем виртуальном мире и взаимодействовал с ним, наилучшим инструментом является игровой движок. Игровой движок – многоуровневый программный уровень, позволяющий разделять общие игровые концепции из игровых активов (уровни, графика и т.д.). При помощи игрового движка есть возможность создать не только анимированного персонажа, обладающего ИИ, но и поместить его в некий сценарий, где он сможет совершать различные действия с окружающим миром [1].

Для каждого из этапов создания анимированного персонажа с опорой на характеристики программных продуктов были выбраны следующие программы:

- Makehuman – для создания персонажа;
- Blender – для создания индивидуальной анимации;
- UnrealEngine – для создания окружения и среды существования анимированного персонажа.

На официальном сайте MakeHuman программное обеспечение предоставляется для скачивания и установки бесплатно [2].

После запуска MakeHuman загружается рабочая область программы. Разработчики предусмотрели выбор наиболее удобного языка для работы с программной средой.

Для создания персонажа на вкладке «**Моделирование**» можно выбирать основные характеристики для него – рост, вес, пол, возраст и прочее (рис. 1). Настройки возможны как через макросы (это генератор персонажей мужского и женского пола по пиктограммам и надписям), так и вручную, с выбором каждой части тела по отдельности.

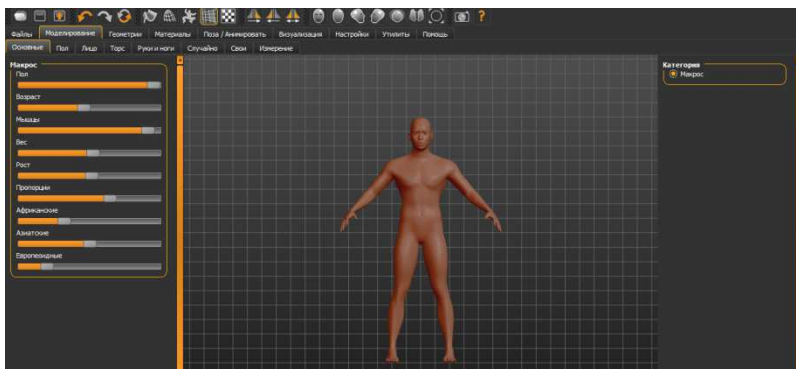


Рис. 1. Рабочая область создания персонажа

В меню «**Геометрия**» персонажа можно одеть, добавить ему волосы, зубы, брови, веки, язык и другие необходимые органы (если требуется).

После создания внешнего вида персонажа, для дальнейшего обеспечения его анимации необходимо наложение скелета. Это возможно на вкладке «**Поза/Анимация**». Выбор костного скелета происходит на основании того, какими частями тела персонаж должен

уметь двигать. Для более детализированной анимации наилучшим вариантом будет скелет Default, который состоит из 163 костей.

Последним шагом создания персонажа является правильная его выгрузка. Для этого нажимаем «Файл\Экспорт», формат сетки Collada (dae). Данный формат позволяет выгрузить персонажа со всей выбранной текстурой и в дальнейшем его использовать в средствах создания анимации.

На втором этапе создаем анимацию персонажа, для этого на официальном сайте Blender программное обеспечение можно скачать для установки бесплатно, с предоставлением полного функционала среды разработки [3]. После запуска Blender загружается в рабочее пространство программы (рис. 2). Верхняя часть содержит основное меню программы, справа.

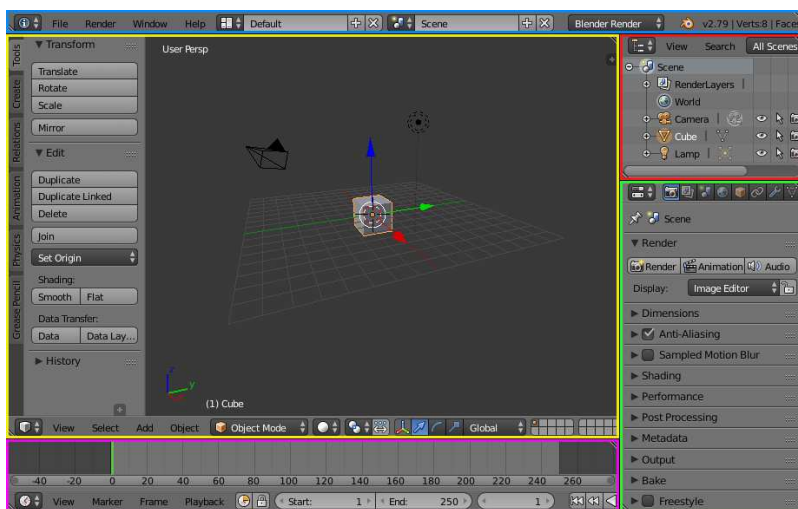


Рис. 2. Рабочее пространство программы Blender

Первоначально Blender запускается в рабочее пространство по умолчанию. Данная рабочая область разделена на пять частей, которые содержат перечисленные ниже редакторы [4]:

- Info Editor(информационный редактор), в верхней части рабочей области (синий);
- 3D View(3D-вид сцены), занимает наибольшую часть рабочего пространства программы (желтый);

- Timeline(временная шкала), расположенная внизу (пурпурный);
- Outliner(структура проекта) находится справа сверху (красный);
- Properties editor(редактор свойств) расположен справа внизу (зеленый).

Переходим к импорту ранее созданного персонажа File ->Import ->Collada (Default). После того как персонаж загружен в Blender, ему можно создавать различную анимацию, управляя его костным скелетом. Для отображения костей в правой части экрана выбрать ObjectDate и указать Display-X-Ray.

Создание анимации довольно трудоемкий процесс. Анимация создается пок кадрово, для чего необходимо создать раскадровку. Это ключевые позы персонажа. Она не должна быть суперточной, но должна давать четкое представление о том, в каких позах будет находиться персонаж в тот или иной момент времени. Когда анимация для персонажа создана, его нужно экспортировать так, чтобы не потерять текстуру, скелет и созданные движения. Поэтому экспортировать персонажа для дальнейшего его использование в игровом движке необходимо в формате FBX (File ->Export ->FBX(.fbx)).

Последним этапом остается поместить анимированного персонажа в игровой движок для дальнейшего его существования в виртуальном мире.



Рис. 3. Рабочее пространство программы Unreal Engine

На официальном сайте UnrealEngine, необходима регистрация в EpicGames, после чего программное обеспечение готово для скачи-

вания и установки с предоставлением полного функционала игрового движка [5].

После запуска игрового движка необходимо создать новый проект (рис. 3). Куда импортируем ранее созданного персонажа? Создаем новый каталог, в него делаем загрузку файлов и текстуры персонажа.

После загрузки персонаж загружается в первоначальном виде, для подключения анимации настраиваем раздел Animation, выбирая в нем анимацию с нужным названием. После чего можно добавить текстуру персонажа, перемещая ее на объект. Анимация проигрывается при нажатии на кнопку Play.

Библиографический список

1. Роллингз Э., Моррис Д. Проектирование и архитектура игр. – 2-е изд.: пер. с англ. – М.: Вильямс, 2006. – 1040 с.
2. Официальный сайт MakeHuman. – URL: <http://www.makehumancommunity.org/> (дата обращения: 13.06.2018).
3. Официальный сайт Blender. – URL: <https://www.blender.org/> (дата обращения: 13.06.2018).
4. Флеминг Б. Создание трехмерных персонажей: Уроки мастерства: пер. с англ. – М.: ДМК, 1999. – 448 с.
5. Официальный сайт Unreal Engine. – URL: <https://www.unrealengine.com/en-US/blog> (дата обращения: 13.06.2018).

Сведения об авторе

Кондратович Наталья Александровна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ2-17-1м, г. Пермь, e-mail: tataska04@yandex.ru

Долгова Елена Владимировна – доктор экономических наук, профессор кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: elena@dolgova.info

Р.А. Файзрахманов, А.В. Шушарина

ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ОПЕРАТОРОВ КРАНОВ

В данной статье обоснована необходимость разработки компьютерных тренажеров и описаны сложности, возникающие при их создании. В качестве решения проблемы предложено создание библиотеки типовых компонентов, ускоряющих процесс разработки. Для выделения элементов библиотеки проведен анализ кранов и крановых тренажеров. Составлена модель симулятора, описаны ее основные элементы.

Ключевые слова: кран, симулятор.

R.A. Fayzrakhmanov, A.V. Shusharina

FORMAL DESCRIPTION OF THE PROCESS OF DESIGNING SIMULATORS FOR CRANE OPERATORS

This article proves the need to develop computer simulators and describes the difficulties that arise when creating them. As a solution to this problem, we propose the creation of the library of typical components that accelerate the development process. In order to determine the elements of the library, an analysis of cranes and crane simulators was carried out. The simulator model for the crane operators was compiled; its main elements were described.

Keywords: crane, simulator.

Во многих областях человеческой деятельности профессиональные навыки рабочего персонала играют важную роль. Поэтому обучение работников и совершенствование их компетенций является одной из важнейших задач профессиональной деятельности. 11 марта 2013 г. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору был выпущен приказ № 96, согласно которому весь персонал, связанный с эксплуатацией опасных производственных объектов, должен быть обучен и аттестован с помощью компьютерных тренажеров [1].

Объекты, на которых выполняются погрузочно-разгрузочные работы обладают общими свойствами. Поэтому в процессе реализации тренажерных систем для них могут быть использованы общие подходы, как стандартные составляющие, описывающие некоторые

базовые процессы, так и уникальные составляющие (физические, механические, интерфейсные), описывающие специфику конкретного производственного объекта. При этом для реализации стандартной части разработчиком, как правило, выполняются одни и те же рутинные действия (создание элементов тренажера и их настройка), а реализация уникальных составляющих зачастую требует их глубокой проработки (проработка физических или механических особенностей, создание новых 3D-моделей, анимации, разработка алгоритмов и т.п.). Поэтому все это может занять много времени.

В связи с этим необходим способ сокращения времени на реализацию стандартной составляющей компьютерного тренажера обучения операторов кранов для сокращения суммарного времени его создания. Многие организации, занимающиеся созданием компьютерных тренажеров, имеют в своем распоряжении средства ускорения разработки. Такими средствами могут быть:

- собственная среда разработки, частично или полностью автоматизирующая некоторые процессы создания тренажера;
- библиотека компонентов, содержащая набор наиболее часто используемых типовых компонентов, которые с помощью простейших настроек могут быть сконфигурированы под конкретный проект;
- набор типовых проектов, которые используются как основа для проекта и впоследствии дорабатываются.

Упомянутые выше средства могут использоваться как в отдельности, так и в совокупности, тем самым значительно ускоряя процесс создания тренажера. В ходе исследования проведен анализ существующих решений. Проанализированы различные средства для разработки: Vortex Studio Editor, VirtualLab, САПР КИТ. На основании их анализа, выделены следующие недостатки (таблица).

Недостатки рассмотренных существующих решений

Решение	Недостатки
Vortex Studio Editor	Высокая цена
VirtualLab	Некоммерческий продукт, возможность создавать только 2D-«тренажеры», нет возможности описать сложные математические операции, закрытый код, направленность на использование «не программистами»
САПР КИТ	Некоммерческий продукт, нет возможности создания полномасштабных тренажерных комплексов, по типу тренажера оператора крана, направленность на использование «не программистами»

На основании анализа существующих инструментов принято решение разработать свои средства ускорения разработки – библиотеки компонентов. Проанализировано несколько типов кранов: стреловой, порталный, мостовой. Для каждого из них составлена концептуальная схема, отражающая основные элементы крана и связи между ними. В результате сформировано обобщенное представление крана. Выделены **основные элементы**, из которых состоит кран.

- Опора крана – подвижная или стационарная конструктивная часть крана, находящаяся ниже всех других элементов по иерархии. Перемещение данного элемента в пространстве из положения (x_0, y_0, z_0) в положение (x', y', z') ведет к перемещению остальных частей крана на $(x' - x_0, y' - y_0, z' - z_0)$.

- Конструктивные элементы крана – отдельные элементы конструкции крана, уникальные для каждого конкретного вида (например, хобот, тележка, оголовки и т.п.).

- Механизм подъема – элемент, отвечающий за подъем и опускание тросов.

- Трос – один трос, или тросовая система, предназначенная для крепления механизма захвата.

- Механизм захвата – элемент, с помощью которого происходит захват груза. Можно выделить несколько типов данного элемента, каждый из которых имеет свои особенности: крюк, рейфер [3], магнит [4].

Таким образом, обобщенно кран можно представить в виде иерархической схемы (рисунк).

Важно отметить, что каждый тип элементов имеет свои особенности работы, ограничения, которые должны быть учтены при реализации. На основании анализа также выделено несколько **типов связей** между элементами крана:

- «управляет» – означает, что к данному элементу прикреплен электропривод, с помощью которого можно управлять положением элемента в пространстве;

- «является опорой» – представляет собой иерархическую связь и означает, что изменение положения в пространстве родительского элемента ведет к соответствующему изменению положения в пространстве всех дочерних элементов выше по иерархии;

- «соединен с...» – означает, что между элементами установлено шарнирное соединение;

- «проходит через...» – означает, что родительский элемент проходит через (сквозь) дочерний элемент, но не оказывает на него влияния.



Рис. Обобщенная схема крана

Таким образом, с помощью выделенных элементов и связей можно описать кран стрелового или мостового типа.

Далее разработана **модель симулятора оператора крана**:

$$M = \{C, T, O, P, G, R, U\},$$

где C – это множество кранов, присутствующих в симуляторе (может быть один или много); T – это множество транспортных средств, используемых в симуляторе для перемещения грузов (могут быть представлены в виде автомобилей, барж, поездов); O – это множество элементов окружения, таких как статичные здания, пирс, вода, небо и т.п.; P – это персонал, «живущий» в симуляторе и выполняющий свои обязанности, имеющие практический смысл для процесса обучения (стропальщики, сигналеры, водители транспорта и т.п.); G – множество грузов, расположенных на сцене симулятора и предназначенных для перемещения, грузы могут быть различных типов: штучные или сыпучие; R – это множество элементов управления, с помощью которых можно управлять кранами из множества C ; U – множество пользователей симулятора, имеющих определенные роли: обучаемый или инструктор.

Каждая из составляющих модели была проанализирована и описана. Была проведена декомпозиция каждой составляющей модели на базовые компоненты. В результате проведенной декомпозиции был выделен ряд базовых компонентов, позволяющих полноценно составить графическое описание симулятора оператора крана. Среди них можно выделить несколько групп, представленных ниже.

Основные компоненты: твердое тело; коллайдер; электропривод; механизм подъема; трос; механизмы захвата (крюк, грейфер); транспортное средство; персонал (стропальщик и сигналер); груз.

Дополнительные компоненты: силовой преобразователь; 3D-модель; синхронизатор; маршрут; контроллер.

Специализированные компоненты: объект симулятора; конструктивное соединение; элементы управления (рычаг, кнопка, переключатель, джойстик); пользователь симулятора.

Таким образом, был проведен анализ структуры нескольких типов кранов, на основании которого была разработана обобщенная схема крана, выделены ее основные элементы и связи между ними. Также был проведен анализ более десятка тренажерных систем для операторов кранов, на основании которого была разработана модель симулятора для оператора крана и описаны ее составляющие. Далее для каждого элемента модели была проведена декомпозиция, в результате которой был выделен ряд унифицированных базовых компонентов. Выделенные компоненты в дальнейшем будут использованы для разработки библиотеки компонентов.

Библиографический список

1. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств: федер. нормы и правила в области промышленной безопасности. Сер. 09. Вып. 37. – 2-е изд., доп. / ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности». – М., 2013. – 126 с.
2. Официальный сайт компании Vortex. – URL: <https://www.cm-labs.com/>
3. Videоканал компании Vortex. – URL: <https://www.youtube.com/channel/UCHNKIPfAbkm8OGD1CvnKMsQ>
4. Дозорцев В.М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов. – М.: Синтег, 2009. – С. 372.

5. Осипова В.А., Даныкина Г.Б. Повышение эффективности обучения операторов технологических процессов на базе компьютерных тренажеров // Системы. Методы. Технологии. – 2011. – №. 3. – С. 11.
6. Матлин А.О. Автоматизация процесса создания виртуальных тренажеров: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12. – Волгоград, 2012. – 22 с.
7. Гаммер М.Д. Разработка системы автоматизированного проектирования компьютерных имитационных тренажеров: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12. – Тюмень, 2007. – 121 с.
8. Стреловые краны [Электронный ресурс] // О кранах. – URL: <http://o-cranes.ru/strelovyie-kranu>
9. Портальные краны [Электронный ресурс] // О кранах. – URL: <http://o-cranes.ru/portalnye-kranu>
10. Типы и разновидности портальных кранов [Электронный ресурс] // URL: https://www.roig.ru/articles/typu_port_kranov/
11. Мостовые краны: устройство, классификация, применение // О кранах. – URL: <http://o-cranes.ru/mostovoj-kran>
12. Грейферный ковш [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Грейферный_ковш
13. Принцип работы магнитных захватов [Электронный ресурс] // Механика. – URL: <https://grmeh.ru/articles/princip-raboty-magnitnyh-gruzozahvatov>

Сведения об авторах

Файзрахманов Рустам Абубакирович – доктор экономических наук, профессор кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, email: fayzrakhmanov@gmail.com

Шушарина Анастасия Владиславовна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ2-17-1м, г. Пермь, email: ana.shusharina@gmail.com

Н.В. Мехоношина, Р.А. Файзрахманов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Актуальность данной работы заключается в разработке автоматизированной информационной системы для отдела учета, ремонта и обслуживания медицинского оборудования. Это позволит точно и эффективно проводить многие операции, связанные с работой медицинского учреждения, что приведет к повышению эффективности управления и бизнес-процессов.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, медицина, учет медицинского оборудования.

N.V. Mekhonoshina, R.A. Fayzrakhmanov

DESIGNING AN AUTOMATED INFORMATION ACCOUNTING SYSTEM FOR MEDICAL EQUIPMENT

The relevance of this work is to develop an automated information accounting system for medical equipment. This enables you to accurately and efficiently perform many operations related to the work of a medical institution that will increase the efficiency of the management and implementation of the business processes.

Keywords: automated information system, medicine, medical equipment accounting.

В настоящее время информатизация является приоритетным направлением развития здравоохранения. Несмотря на это, можно говорить о его недостаточном развитии. При этом использование автоматизированных информационных систем (АИС) для управления медицинским учреждением позволило бы значительно повысить эффективность работы персонала учреждения [1].

Автоматизированные информационные системы по учету медицинского оборудования практически не представлены на рынке медицинских информационных систем, поэтому медицинские учреждения пользуются системами, не предназначенными для этой цели, что сказывается на работе технической службы медицинской организации (МО). При использовании таких систем зачастую случаются ошибки при мониторинге технического состояния оборудования [2].

В частности, существуют системы учета оборудования как материальной единицы, но отсутствуют системы, позволяющие не только проводить учет в МО, но и отражать текущее состояние медицинского оборудования, требуемое проведение технического обслуживания (ТО), текущего ремонта (ТР), гарантийного ремонта (ГР), метрологической поверки, заключенные контракты и статус обработки заявок на ТО и ТР исполнителем [3, 4, 5, 6, 7].

Целью данной работы является проектирование АИС учета медицинского оборудования технической службы медицинского учреждения. Объектом исследования выступает Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Пермского края «Городская клиническая больница им. С.Н. Гринберга».

В процессе изучения организационной структуры медицинского учреждения и проведения анализа выделено десять ключевых ролей пользователей: руководитель МО, начальник отдела по ТО и ТР, заведующий отделением МО, инженер по МО и ТР (внутр.), метролог МО, инженер по ТО и ТР (сторон.), специалист КС, специалист Центра стандартизации и метрологии (ЦСМ), администратор МО, администратор Центра обработки данных (ЦОД).

Следует отметить, что наибольший поток заявок поступает от заведующих отделениями. Запуск процедуры восстановления работоспособности медицинского оборудования начинается с поступления заявки на обслуживание начальнику отдела по ТО и ТР. На рис. 1 приведен процесс обработки заявок ключевыми лицами медицинского учреждения, ответственными за поддержание работоспособного состояния медицинского оборудования (см. рис. 1).

В случае если требуется проведение метрологической поверки, заявки на метрологическую поверку оборудования формируются метрологом МО на основании имеющейся базы АИС и направляются в ЦСМ. Далее аналогично процессу обработки заявок на обслуживание происходит согласование коммерческого предложения и проведение поверки специалистом ЦСМ. В связи с тем, что в процессе работы с сторонними организациями возникают спорные моменты, необходимо выделить отдельную роль для специалиста контрактной службы (КС). Функционал специалиста КС предполагается ограничить в сфере редактирования и добавления информации в АИС. Администратор МО и администратор ЦОД являются специалистами, осуществляющими деятельность по настройке функционирования АИС на уровне МО и уровне региона соответственно.

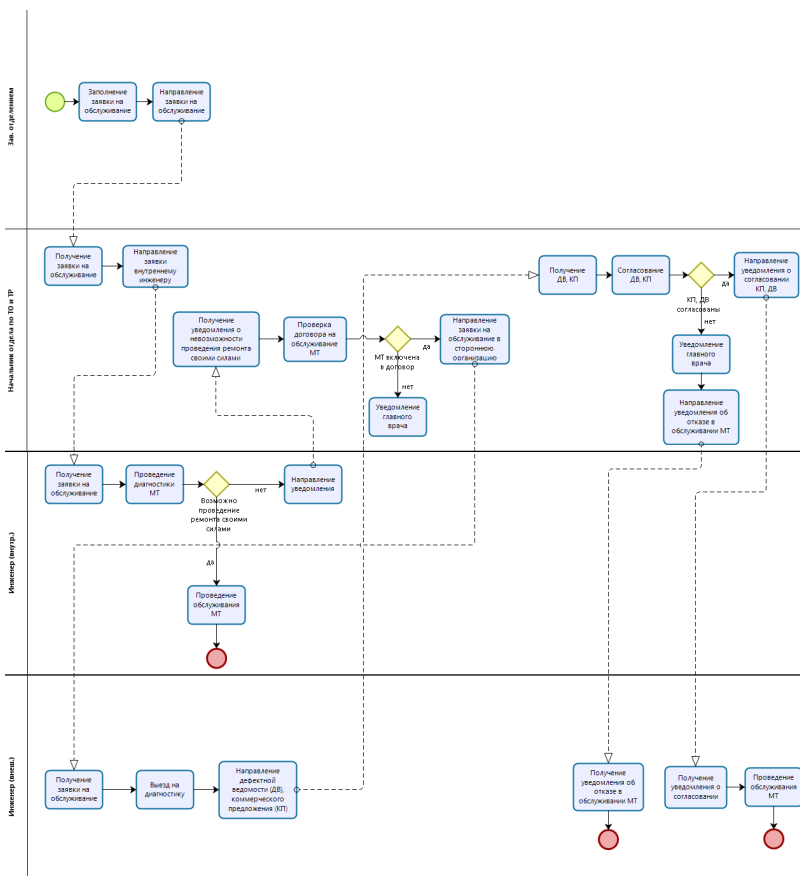


Рис. 1. Процесс обработки заявок на обслуживание

С точки зрения архитектурной составляющей проекта АИС для администратора ЦОД предполагается разработать Windows-приложение, для других пользователей – веб-приложение. Логика их реализации аналогична, различия кроются на физическом уровне реализации. Планируется использование клиент-серверной архитектуры. Такая архитектура позволит централизованно хранить базу данных на сервере и получать к ней доступ с клиентов. Сервером будет являться компьютер администратора ЦОД. Клиентами будут являться компьютеры с установленным приложением и драйвером СУБД для доступа к серверу. Иллюстрационный вариант данной архитектуры представлен на рис. 2 [8].

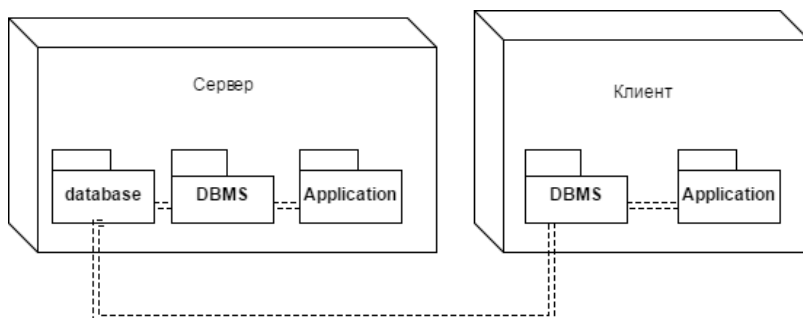


Рис. 2. Архитектура решения

При создании будут использоваться следующие средства и технологии: объектно-ориентированный дизайн и проектирование; Microsoft .NET Framework 4.0; Microsoft Visual Studio 2015; Microsoft SQL Server 2014 Express; язык SQL; язык C#.

Данное сочетание программных методов и средств позволит без проблем создать приложение, реализующее функционал, соответствующий требованиям заказчика (рис. 3).

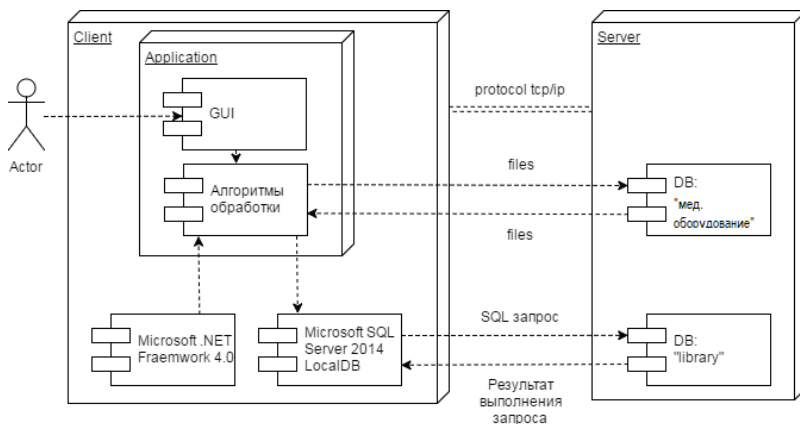


Рис. 3. Диаграмма компонентов

Разрабатываемая автоматизированная информационная система для учета медицинского оборудования будет иметь полный функционал по управлению обслуживанием медицинского оборудования. Основными функциями системы будут являться обеспечение хранения

информации по каждой единице оборудования, управление заявками на техническое обслуживание, текущий и гарантийный ремонт, направление заявок на метрологическую поверку оборудования в центр стандартизации и метрологии, согласование графиков обслуживания и коммерческих предложений, учет договоров и актов дефектовки. Дополнительно будет предусмотрен модуль отчетности, который позволит выявлять статистику по проведенному обслуживанию за определенный период времени. Таким образом, данная система позволит автоматизировать цикл работ, производимых с целью поддержания работоспособного состояния медицинского оборудования, от ввода в эксплуатацию до выбытия из медицинской организации.

Библиографический список

1. Золтан Ф.А. Основы управленческой деятельности в медицине. – М.: Юнити, 2008. – 344 с.
2. Ильина Н.А., Кудряшов А.Я., Цирлин А.М. Задача обновления оборудования для лечебно-профилактических учреждений // Проблемы управления здравоохранением. – 2002. – № 3/4. – С. 52–55.
3. Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федер. закон от 21 ноября 2011 г. N 323-ФЗ. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895/ (дата обращения: 01.10.2018).
4. О введении в действие методических рекомендаций «Техническое обслуживание медицинской техники» [Электронный ресурс]: Письмо Министерства здравоохранения РФ от 27 октября 2003 г. N 293-22/233. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=319492#022882512918356746> (дата обращения: 01.10.2018).
5. Методические указания по контролю работы паровых и воздушных стерилизаторов (утв. Минздравом СССР от 28.02.1991 N 15/6-5) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&ts=168815913306373144520932077&cacheid=14BF8C3FB3CF227E8792DFD4CE0B882B&mode=splus&base=MED&n=3085&rnd=0.11321015764433562#8ry2nji0yy> (дата обращения: 01.10.2018).
6. Об обеспечении единства измерений [Электронный ресурс]: Федер. закон от 26 июня 2008 года № 102-ФЗ. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&ts=329342220065>

48243929312816&cacheid=8B67CF1F48C294D69796373417A30F39&mode=splus&base=LAW&n=182748&rnd=0.11321015764433562#9qi0x6xb0f (дата обращения: 01.10.2018).

7. Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, выполняемых при осуществлении деятельности в области здравоохранения, и обязательных метрологических требований к ним, в том числе показателей точности измерений [Электронный ресурс]: Приказ от 21 февраля 2014 г. N 81н. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&ts=32934222006548243929312816&cacheid=12D6E69138456C2631D0FB53714148E8&mode=splus&base=LAW&n=176557&rnd=0.11321015764433562#2k16dfy2mh2> (дата обращения: 12.11.2018).

8. Архитектура информационной системы типа «клиент-сервер». – URL: https://studopedia.ru/3_189519_arhitektura-informatsionnoy-sistemi-tipa--klient-server.html (дата обращения: 11.03.2019).

Сведения об авторах

Мехоношина Наталья Викторовна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУЗ-17-1м, г. Пермь, e-mail: mehonoshina.natalja@gmail.com

Файзрахманов Рустам Абубакирович – доктор экономических наук, профессор кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: fayzrakhmanov@gmail.com

Е.Е. Ерискина, Д.С. Курушин

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОСТРОЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВОГО ТЕКСТА

В данной статье рассмотрены аспекты возможности создания иерархической модели построения предложений для генерации естественно-языкового текста. Рассмотрен способ генерации ядерных предложений на основе порождающих грамматик Хомского. Построена иерархия зависимостей между видами предложений естественно-языкового текста. Программно описана структура классов для иерархии предложений на языке программирования Python. Написаны методы обработки предложений и генерации простых ядерных на основе анализа исходного текста.

Ключевые слова: естественно-языковой текст, обработка текста, порождающая грамматика, иерархия предложений, извлечение основного содержания.

E.E. Eriskina, D.S. Kurushin

ABOUT THE POSSIBILITY OF CREATING A HIERARCHICAL MODEL OF SENTENCES TO GENERATE A NATURAL-LANGUAGE TEXT

In this is article discusses the aspects of the possibility of creating a hierarchical model of constructing sentences for the generation of natural language text. The method of generating of nuclear proposals on the basis of generative grammars Chomsky. The hierarchy of dependencies between types of sentences of natural language text is constructed. The structure of classes for the hierarchy of sentences in the Python programming language is described programmatically. Methods of processing sentences and generation of simple nuclear based on the analysis of the source text are written.

Keywords: Natural language text, text processing, generative grammar, the hierarchy of sentences, extract main content.

В настоящее время предпринимается множество попыток организовать общение с машиной посредством диалога на естественном языке. В рамках магистерской диссертации создается автоматизированная система извлечения основного содержания (далее «ИОС»).

Одним из требований к этой системе является генерация осмысленного и грамматически правильного текста на основе денотативной модели. В ходе проведенных исследований установлено, что эффективным способом организации такой системы является построение иерархической структуры предложений, на основе которой формируется конечный текст на выходе системы.

Существует большой спектр способов генерировать простые ядерные предложения: шаблоны, формальные грамматики [1], модели Маркова [2], n -граммы [3] и многое другое. Шаблонный формат генерации в данном случае неприемлем, потому что обработке будут подвергаться тексты разных предметных областей и направленно-стей: от научных статей студентов до учебно-методической документации преподавателей.

Для того чтобы создать интегрированный способ построения предложений, необходимо понять алгоритм возникновения одного вида из другого. Это поможет избежать избыточности программного кода и решит вопрос адекватности построенной модели. С этой целью было принято решение строить иерархию, основываясь на порождающих грамматиках Хомского [4].

Суть порождающей грамматики в том, что она изучает и использует в первую очередь компетенцию. Структурными составляющими порождающей грамматики являются три элемента: синтаксис, семантика и фонетика.

Порождающая грамматика включает в себя два уровня синтаксиса: глубинный и поверхностный. Помимо уровней модель содержит такие компоненты, как база, именная группа и глагольная группа. База определяется как система элементарных правил, которая может подходить для нескольких языков одновременно и включает в себе ограниченное множество прототипов возможных предложений. Главное правило базы заключается в разложении предложения S на последовательность именных групп NP и глагольных групп VP . В общем виде это правило можно записать так:

$$S \rightarrow NP + VP. \quad (1)$$

Для того чтобы создать достоверную иерархическую модель, необходимо установить зависимости между существующими видами

предложений. Эти зависимости позволят избавиться от избыточности программного кода, установить верные правила наследования между родительским и зависимыми классами [4]. Для построения иерархии были выбраны следующие виды предложений: простое, нераспространённое, распространённое, сложное бессоюзное, сложно-сочинённое и сложно-подчинённое. Построенная иерархия предложений представлена на рис. 2.

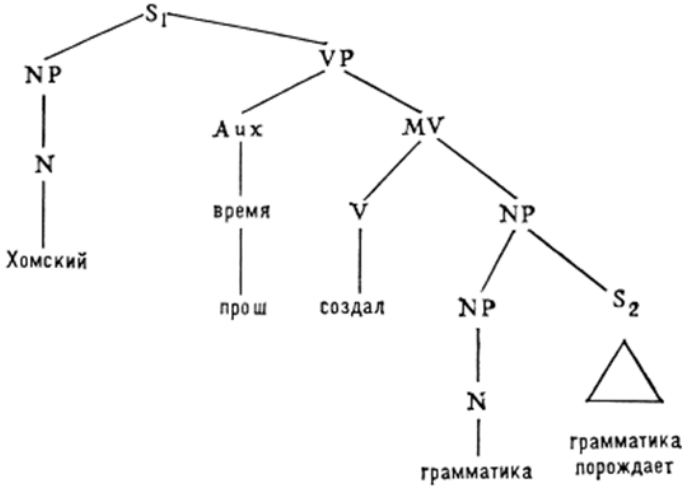


Рис. 1. Структурная характеристика правил базы [4]

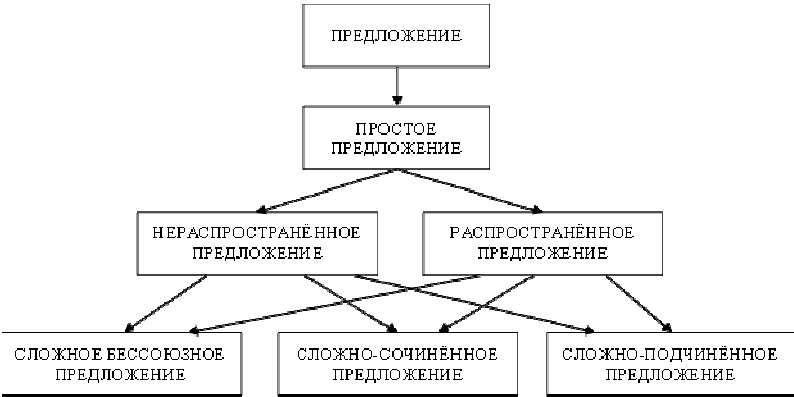


Рис. 2. Иерархия предложений

В программном виде структура представлена в виде иерархии классов. Корневым выступает класс «Предложение», содержащий в себе все необходимые для генерации предложения методы и функции. Остальные классы наследуются от родительского и друг от друга по принципу «лестницы»[5]. Пример наследования классов представлен на листинге 1.

Листинг 1 – Наследование классов в соответствии с иерархией предложений

```
class Предложение ( ) :
pass
class Простое_предложение (Предложение) :
pass
class Нераспространен-
ное_предложение (Простое_предложение) :
pass
class Распространен-
ное_предложение (Простое_предложение) :
pass
class Слож-
ное_бессоюзное_предложение (Нераспространенное_пред-
ложение, Распространенное_предложение) :
pass
class Слож-
ное_сочиненное_предложение (Нераспространенное_предл-
ожение, Распространенное_предложение) :
pass
class Слож-
ное_подчиненное_предложение (Нераспространенное_пред-
ложение, Распространенное_предложение) :
pass
```

Классы, представленные на Листинге 1, будут заполнены соответствующими конструкторами, которые позволят генерировать предложения в соответствии с семантикой русского языка. Внутри корневого класса «Предложение» на данный момент реализованы следующие методы:

Метод *build_matrix* строит матрицу, которая состоит из термов предложения. Термы извлекаются с помощью инструмента *PyMorphy*. Этот метод нужен для того, чтобы организовать перебор всех вариантов возможных предложений. Программная реализация метода представлена на Листинге 2.

Листинг 2 – Метод *build_matrix*

```
def build_matrix(self):
    data = []
    n = 0
    for part in self.pars_list:
        for var in part:
            try:
                data[n] += [var]
            except IndexError:
                data += [[var]]
            n += 1
    return data
```

Метод *get_candidates* просматривает все возможные варианты предложения и выбирает наиболее вероятный из них, опираясь на вес. Программная реализация метода представлена на Листинге 3.

Листинг 3 – Метод *get_candidates*

```
def get_candidates(self):
    max_h = max([ len(_) for _ in self.data ])
    rez = []
    for i in range(max_h):
        cand = []
        for j in range(len(self.data)):
            try:
                cand += [self.data[j][i]]
            except IndexError:
                cand += [self.data[j][0]]
        rez += [cand]
    return rez
```

Метод *get_sent_weight* позволяет определить вес каждого составленного перебором предложения. Программная реализация метода представлена на Листинге 4.

Листинг 4 – Метод *get_sent_weight*

```
def get_sent_weight(self):  
    rez = []  
    for sent in self.sent_candidates:  
        w = 1  
        for pars in sent:  
            w = w * pars.score  
        rez += [{ 'w':w, 'sent':sent}]  
    return rez
```

Метод *make_agree* позволяет согласовывать все слова, из которых состоит предложение в соответствии с лексическими и грамматическими нормами. Программная реализация метода представлена на Листинге 5.

Листинг 5 – Метод *make_agree*

```
def make_agree(self):  
    rez = []  
    rama = morph.parse('мама')[0]  
    myt = morph.parse('мыть')[0]  
    rama = morph.parse('рама')[1]  
    rez = mama.inflect({'nomn'}),  
    myt.inflect({'past', 'femn'}), rama.inflect({'accs'})  
    return rez
```

В ходе работы разработана иерархическая модель предложения для генерации текста на естественном языке. Способ наследования определён порождающими грамматиками Хомского. Разработаны методы автоматической генерации предложений на основе исходного текста. Дальнейшие разработки направлены на создание автоматизированной системы «ИОС».

Библиографический список

1. Волкова И.А., Руденко Т.В. Формальные грамматики и языки. Элементы теории трансляции. 2-е изд. – М.: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 2009. – 62 с.
2. Судоплатов С.В., Овчинникова Е.В. Дискретная математика. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2011. – 143 с.

3. Власов Д.Ю., Пальчунов Д.Е., Степанов П.А. Автоматизация извлечения отношений между понятиями из текстов естественного языка // Вестник НГУ. – 2010. – Т. 8, вып. 3. – 8 с.

4. Генеративная лингвистика // Лингвистический энциклопедический словарь. – URL: <http://tapemark.narod.ru/les/098b.html> (дата обращения: 19.04.2019).

5. Национальный корпус русского языка [Электронный ресурс] // Национальный корпус русского языка. – URL: <http://www.ruscorpora.ru/> (дата обращения: 12.05.2018).

Сведения об авторах

Ерискина Екатерина Викторовна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ2-17-1м, г. Пермь, e-mail: eriskina.katena@mail.ru

Курушин Даниил Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: dan973@yandex.ru

Секция II
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

Ж.А. Даев, Н.З. Султанов

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ БАЛАНСА ОБЪЕМОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ОСНОВЕ НЕЙРОНЕЧЕТКИХ СЕТЕЙ

Сведение и контроль объемов транспортируемого природного газа является одной из важных операций трубопроводного транспорта. Поэтому в данной статье рассматривается решение этой задачи путем организации автоматизированной системы контроля и поиска разбаланса объемов газа с помощью нейронечетких сетей, которая позволяет выполнять непрерывный мониторинг состояния баланса транспортируемого газа, а также выполнять поиск места возникновения разбалансов. Сеть использует алгоритм Мамдани.

Ключевые слова: баланс газа, нечеткая логика, нейронная сеть, нейро-нечеткая система, модель Мамдани.

Zh.A. Dayev, N.Z. Sultanov

AUTOMATING THE CONTROL OF THE BALANCE OF THE NATURAL GAS VOLUMES ON THE BASIS OF FUZZY NEURO NETWORKS

Monitoring and control of volumes of transported natural gas is one of the important operations of pipeline transport. Therefore, this article discusses the solution of this problem by organizing an automated system for monitoring and finding the imbalance of gas volumes with the help of fuzzy neural networks, which allows continuous monitoring of the state of the balance of the transported gas, as well as to search for the place of occurrence of imbalances. The network uses Mamdani's algorithm.

Keywords: gas balance, fuzzy logic, neural network, neuro-fuzzy system, Mamdani model.

На сегодняшний день одним из наиболее важных ископаемых источников энергии является природный газ. Важность этого ископаемого источника энергии обусловлена такими факторами, как относительно легкая переработка, возможность транспортировать различными способами, простота распределения потребителям и возможность длительного хранения. По результатам исследований в работе [1], уровень добычи и потребления природного газа неуклонно растет. Доля его потребления среди всех ископаемых источников энергии составляет четверть. Поэтому совершенствование процессов

трубопроводного транспорта, учета и контроля параметров данного энергоносителя относится к одним из актуальных задач современной газовой промышленности.

Среди таких задач особое место занимает контроль сведения баланса объемов природного газа. Под разбалансом природного газа газотранспортной системы (ГТС) понимают разницу поступления учтенного газа из соседних ГТС, в том числе транзитного, из месторождений, подземных хранилищ и учтенного ухода газа, в том числе транзитного и отобранного потребителями, газа для закачки в хранилища, расход газа на собственные нужды объектов ГТС, учтенный технологический расход и учтенные потери газа [2].

Модель баланса природного газа в магистральном газопроводе [3] можно представить в следующем виде:

$$Q_E + Q_S = Q_D + Q_{SC} + Q_L + Q_{LP} + Q_{UAG}, \quad (1)$$

где Q_E – объем газа, отправляемый источниками (газовый завод, импорт и т.п.); Q_S – газ на хранение (знак перед объемом зависит от сезонного потребления); Q_D – газ, отправляемый на объект потребления; Q_{SC} – газ на собственные нужды для поддержания работоспособности ГТС; Q_L – объем естественных потерь; Q_{LP} – объем, необходимый для заполнения участка магистрального газопровода; Q_{UAG} – неучтенный газ (разбаланс).

Предприятия, которые вовлечены в работу ГТС, всегда стараются уменьшить объем возникающего разбаланса (Unaccounted-for-Gas) [3]. ГТС представляет собой большую и сложную систему, в которой невозможен анализ разбаланса путем полного и точного учета всех составляющих баланса [3]. Источниками разбаланса могут быть ухудшение метрологических характеристик средств измерений расхода и количества газа [3, 4], неточности, связанные с заменой реальных расходов нормативными показателями [3], технологические и естественные потери, потери при аварийных ситуациях (свищи, трещины). Если последние причины обусловлены несовершенством технологии трубопроводного транспорта, то на предприятиях ГТС также не исключается намеренное несанкционированное вмешательство в работу ГТС с целью хищения природного газа участниками газотранспортной системы [3, 5]. В настоящей работе решается задача моделирования автомати-

зированной системы контроля величины разбаланса и способов определения мест его возникновения при несанкционированных вмешательствах в работу ГТС. В основу моделирования такой системы положены методы нейронечеткого моделирования и построения нейронечетких сетей.

Система контроля и поиска разбалансов объема природного газа решалась с помощью методов искусственного интеллекта в работах [2, 4]. В настоящей работе авторы предлагают модель автоматизированной системы, основанной на нейронечетких сетях. В качестве основы для такой модели применяется нейронечеткая сеть, работающая по алгоритму Мамдани [5].

Под нейронечеткой сетью понимают систему, в которой отдельные элементы нечеткости и алгоритмы вывода реализуются с помощью нейронной сети [6]. Алгоритм поиска и контроля разбаланса объемов природного газа на основе нечетких моделей подробно описан в работе [4]. Он представляет собой решение задачи поиска и контроля разбаланса на определенном участке магистрального газопровода. В качестве такого участка предлагается расстояние между двумя крайними узлами. Такой подход вызван естественным разбиением магистрального газопровода на участки при проектировании. Условно такой участок представлен на рис. 1. Здесь может быть несколько источников и потребителей газа, кроме основного транзитного магистрального газопровода.

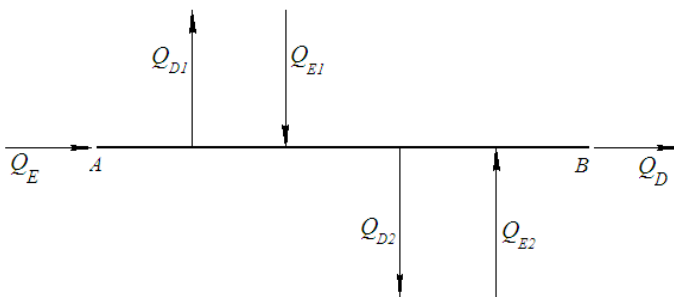


Рис. 1. Структура участка магистрального газопровода

На рис. 1 изображена возможная ситуация, где на входе в участок в точке A измеряется расход Q_E , а на выходе в точке B измеряется расход Q_D . Будем считать, что метрологические

характеристики средств и систем измерения расхода на участке в пределах класса точности, а нормативная замена объемов потребления газа на собственные нужды устраняется введением дополнительных средств измерений в случае их отсутствия. Среди описанных источников разбаланса объемов газа самым опасным является несанкционированное вмешательство в нормальную работу ГТС. Поэтому вместо уравнения (1) в рамках рассматриваемой задачи примем следующую модель для сведения баланса газа:

$$Q_E = Q_D + Q_{UAG}.$$

Составим уравнение для баланса объемов газа для рассматриваемого участка. На участке между точками A и B имеются два дополнительных источника с расходами Q_{E1} и Q_{E2} , а также два потребителя с расходами Q_{D1} и Q_{D2} . Величина разбаланса между точками A и B может быть выражена в относительных величинах следующим образом:

$$x = Q_{UAG} = \frac{Q_D - (Q_E - Q_{D1} - Q_{D2} + Q_{E1} + Q_{E2})}{Q_D} 100 \%. \quad (2)$$

Предполагаем, что величина разбаланса между контрольными периодами может носить нечеткий характер, поэтому в рассмотрение вводится лингвистическая переменная «разбаланс газопровода» – x вместе с соответствующими функциями принадлежности $\mu(x)$ [5, 7]. Вместе с лингвистической переменной вводятся нечеткие множества с термами:

- разбаланс газопровода отсутствует $A_1 = \{x, \mu_1(x)\}$;
- незначительный разбаланс газопровода $A_2 = \{x, \mu_2(x)\}$;
- осязаемый разбаланс газопровода $A_3 = \{x, \mu_3(x)\}$;
- значительный разбаланс газопровода $A_4 = \{x, \mu_4(x)\}$;
- критический разбаланс газопровода $A_5 = \{x, \mu_5(x)\}$.

В качестве функций принадлежности введенных нечетких множеств можно принять треугольные функции с ядрами, значения которых равны 0, 5, 10, 15 и 20 %, соответственно. Такое разделение принято из соображений, что у большинства современных систем и средств измерения расхода газа величина относительной погрешности не превышает 1,5–2,0 %. Поэтому 5 % величины разбаланса принята как крайняя возможная погрешность для самых старых типов средств измерений расхода.

Предлагаемая система на базе нечетких множеств должна выполнять классификацию возникающего на участке ГТС разбаланса входе диспетчеризации. Система должна служить дополнительным источником поддержки принятия решения для диспетчерского персонала эксплуатирующей организации ГТС.

Выходное состояние системы будет контролироваться значением переменной y , которая характеризует попадание величины разбаланса в определённое множество:

$$y = \{1 - A_1; 2 - A_2; 3 - A_3; 4 - A_4; 5 - A_5\}.$$

Такой процесс поддержки принятия решения может быть организован с помощью нейронечеткой сети на основе алгоритма Мамдани [5]. Структура такой сети представлена на рис. 2.

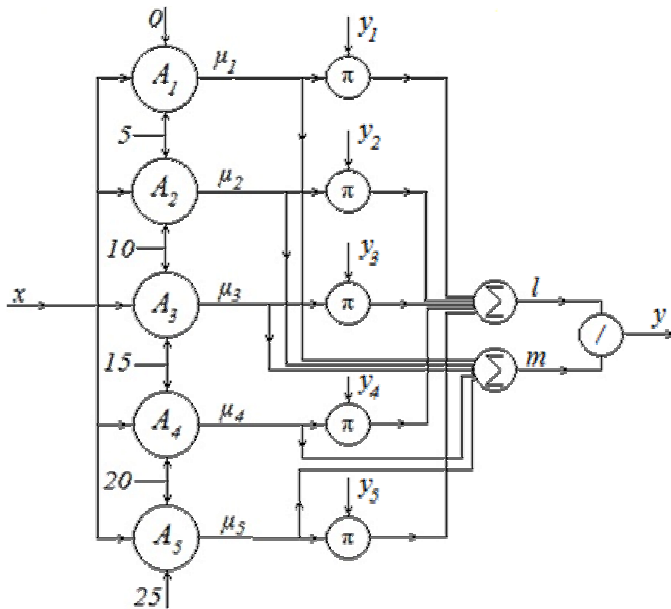


Рис. 2. Структура нейронечеткой сети Мамдани:
 π – символ умножения; $/$ – деление

Выполним построение нейронечеткой сети Мамдани для нашей задачи. Для этих целей представленные нечеткие множества, связанные с лингвистической переменной, должны быть представлены в виде нейронов. Границы и ядра нечетких множеств подаются

в нейроны в виде входных настроечных параметров, выходы этих нейронов будут формировать значения функций принадлежности. Эти входные нейронные блоки нужно считать аналогом блока фаззификации для традиционных нечетких систем. Далее, на выходе будут сформированы функции принадлежности, которые отражают степень близости величины разбаланса к определенному нечеткому множеству либо нейрону, в новых терминах. На выходе будет реализована операция дефаззификации в виде

$$y = \frac{l}{m} = \frac{\sum_{i=1}^5 \mu_i(x) \cdot y_i}{\sum_{i=1}^5 \mu_i(x)}.$$

Для реализации последней формулы в нейронечеткой сети используются два сумматора, которые выполняют суммирование произведений функций принадлежности на значения выходного множества l и суммирование всех полученных функций принадлежности m . Далее результаты этих сумматоров подаются на блок, который выполняет их деление.

Для нахождения разбаланса на участке необходимо сравнение двух состояний одного и того же участка. Для этого поочередно отключаются источники либо потребители на участке и вычисляется нечеткое отношение между состояниями до отключения и после. Для решения такой задачи подойдет любой из известных операторов импликации. Например, такие операторы приводятся в работе [8]. Если величина разбаланса не совпадает на отдельных участках, результат при выполнении операции импликации будет сразу замечен и система в автоматическом режиме оповестит диспетчера об участке, где происходит разбаланс, отличный от того, который наблюдается по всему газопроводу.

Реализация такой сети может быть выполнена на любых существующих программируемых логических контроллерах (ПЛК). Любой из имеющихся языков стандарта МЭК 61131-3 или подходов, которые описаны в стандарте МЭК 61131-7, позволяет реализовать подобный алгоритм контроля и поиска на базе ПЛК [9]. Аналогичный алгоритм контроля может быть реализован на программно-аппаратных ресурсах верхнего уровня систем SCADA.

Библиографический список

1. Economides M.J., Wood D.A. The state of natural gas // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2009. – Vol. 1. – No. 1. – P. 1–13.
2. Исследование погрешности сведения баланса газа в системе магистральных газопроводов / Б.С. Ильченко, А.А. Прищепо, И.С. Ивасютяк, И.А. Прищепо, В.В. Инкулис // Проблемы машиностроения. – 2010. – Т. 13, № 1. – С. 76–79.
3. Arpino F., Dell’Isola M., Ficco G., Vigo P. Unaccounted for gas in natural gas transmission networks: Prediction model and analysis of the solutions // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2014. – Vol. 17, No. 6. – P. 58–70.
4. Даев Ж.А. Автоматизированная система контроля сведения баланса газа на основе методов нечеткой логики // Вестник МГТУ «Станкин». – 2018. – Т. 46, № 3. – С. 131–135.
5. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.
6. Комарцова Л.Г., Максимов А.В. Нейрокомпьютеры. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 400 с.
7. Ярушкина Н.Г. Основы нечетких и гибридных систем. – М.: Финансы и статистика, 2009. – 320 с.
8. Ruan D., Kerre E.E. Fuzzy implication operators and generalized fuzzy method of cases // Fuzzy Sets and Systems. – 1993. – Vol. 54. – P. 23–37.
9. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и инструменты / под ред. проф. В.П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 256 с.

Сведения об авторах

Даев Жанат Ариккулович – доктор философии, кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры «Системы автоматизации производств» Оренбургского государственного университета, г. Оренбург, e-mail: zhand@yandex.ru

Султанов Наиль Закиевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматизации производств» Оренбургского государственного университета, г. Оренбург, e-mail: sultanov@mail.osu.ru

В.В. Носков

ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОБОГРЕВА ЗДАНИЙ

В данной статье рассмотрено построение модели, позволяющей принимать решения об эффективности и объемах вторичного использования тепловой энергии (остаточной энергии пара после его использования в целях производственной деятельности) для сопутствующих производственному процессу нужд. Особенностью задачи, рассматриваемой в статье, является ограниченность набора данных, на основании которых может осуществляться принятие управленческих решений. Исследование строится на базе статистической модели.

Ключевые слова: модель, энергоэффективность, управление, прогнозирование.

V.V. Noskov

ENGINE TEST AUTOMATION

In this article discusses the construction of a model that makes it possible to make decisions about the efficiency and volumes of secondary use of thermal energy (residual energy of steam after its use for production purposes) for the needs of the production process. A feature of the problem considered in the article is the limited data set on the basis of which management decisions can be made. The study is based on a statistical model.

Keywords: model, energy efficiency, management, forecasting.

Одним из производств, потребляющих большое количество тепловой энергии, является производство строительных конструкций из бетона. Технологический процесс требует большого количества пара, который после использования для производственных нужд несет в себе большое количество тепловой энергии и может применяться для отопления зданий или производства горячей воды (ГВС). Однако остаточная энергия пара зависит от «загрузки» технологического оборудования. В связи с этим появляется задача поддержания температуры отапливаемого помещения и ГВС. Кроме того, при большом количестве энергии, получаемой с производства, сброс избытков пара является крайне нежелательным.

Существующие способы решения задачи управления. В статье [1] рассматриваются основные принципы построения моделей управления тепловыми производственными процессами, особенно-

стью которых является нелинейность, запаздывание по времени и инертность звеньев регулирования.

В силу того что ряд параметров для объекта не поддается контролю, его математическое описание выполняется в упрощенной форме в виде нелинейных дифференциальных уравнений. Также стоит отметить наличие неполных и неточных параметров объекта регулирования. Поэтому для таких систем необходимо применить принципы нечеткого управления. В этом случае для регулирования необходимо применение нечеткого логического регулятора.

Другой математический подход описан в статье [2]. Здесь рассматривается параметрическая оптимизация регулятора с использованием алгоритма обучения нейронной сети на основе метода Нелдера–Мида. При этом эффективным способом регулирования автоклавов является использование нейронных ПИД-регуляторов.

Также существует подход, который предполагает создание математической модели системы теплоснабжения зданий, которая учитывает изменения температуры внутри помещения в зависимости от температуры окружающей среды и параметров носителя тепла [3], а также подход, основанный на превентивной выработке управляющего воздействия с учетом инертности системы [4].

Описание объекта управления. Полученная тепловая энергия для выбранного объекта является побочной тепловой продукцией производственного процесса. Особенностью этого процесса является его сменный цикл работы, который зависит от производственного плана, в котором определяется необходимое количество продукции. Поэтому в зависимости от загруженности производственного плана возникает проблема эффективного управления тепловой энергией, которая направляется к потребителям. В том случае если готовой продукции получается больше, чем обычно, возникает проблема большого количества вторичного тепла. В связи с этим необходимо говорить об эффективной утилизации этого тепла либо правильного его перераспределения. В тех случаях когда продукции получается меньше, чем обычно, возникает нехватка тепловой энергии, уходящей к потребителю, которая восполняется подпиточным контуром от котельной, что является неэффективным использованием тепловой энергии объекта.

Схема работы. Для удешевления энергетических ресурсов на предприятии АО «ПЗСП» была разработана и внедрена установка по производству вторичной тепловой энергии от группы автоклавов (рисунок). В ее состав входят 8 больших и 3 малых автоклава. Они используются для непосредственного производства строительных

материалов. В установки загружают строительные смеси и подают пар с котельной (K). В ходе технологического процесса материал подвергается «высушиванию», также происходит процесс получения вторичной тепловой энергии, которая утилизируется в специальном теплообменнике Alfa Laval ($ТО$). Он напрямую связан с потребителями тепловой энергии: система отопления и ГВС производственных участков и офисных помещений. Также на выходе автоклава установлен регулировочный клапан для подмешивания теплоносителя из котельной.

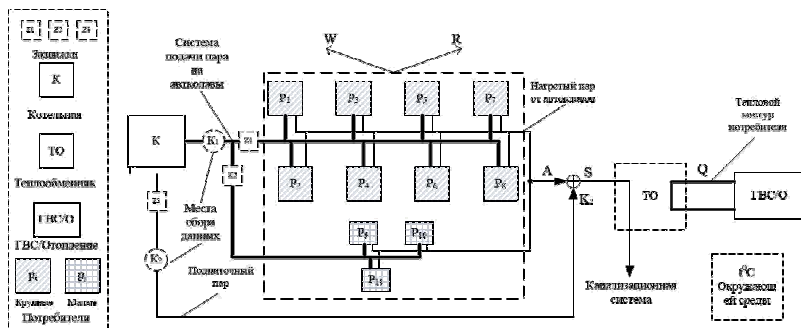


Рис. Схема получения и использования вторичной тепловой энергии

На схеме в местах 1 и 2 обозначены места сбора данных тепловой энергии. Позиция 1 обозначает количество тепловой энергии, которое непосредственно уходит на автоклавы. Позиция 2 – это тепловая энергия, которая направляется на выход автоклав.

Математическое описание. Изменение объема тепловой энергии на стороне потребителя зависит от тепловой энергии, которая направляется в теплообменник. Данная зависимость может быть представлена выражением

$$Q(t) = f(S(t)), \quad (1)$$

где $Q(t)$ – объем потребления тепловой энергии системами ГВС/Отопления, Гкал; $S(t)$ – объем тепловой энергии, которая направляется в теплообменник, Гкал.

Изменение $S(t)$ во многом зависит от полученной энергии автоклава, а также от подаваемой тепловой энергии котельной:

$$S(t) = f(A(t) + K_2(t)), \quad (2)$$

где $A(t)$ – объем тепловой энергии на выходе группы автоклавов, Гкал; $K_2(t)$ – объем тепловой энергии на выходе, которая является подпиткой для группы автоклавов, Гкал.

Тепловую энергию, передающуюся от автоклавов, можно представить как сумму изменений вторичной тепловой энергии:

$$A(t) = f([P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) + P_5(t) + P_6(t) + P_7(t) + P_8(t)] + [P_9(t) + P_{10}(t) + P_{11}(t)]), \quad (3)$$

где $P_1(t), P_2(t), P_3(t), \dots, P_{11}(t)$ – объем вторичной тепловой энергии на выходе каждого автоклава, Гкал.

Стоит заметить, что объем тепловой энергии, который направляется на вход группы автоклавов, не равен объему тепловой энергии на выходе группы автоклавов ($K_1(t) \neq A(t)$), так как часть тепла расходуется на технологический процесс производства строительных материалов:

$$A(t) = f(K_1(t) - W(t)), \quad (4)$$

где $W(t)$ – объем тепловой энергии, который расходуется на технологические процессы получения строительных материалов, Гкал; $K_1(t)$ – объем тепловой энергии, который направляется на вход группы автоклавов, Гкал.

Подставив выражения (3) и (4) в (1) можно записать общую формулу зависимости изменения тепловой энергии для потребителя:

$$A(t) = f([P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) + P_5(t) + P_6(t) + P_7(t) + P_8(t)] + [P_9(t) + P_{10}(t) + P_{11}(t)] + K_2(t)) \quad (5)$$

Для решения поставленных задач приведены условия оптимальной работы системы:

$$\begin{cases} Q(t) \rightarrow Q_s(t), \\ K_2 \rightarrow 0, \\ A(t) \rightarrow A_0(t), \\ R(t) \rightarrow 0, \end{cases} \quad (6)$$

где $Q_s(t)$ – заданное/оптимальное значение потребления тепловой энергии для систем ГСВ/Отопления, Гкал; $A_0(t)$ – заданное/оптимальное значение вторичной тепловой энергии, которое необходимо для нормальной работы теплообменника, Гкал; $R(t)$ – объем вторичной тепловой энергии, который является переработкой группы автоклавов, Гкал.

Причем зависимость энергии, которая направляется в теплообменник, можно выразить так:

$$S(t) = f(A_0(t) + R(t)). \quad (7)$$

В тех случаях, когда система работает в режиме повышенной производительности вторичной тепловой энергии, выражения (6) имеют следующий вид:

$$Q(t) \gg Q_3(t), K_2(t) \rightarrow 0, A(t) \gg A_0(t), R(t) \gg 0, S(t) = f(A_0(t) + R(t)). \quad (8)$$

Условия для работы системы при недостатке тепла от автоклавов описывается следующими условиями:

$$Q(t) \ll Q_3(t), K_2(t) > 0, A(t) \ll A_0(t), R(t) = 0, S(t) = f(A_0(t) + K_2(t)). \quad (9)$$

Из приведенных рассуждений видно, что задача управления распределением теплоносителя может быть поставлена и решена, и на ее основе повышена эффективность работы систем теплоснабжения.

Библиографический список

1. Соловьев В.А., Черный С.П. Оптимизация распределения функций принадлежности при синтезе нечеткого регулятора для систем управления тепловыми процессами // Информатика и системы управления. – 2003. – № 1(5). – С. 73–82.
2. Дунаев М.П., Куций Н.Н. Параметрическая оптимизация автоматической системы регулирования автоклава с двумя пиднейрорегуляторами // Вестник Иркут. гос. техн. ун-та. – 2017. – № 4 (123) (21). – С. 67–74.
3. Федоров С.С. Автоматизация процесса управления системой теплоснабжения зданий при зависимом присоединении к тепловым сетям // Научный альманах. – 2015. – № 9(11). – С. 870–874.
4. Использование динамических предиктивных моделей для управления техническими системами с инертностью / Л.А. Мыльников [и др.] // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2018. – № 26. – С. 77–91.

Сведения об авторе

Носков Владислав Викторович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-17-1м, г. Пермь, e-mail: noskov_v_v_@mail.ru

И.Д. Белоновская, А.В. Еркулев, Р.Р. Погадаева

**УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЫ РАБОЧЕГО
ОРГАНА ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ: НАЗНАЧЕНИЕ,
КОНСТРУКЦИЯ, ПРИНЦИП РАБОТЫ**

В данной статье рассмотрены: назначение, конструкция и принцип работы устройств автоматической смены рабочего органа промышленных роботов.

Ключевые слова: автоматизация, рабочий орган, промышленный робот.

I.D. Belonovskaya, A.V. Erkulev, R.R. Pogadaeva

**THE DEVICE OF AUTOMATIC CHANGE OF WORK
ON INDUSTRIAL ROBOTS: THE PURPOSE, DESIGN,
WORKING PRINCIPLE**

This article describes the purpose, design and principle of operation of devices for automatic change of the working body of industrial robots.

Keywords: automation, working body, industrial robot.

При переналадке оборудования с ЧПУ происходит не только перепрограммирование, но и замена применяемых инструментов и технологической оснастки. Для промышленных роботов (манипуляторов) переналадка может быть связана с заменой рабочего органа (РО) [1].

Основные параметры захватных устройств (ЗУ) приведены в действующем нормативном документе: ГОСТ 26063 – 84 «Роботы промышленные. Устройства захватные. Типы, номенклатура основных параметров, присоединительные размеры». В данном стандарте указаны рекомендуемые присоединительные размеры мест соединения ЗУ с фланцем промышленных роботов. Но Стандарт не распространяется на автоматически заменяемые захватные устройства [2]. На территории Российской Федерации для устройств автоматической смены рабочего органа действует ГОСТ Р 60.3.0.1 – 2017/ИСО 11593:1996 «Национальный стандарт Российской Федерации. Роботы и робототехнические устройства. Промышленные манипуляционные роботы. Системы автоматической смены рабочего органа. Термины, определения и представление характеристик».

Многие современные предприятия занимаются разработкой и модернизацией системы автоматической смены рабочего органа. Подобные системы рассматриваются на конференциях и симпозиумах [2]. Институтами рассматриваются проблемы прикладной механики устройств автоматической смены РО ПР. Пример схемы установки РО приведен на рис. 1.

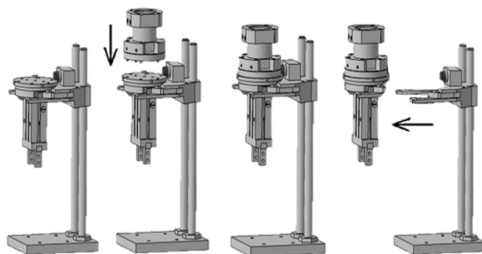


Рис. 1. Системы автоматической замены РО и схема его установки

Основными задачами применения устройства автоматической смены рабочего органа (УАСРО) являются: снижение вспомогательного времени операций, а также повышение гибкости робототехнической системы. Данное устройство является технически сложным, поэтому требований ГОСТ 26063 – 84 недостаточно. Обобщенная конструкция УАСРО показана на рис. 2.

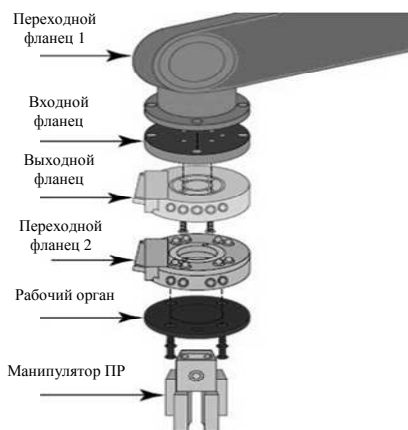


Рис. 2. Конструкция устройства автоматической смены рабочего органа промышленного робота

Как видно на рис. 2, УАСРО состоит из входного и выходного фланца, а также из переходных фланцев со стороны манипулятора и рабочего органа.

Переходный фланец 1 нужен для установки УАСРО на фланце манипулятора ПР. Он должен иметь возможность установки на различных роботах без проведения дополнительных модификаций. Во время работы робота и смены рабочего органа он остается закрепленным на манипуляторе ПР. Присоединительные размеры со стороны манипулятора ПР должны соответствовать присоединительным размерам фланцев роботов. Входной фланец – устройство, закрепленное на переходном фланце 1, служащее для базирования и жесткого закрепления выходного фланца УАСРО и передачи ему энергоносителя для работы рабочего органа. Во время работы робота и смены рабочего органа он остается закрепленным на переходном фланце 1.

Выходной фланец – устройство, подсоединяемое к входному фланцу УАСРО. Служит для базирования и жесткого закрепления переходного фланца 2, а также приема энергоносителя от входного фланца и передачи его для работы рабочего органа. При смене рабочего органа промышленного робота он остается в накопителе вместе с РО. Типовое решение входного и выходного фланцев показано на рис. 3.

Переходной фланец 2 нужен для закрепления рабочего органа ПР. При смене рабочего органа промышленного робота остается в накопителе вместе с РО. Присоединительные размеры со стороны РО должны соответствовать присоединительным размерам РО [1]. Также в комплект УАСРО может входить накопитель (рис. 4) сменных рабочих органов промышленных роботов [3].

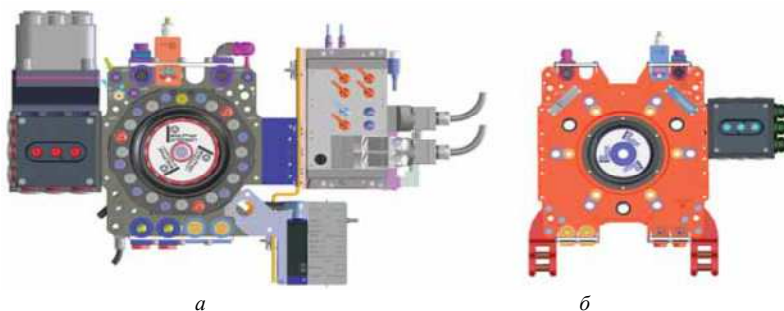


Рис. 3. Конструкция входного (а) и выходного (б) фланца УАСРО TOOL MASTER 500 для промышленных роботов: тип 91489

Принцип работы накопителя виден на рис. 1. Промышленный робот перемещается к накопителю, отключается крепление между входным и выходным фланцем, после чего выходной фланец с установленным РО остается в накопителе, а ПР устанавливает следующий РО. Есть несколько типов накопителей: однопозиционные (для каждого РО свой накопитель) и многопозиционные (подключаются к системе управления ПР и могут вместить определенное количество РО).



Рис. 4. Накопитель, (вертикальная станция крепления: тип 95815)

Применение подобной системы поможет решить некоторые вопросы, связанные с комплексной автоматизацией производства, а также повысить экономическую эффективность оборудования за счет снижения вспомогательного и межоперационного времени в роботизированных системах.

Библиографический список

1. Юревич Е.И. Основы робототехники: учеб. пособие. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2017. – 304 с.

2. 22-й Международный симпозиум DAAAM. – Т. 22. – № I.
3. WALTHER TOOL MASTER Tool changing system for industrial robots (Система смены инструментов промышленных роботов).

Сведения об авторах

Белоновская Изабелла Давидовна – профессор кафедры «Технология машиностроения, металлообрабатывающие станки и комплексы» Оренбургского государственного университета, г. Оренбург, e-mail: t251589@mail.ru

Еркулев Алексей Владимирович – магистрант Оренбургского государственного университета, гр. 18КОМП(м)ТАМ, г. Оренбург, e-mail: 1x3x2x@mail.ru

Погадаева Радифа Ромазановна – магистрант Оренбургского государственного университета, гр. 18КОМП(м)ТАМ, г. Оренбург, e-mail: orenket@mail.ru

А.В. Тетеркин, С.И. Сташков

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МИКСИНГОВОГО ОТДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖИДКИХ МОЮЩИХ СРЕДСТВ ООО «ХЕНКЕЛЬ РУС»

В процессе производства ЖМС возникает ряд проблем, затрудняющих оптимальное ведение технологического процесса в целом и особенно основной его стадии – смешения исходных сырьевых компонентов. Наиболее весомой из них является высокая степень зависимости качества готовых продуктов от показателей качества исходного сырья. Кроме того, ряд компонентов, дозируемых в аппарат смешения, осуществляется вручную оператором, поэтому человеческий фактор при совершении некоторых технологических операций в ряде случаев также отрицательно сказывается на качестве выпускаемой продукции. Успешно решить обозначенную задачу влияния показателей качества исходного сырья на качество готовых продуктов позволяет применение в контуре управления технологической стадией дозирования модельных зависимостей, например регрессионных «показателей качества исходного сырья – показатели качества продукции» и «дозирование исходных компонентов – показатели качества продукции». Для применения этого решения необходима модернизация существующих алгоритмов управления технологическим процессом производства ЖМС.

Ключевые слова: сырьевые компоненты, качество готовой продукции, аппарат смешения, контур управления, модельные зависимости, регрессионная модель, модернизация.

A.V. Teterkin, S.I. Stashkov

AUTOMATION OF THE MIXING PROCESS DEPARTMENT OF PRODUCTION OF LIQUID DETERGENTS LLC «HENKEL RUS»

In the process of manufacturing GMC, there are a number of tasks that impede the optimal management of the technological process as a whole and especially its main stage – mixing of the initial raw materials. The most significant of these is the high degree of dependence of the quality of the finished products on the quality indicators of the raw materials. In addition, a number of components, metered into the mixing apparatus, are carried out manually by the operator, therefore the presence of the human factor in the performance of certain technological operations in some cases also adversely affects the quality of the products. Successfully solve the designated problem of the influence of quality indicators of raw materials on the quality of finished products allows the use of model dependencies in the control loop of the technological stage of dosing, for example, regression "raw material quality indica-

tors - product quality indicators" and "source components dosing - product quality indicators". To apply this solution, it is necessary to modernize the existing algorithms for controlling the technological process of production of GMC.

Keywords: raw materials, finished product quality, mixing apparatus, control loop, model dependencies, regression model, modernization.

В основе технологического процесса производства ЖМС лежит метод дозирования и смешивания сыпучих и жидких компонентов при определенных условиях с соблюдением гигиенических требований микробиологической безопасности по разработанным инструкциям для каждого вида готового продукта в реакторах приготовления в автоматическом режиме.

Показатели качества ЖМС напрямую зависят от соблюдения строгого соотношения компонентов, которое задается рецептурой. Дозирование компонентов получаемой смеси осуществляется на стадии дозирования-смешивания, осуществляемом в миксере, поэтому данная стадия является основной стадией производства ЖМС¹.

Показатели, характеризующие качество продукции «Пемолукс Яблоко» и номинальные значения этих показателей сведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические требования физико-химических показателей

Показатель	Характеристики и нормы ТУ 2383-029-089589540-2011				
	Наименование продукции				
	«Пемолукс Лимон»	«Пемолукс Яблоко»	«Пемолукс Цитрусовая свежесть»	«Пемолукс Алое Вера»	«Пемолукс Ромашковый букет»
Внешний вид	Однородная прозрачная вязкая жидкость			Вязкая жидкость замутненная	
Цвет	Желтый	Зеленый	Оранжевый	Белый	Желтый
Запах	Свежий лимонный	Яблока	Цитрусовый	Свежий	Цветочный
Показатель активности водородных ионов (pH) средства, в пределах	5,0–7,0				
Массовая доля ПАВ, %, не менее	7,0			8,0	
Смываемость с посуды АПАВ, мг/дм³, не более	0,5				
Моющая способность, %, не менее	80				
Плотность при 20 °С, г/см³	1,010–1,050				

Успешно решить обозначенную задачу влияния показателей качества исходного сырья на качество готовых продуктов позволяет применение в контуре управления технологической стадией дозирования

¹ Постоянный технологический регламент на производство ЖМС ООО «Хенкель РУС».

модельных зависимостей, например регрессионных «показателей качества исходного сырья – показатели качества продукции» и «дозирование исходных компонентов – показатели качества продукции».

Расчет подобных модельных зависимостей может выполняться в некоторых внешних по отношению к существующей системе управления программных средствах. Однако для использования управляющих воздействий (например, скорректированных процентных значений компонентов в смеси или корректирующих добавок на стандартизацию продукции на потоке) необходима модернизация существующих алгоритмов управления технологическим процессом производства ЖМС. Суть модернизации алгоритмов заключается в организации возможности ввода значений процентного соотношения компонентов в автоматизированном режиме.

Кроме этого, необходима модернизация существующей технологической схемы. Суть этой модернизации заключается в введении в систему дополнительного исполнительного оборудования для дозирования некоторых компонентов в автоматическом режиме, которые на данный момент дозируются оператором вручную.

Для построения моделей системы управления были произведены следующие действия:

1. Все неформализованные значения показателей закодированы числом в соответствии со следующим правилом:

- соответствует – «1»;
- не соответствует – «0».

2. Кодирование всех значений столбцов проведено по формуле

$$\bar{z}_i = \frac{z_i - z_{\min}}{z_{\max} - z_{\min}}.$$

3. Сформированы три матрицы.

Первая матрица – матрица показателей качества сырьевых компонентов

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_9],$$

где x_1 – массовая доля АПАВ лаурилэтоксисульфата натрия (Тексапон 70); x_2 – показатель pH лаурилэтоксисульфата натрия (Тексапон 70); x_3 – показатель pH кокоамидопропилбетаина Tego Betain F 50; x_4 – показатель pH Parmetol A28S; x_5 – содержание железа в воде деминерализованной; x_6 – показатель pH воды деминерализованной; x_7 – электропроводимость

воды деминерализованной; x_8 – жесткость воды деминерализованной; x_9 – содержание микроорганизмов воды деминерализованной.

В табл. 2 представлен фрагмент кодированных значений показателей качества исходного сырья. Полностью таблица кодированных значений показателей качества исходных сырьевых компонентов представлена в приложении.

Таблица 2

Кодированные значения показателей качества
исходного сырья (фрагмент)

№	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9
1	0,4396	0,2500	0,7000	0,6000	0,6667	0,4286	0,0000	0,2000	0,4667
2	0,7271	0,3049	0,7000	0,4000	0,0000	0,5714	0,0345	0,2000	0,5000
3	0,3313	0,1220	0,7000	0,4000	0,3667	0,2857	0,0345	0,2000	0,0000
4	0,3250	0,3232	0,7000	0,1000	0,4333	0,2857	0,5172	0,2000	0,0333
5	0,4521	0,0244	0,7000	0,0000	0,3333	0,2857	0,4828	0,4000	0,7667
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
223	0,4167	0,2683	0,3000	0,1000	0,7667	0,5714	0,7931	0,3000	0,3333

Вторая матрица – матрица управляющих воздействий

$$M = [m_1, m_2, \dots, m_8],$$

где m_1 – процентное содержание воды деминерализованной; m_2 – процентное содержание хлорида натрия (соль индустриальная); m_3 – процентное содержание кокоамидопропилбетаина Tego Betain F 50; m_4 – процентное содержание лаурилэтоксисульфата натрия Тексапон N70 (Техарон N70); m_5 – процентное содержание Parmetol A 28 S; m_6 – процентное содержание денатоний бензоата 2,5 % водного раствора (Bitrex); m_7 – процентное содержание отдушки; m_8 – процентное содержание красителя Iragon Brilliant Blue liquid.

В табл. 3 представлен фрагмент кодированных значений управляющих воздействий.

Таблица 3

Кодированные значения показателей управляющих воздействий

№	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8
1	0,9977	0,0043	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,4670	0,1110	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
3	0,4670	0,1110	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
4	0,3497	0,3344	0,9485	0,9485	0,9485	0,9485	0,9485	0,9485
5	0,5219	0,0996	0,8971	0,8971	0,8971	0,8971	0,8971	0,8971
...	...	...	...	...	...	...	...	...
223	0,7379	0,0546	0,4923	0,4923	0,4923	0,4923	0,4923	0,4923

Третья матрица – матрица показателей качества готового продукта «Пемолукс Яблоко»

$$Y = [y_1, y_2, y_3, y_4],$$

где y_1 – ВМС смеси; y_2 – рН смеси; y_3 – вязкость смеси; y_4 – плотность смеси при 20 °С, г/см³.

В табл. 4 представлен фрагмент кодированных значений показателей качества готовой продукции. Полностью таблица кодированных значений показателей качества готовой продукции представлена в приложении.

Таблица 4

Кодированные значения показателей качества
готовой продукции

№	y_1	y_2	y_3	y_4
1	0,4400	0,2300	0,6680	0,1667
2	0,4800	0,6500	0,5680	0,3333
3	0,6200	0,6200	0,0000	0,3333
4	0,7400	0,7000	0,2800	0,5000
5	0,7000	0,6300	0,3000	0,3333
...	...	...	...	...
223	0,2600	0,5300	0,1480	0,3333

4. Построена прямая модель прогнозирования качества. Ее математический вид

$$Y = aX.$$

Для ее вычисления были проделаны следующие операции:

1. Найдены коэффициенты корреляции. Для их вычисления использовалась следующая формула:

$$a = (X^T X)^{-1} X^T Y.$$

Для обработки автоматизации обработки информации использовалась программа MatLab. Ниже представлен код для вычисления коэффициентов корреляции:

```
X=xlsread('Данные.xls','X');
```

```
Y=xlsread('Данные.xls','Y');
```

```
A=((X'*X)^-1)*X'*Y.
```

В результате выполнения программы получена матрица коэффициентов прямой модели, представленная в табл. 5.

Таблица 5

Матрица коэффициентов прямой модели

№	y_1	y_2	y_3	y_4
x_1	0,058963	-0,00412	-0,00893	0,008101
x_2	0,001826	0,146921	0,010364	0,0853
x_3	0,064778	0,058823	0,064577	0,038151
x_4	0,062829	0,06237	0,050758	0,039055
x_5	0,251008	0,254612	0,177926	0,137103
x_6	-0,05808	0,221243	0,101047	0,03021
x_7	0,215056	0,246767	0,115052	0,141813
x_8	0,356516	0,158065	0,148442	0,122765
x_9	0,015234	0,04348	0,203323	0,081474

На основании полученной матрицы коэффициентов составлены системы уравнений регрессии прямой модели. Система уравнений имеет вид

$$\begin{cases} Y_1 = 0,0589X_1 + 0,0018X_2 + 0,0647X_3 + 0,0628X_4 + 0,2510X_5 - 0,0580X_6 + \\ \quad + 0,2150X_7 + 0,3565X_8 + 0,0152X_9, \\ Y_2 = -0,0041X_1 + 0,1469X_2 + 0,0588X_3 + 0,0623X_4 + 0,2546X_5 + 0,2212X_6 + \\ \quad + 0,2467X_7 + 0,1580X_8 + 0,0438X_9, \\ Y_3 = -0,0089X_1 + 0,0103X_2 + 0,0645X_3 + 0,0507X_4 + 0,1779X_5 + 0,1010X_6 + \\ \quad + 0,1150X_7 + 0,1484X_8 + 0,2033X_9, \\ Y_4 = 0,0081X_1 + 0,0853X_2 + 0,0381X_3 + 0,0390X_4 + 0,1371X_5 + 0,0302X_6 + \\ \quad + 0,1418X_7 + 0,1227X_8 + 0,0814X_9. \end{cases}$$

2. Проверена значимость коэффициентов по критерию Стьюдента. Вычислим остаточную дисперсию:

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{1}{223-3} \left[\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_l \\ \vdots \\ y_{68} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} b_0x_{10} + b_1x_{11} + & b_lx_{12} \\ b_0x_{20} + b_1x_{21} + & b_lx_{22} \\ \vdots & \vdots \\ b_0x_{l0} + b_1x_{l1} + & b_lx_{l2} \\ \vdots & \vdots \\ b_0x_{223,0} + b_1x_{223,1} + & b_lx_{223,2} \end{bmatrix}^T \right] \times \left[\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_l \\ \vdots \\ y_{223} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} b_0x_{10} + b_1x_{11} + & b_lx_{12} \\ b_0x_{20} + b_1x_{21} + & b_lx_{22} \\ \vdots & \vdots \\ b_0x_{l0} + b_1x_{l1} + & b_lx_{l2} \\ \vdots & \vdots \\ b_0x_{223,0} + b_1x_{223,1} + & b_lx_{223,2} \end{bmatrix} \right],$$

где $S_{\text{ост}}^2 = 0,01$.

Вычислим выборочные дисперсии:

$$S^2\{b_j\} = \frac{S_{\text{ост}}^2}{N \cdot (1 - R_{x_j0}^2)} = C_{jj} S_{\text{ост}}^2, \quad t_j = \frac{|b_j|}{S_{\text{ост}} \sqrt{C_{jj}}}, \quad t(q) = 1,97.$$

Сравниваем полученные критерии Стьюдента с табличным значением. Все полученные значения больше табличного, поэтому все коэффициенты признаются значимыми.

3. Проверена адекватность модели по критерию Фишера. Проверяем адекватность уравнения по критерию Фишера:

$$F = \frac{S_{\text{общ}}^2 \{y\}}{S_{\text{ост}}^2},$$

$$\text{где } S_{\text{общ}}^2 \{y\} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{58} (y_i - \bar{y})^2 = 0,0193, \quad F = 1,93.$$

Сравниваем полученное значение критерия с табличным $F_{200,8}(1-q) = 1,98$. Расчетное значение не превышает табличное, следовательно, полученное уравнение регрессии адекватно.

5. Построена обратная модель для расчета управляющих воздействий. Ее математический вид

$$M = aY.$$

Для ее вычисления были проделаны следующие операции:

1. Найдены коэффициенты корреляции. Для их вычисления использовалась следующая формула:

$$a = (Y^T Y)^{-1} Y^T M.$$

Для обработки автоматизации обработки информации использовалась программа MatLab. Ниже представлен код для вычисления коэффициентов корреляции:

`M=xlsread('Данные.xls','M');`

`Y=xlsread('Данные.xls','Y');`

`A=((Y'*Y)^-1)*Y'*M;`

В результате выполнения программы получена матрица коэффициентов обратной модели, представленная в табл. 6.

Таблица 6

Матрица коэффициентов обратной модели

№	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8
Y1	0,079885	0,237489	0,495347	0,495347	0,495347	0,495347	0,495347	0,495347
Y2	0,222087	0,188728	0,422544	0,422544	0,422544	0,422544	0,422544	0,422544
Y3	0,313184	0,017242	-0,00249	-0,00249	-0,00249	-0,00249	-0,00249	-0,00249
Y4	0,287782	-0,21765	0,752492	0,752492	0,752492	0,752492	0,752492	0,752492

На основании полученной матрицы коэффициентов составлены системы уравнений регрессии обратной модели. Система уравнений имеет вид

$$\begin{cases} M_1 = 0,0798Y_1 + 0,2220Y_2 + 0,3131Y_3 + 0,2877Y_4 \\ M_2 = 0,2374Y_1 + 0,1877Y_2 + 0,0172Y_3 - 0,2176Y_4 \\ M_3 = 0,4953Y_1 + 0,4225Y_2 - 0,0024Y_3 + 0,7524Y_4 \\ M_4 = 0,4953Y_1 + 0,4225Y_2 - 0,0024Y_3 + 0,7524Y_4 \\ M_5 = 0,4953Y_1 + 0,4225Y_2 - 0,0024Y_3 + 0,7524Y_4 \\ M_6 = 0,4953Y_1 + 0,4225Y_2 - 0,0024Y_3 + 0,7524Y_4 \\ M_7 = 0,4953Y_1 + 0,4225Y_2 - 0,0024Y_3 + 0,7524Y_4 \\ M_8 = 0,4953Y_1 + 0,4225Y_2 - 0,0024Y_3 + 0,7524Y_4 \end{cases}$$

2. Проверена значимость коэффициентов по критерию Стьюдента. Вычислим остаточную дисперсию:

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{1}{223-3} \left[\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_l \\ \vdots \\ y_{68} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} b_0x_{10} + b_1x_{11} + & b_1x_{12} \\ b_0x_{20} + b_1x_{21} + & b_1x_{22} \\ \vdots & \vdots \\ b_0x_{l0} + b_1x_{l1} + & b_1x_{l2} \\ \vdots & \vdots \\ b_0x_{223,0} + b_1x_{223,1} + b_1x_{223,2} \end{bmatrix} \right]^T \times$$

$$\times \left[\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_l \\ \vdots \\ y_{223} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} b_0x_{10} + b_1x_{11} + & b_1x_{12} \\ b_0x_{20} + b_1x_{21} + & b_1x_{22} \\ \vdots & \vdots \\ b_0x_{l0} + b_1x_{l1} + & b_1x_{l2} \\ \vdots & \vdots \\ b_0x_{223,0} + b_1x_{223,1} + b_1x_{223,2} \end{bmatrix} \right],$$

где $S_{\text{ост}}^2 = 0,021$.

Вычислим выборочные дисперсии:

$$S^2\{b_j\} = \frac{S_{\text{ост}}^2}{N \cdot (1 - R_{xj0}^2)} = C_{jj} S_{\text{ост}}^2, \quad t_j = \frac{|b_j|}{S_{\text{ост}} \sqrt{C_{jj}}}, \quad t(q) = 1,67.$$

Сравниваем полученные критерии Стьюдента с табличным значением. Все полученные значения больше табличного, поэтому все коэффициенты признаются значимыми.

3. Проверена адекватность модели по критерию Фишера. Проверим адекватность уравнения по критерию Фишера:

$$F = \frac{S_{\text{общ}}^2 \{y\}}{S_{\text{ост}}^2},$$

$$\text{где } S_{\text{общ}}^2 \{y\} = \frac{1}{N-1} \sum_{l=1}^{58} (y_l - \bar{y})^2 = 0,04935, \quad F = 2,35.$$

Сравниваем полученное значение критерия с табличным значением $F_{200,4(I-q)} = 2,42$. Расчетное значение не превышает табличное, следовательно, полученное уравнение регрессии адекватно.

Библиографический список

1. Голубятников В.А., Шувалов В.В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности: учебник для техникумов. – 2-е изд. – М.: Химия, 1985. – 352 с.

2. Дудников Е.Г., Казаков А.В. Автоматическое управление в химической промышленности: учебник для вузов / под ред. Е.Г. Дудникова. – М.: Химия, 1987. – 368 с.

Сведения об авторах

Тетеркин Александр Владимирович – магистрант кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТП-18-1м, г. Пермь, e-mail: ateterkin@inbox.ru.

Сташков Сергей Игоревич – старший преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: staschoff@rambler.ru

М.А. Работников, А.С. Александрова

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ЧАСТОТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ИССЛЕДУЕМЫХ КАНАЛОВ

В данной статье представлены результаты идентификации реального технологического объекта управления – температуры на выходе из печи установки каталитического риформинга – путем проведения эксперимента с периодическими синусоидальными воздействиями. По результатам проведенной идентификации построена и протестирована на реальных данных имитационная модель объекта.

Ключевые слова: идентификация, комплексная частотная характеристика.

M.A. Rabotnikov, A.S. Aleksandrova

IDENTIFICATION OF THE CONTROL OBJECT BY EXPERIMENTAL FREQUENCY CHARACTERISTICS OF THE STUDIED CHANNELS

This article contains the results of the identification of a real technological object (temperature control at the exit from the furnace of a catalytic reforming unit) using experiment with the periodic sinusoidal influence. According to the results of the identification, a simulation model of the object was built and tested on real data.

Keywords: identification, complex frequency response.

Одним из способов идентификации динамических объектов управления является воздействие на объект периодическими синусоидальными сигналами и последующая обработка результатов эксперимента с получением комплексной частотной характеристике исследуемого канала передачи.

Для демонстрации данного метода рассмотрена система автоматического регулирования температуры потока газосырьевой смеси на выходе печи П-1 установки каталитического риформинга с предварительной гидроочисткой исходного сырья 35-8/300Б на предприятии ООО «Лукойл-Пермнефтеоргсинтез».

Регулирование температуры газосырьевой смеси осуществляется посредством изменения подачи топливного газа в печь. Основным

регистрируемым источником возмущения данной системы автоматического регулирования является изменение давления потока из печи П-1 в реактор Р-1. На рис. 1 представлена схема объекта.

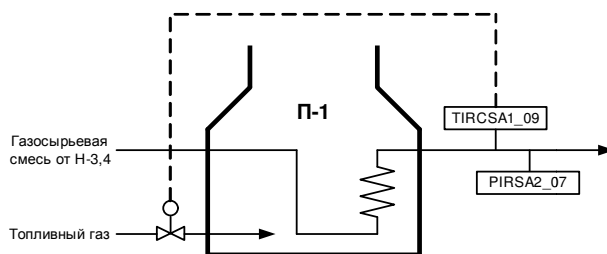


Рис. 1 Печь П-1

Для идентификации объекта сняты тренды технологических параметров (давление потока газосырьевой смеси, управляющий сигнал и температура потока газосырьевой смеси), представленные на рис. 2.

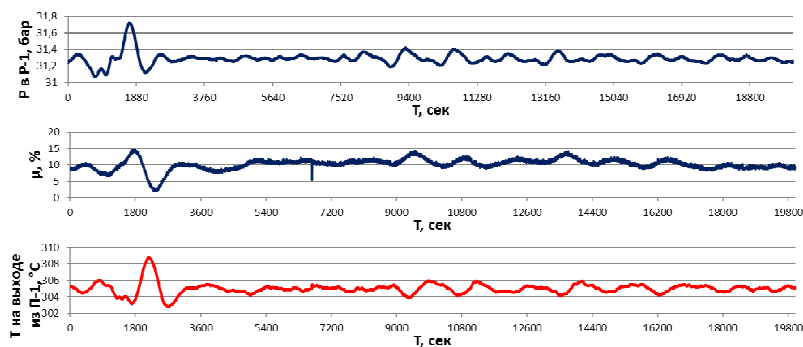


Рис. 2. Тренды исследуемых каналов

По полученным данным обучена динамическая автокорреляционная нейронная сеть, аппроксимирующая поведение объекта управления в системе автоматического регулирования температуры потока газосырьевой смеси [1]. На данной сети проведен вычислительный эксперимент с целью получения комплексной частотной характеристики исследуемого канала «давление потока газосырьевой смеси – температура потока газосырьевой смеси» с замкнутым контуром по каналу управления (рис. 3).

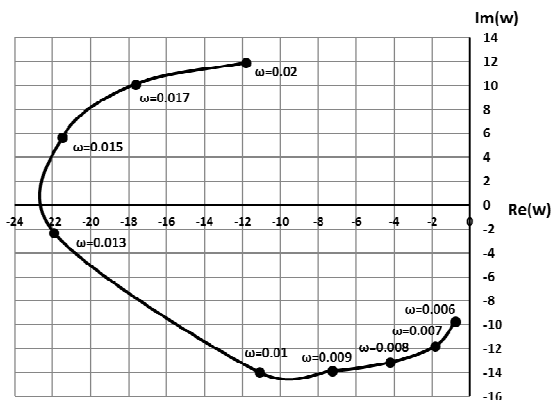


Рис. 3. КЧХ по каналу «давление потока газосырьевой смеси – температура потока газосырьевой смеси»

По полученной частотной характеристике методом наименьших квадратов произведена структурная и параметрическая идентификация объекта управления, результаты которой представлены в таблице [2].

Результаты идентификации объекта

Канал передачи	Параметры передаточной функции		
	k	T, C	τ, c
$W_{y\mu}(s)$ – управляющий сигнал – температура газосырьевой смеси на выходе из П-1	0,2164	56,96	33,13
$W_{y\lambda}(s)$ – давление газосырьевой смеси на выходе из П-1 – температура газосырьевой смеси на выходе из П-1	-6,9423	9,8	74,41

По полученным передаточным функциям объекта управления построена имитационная модель, прогнозирующая значение температуры газосырьевой смеси на выходе из П-1 по изменению давления потока. На рис. 4 и 5 представлены схема модели объекта и результат ее тестирования, соответственно.

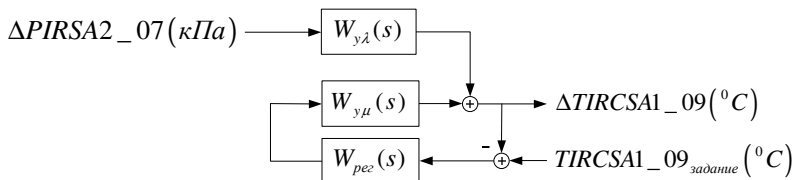


Рис. 4. Имитационная модель САР-температуры газосырьевой смеси

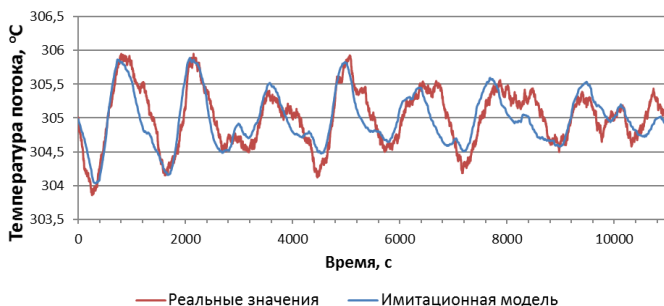


Рис. 5. Тестирование имитационной модели

Для оценки достоверности имитационной модели по результатам тестирования определено среднее квадратичное отклонение значений температуры потока газосырьевой имитационной модели от соответствующих реальных, составившее 0,372 °C.

Библиографический список

1. Шумихин А.Г., Бояршинова А.С. Идентификация сложного объекта управления по частотным характеристикам, полученным экспериментально на его нейросетевой динамической модели // Автоматика и телемеханика. – 2015. – № 4. – С. 125–134.
2. Работников М.А., Александрова А.С. Программная реализация частотной идентификации управляемого технологического объекта // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы всерос. науч.-практ. конф. – Пермь.: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. – Т. 1. – С. 332–335.

Сведения об авторах

Работников Михаил Алексеевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТП-18-1м, г. Пермь, e-mail: rabotnikov@pstu.ru

Александрова Анна Сергеевна – старший преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: boyarshinovaann@gmail.com

И.А. Шмидт, К.А. Мехоношин, А.С. Монахов, Д.В. Елисеев

АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ НЕСООТВЕТСТВИЯМИ В ПРОЦЕССЕ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ

Настоящая статья посвящена проблемам учета несоответствий на входном контроле в условиях предприятия. Для этого был рассмотрен существующий бизнес-процесс управления несоответствиями. В ходе работы проведен анализ существующего процесса и выявлены его недостатки. Для их устранения предложено интегрировать информационные системы. Был разработан новый бизнес-процесс с учетом использования рекомендованного к внедрению решения, что позволило решить все существующие проблемы.

Ключевые слова: автоматизация, бизнес-процесс, PLM-система, MES-система, веб-портал, управление несоответствиями, управление конфигурацией.

I.A. Shmidt, K.A. Mehonoshin, A.S. Monahov, D.V. Eliseev

AUTOMATION OF THE BUSINESS PROCESS OF NON-CONFORMITY MANAGEMENT IN THE PROCESS OF INPUT CONTROL

This article is devoted to the problems of accounting for inconsistencies in the input control of the enterprise. To this end, an existing business process of non-conformity management was reviewed. During the research, an analysis of the existing process was carried out and its shortcomings were revealed. To eliminate them, it was proposed to integrate information systems. A new business process was developed taking into account the use of the solution recommended for implementation, which allowed to solve all existing problems.

Keywords: automation, business process, product lifecycle management, manufacturing execution system, web portal, non-conformity management, configuration management.

Процессы контроля качества и управления несоответствиями являются неотъемлемой частью процесса управления конфигурацией изделий [1]. Требования к конфигурации изделий описаны в нормативной документации (НД) и конструкторской документации (КД) [1]. Предприятия, производящие наукоемкие изделия, для управления конструкторской документацией применяют PLM-систему. В то же время существует необходимость в хранении и анализе данных о качестве изделий, а также в организации взаимодействия с поставщи-

ками. Данные по качеству должны быть связаны с данными об изделии в PLM-системе.

Изготовление наукоемких изделий осуществляется в условиях развитой кооперации. Детали и сборочные единицы (ДСЕ) изготавливаются на различных предприятиях и поступают головному изготовителю для сборки. Необходимо обеспечить входной контроль поступающих ДСЕ. Модель бизнес-процесса (БП) управления несоответствиями на входном контроле ДСЕ по состоянию «как есть» в нотации eEPC показана на рис. 1.

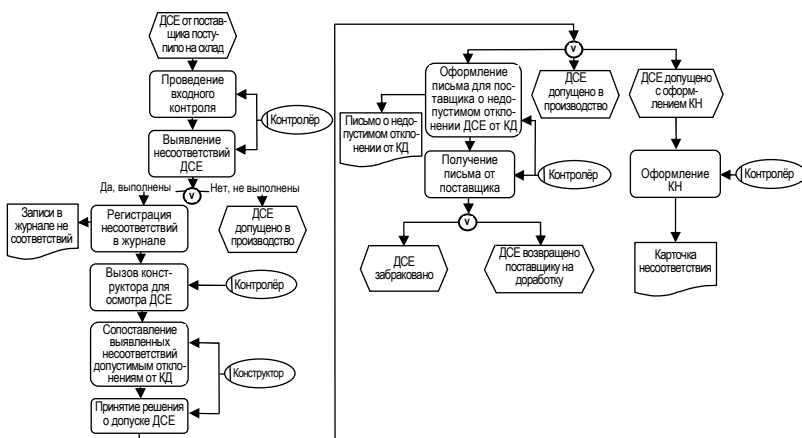


Рис. 1. Модель бизнес-процесса управления несоответствиями на входном контроле ДСЕ по состоянию «как есть»

ДСЕ поступает на склад головного изготовителя изделий. Полученное от поставщика ДСЕ может не соответствовать требованиям КД. Поэтому в обязательном порядке необходимо проведение входного контроля. Задачей контролёра является выявить несоответствия, внести соответствующие записи в бумажный журнал и сообщить об этом конструктору, который в свою очередь принимает решение о допуске ДСЕ. Если несоответствия являются допустимыми по КД, то ДСЕ отправляется в дальнейшее производство. В противном случае конструктор указывает, какие действия необходимо предпринять контролёру. Если несоответствия не влияют на характеристики изделия, то ДСЕ может быть допущено, но только с оформлением карточки несоответствий (КН). В случае если конструктором было выявлено недопустимое несоответствие, контролёр оформляет письмо по

ставщику о найденном отклонении. В результате процесса взаимодействия с поставщиком ДСЕ либо забраковывается, либо возвращается поставщику на доработку.

В ходе анализа модели БП «как есть» выявлены следующие недостатки: 1) записи о качестве дублируются в нескольких документах; 2) хранение записей о качестве и документооборот выполняется в бумажном виде; 3) для решения по несоответствиям необходимо привлекать конструктора для осмотра ДСЕ на складе; 4) длительный процесс принятия решения по ДСЕ у поставщика и как следствие задержка сроков сборки конечного изделия.

Способом повышения эффективности существующего БП является переход к электронному документообороту (ЭДО). Для решения выявленных проблем предлагается использовать взаимодействующие PLM-систему, MES-систему и веб-портал (рис. 2).

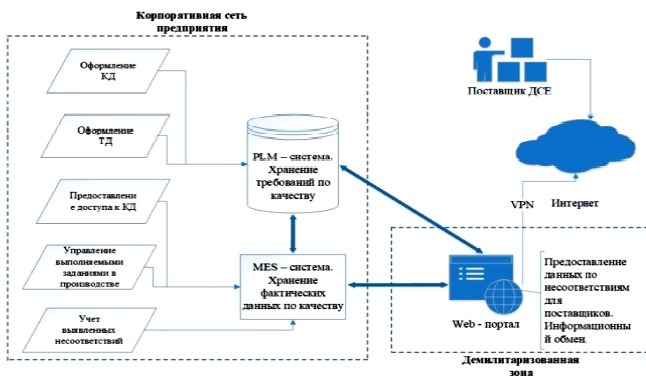


Рис. 2. Схема взаимодействия информационных систем

PLM-система – организационно-техническая система, обеспечивающая управление информацией об изделии и связанных с ним процессах на протяжении всего его жизненного цикла. Основными её функциями являются управление КД и технологической документацией (ТД), а также хранение требований по качеству. В свою очередь, MES-система – исполнительная система, необходимая для управления и оптимизации производственной деятельности.

В данном случае предполагается использование MES-системы как системы, интегрированной в PLM-систему, что значительно расширит функционал последней, образуя единое информационное пространство (ЕИП) [2]. MES-система необходима для управления производством,

пооперационного учета выполнения операций технологического процесса, хранения и учета фактических данных по качеству как производимых ДСЕ, так и ДСЕ, заказываемых у поставщиков [1].

Необходимо организовать оперативное взаимодействие с поставщиками и обеспечить информационную безопасность. Для того, чтобы решить поставленную задачу, в дополнение к PLM- и MES-системам, образующим ЕИП, необходимо развернуть веб-портал, способствующий быстрой и информативной связи с поставщиками по защищенным каналам связи [3].

После интеграции всех предлагаемых элементов взаимодействия структура БП управления несоответствиями при входном контроле будет выглядеть так, как показано на рис. 3.

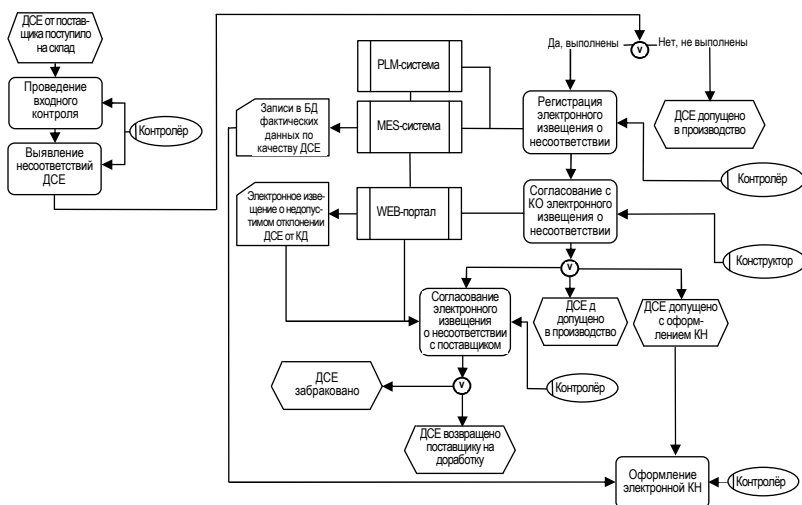


Рис. 3. Модель бизнес-процесса управления несоответствиями на входном контроле ДСЕ по состоянию «как должно быть» (после интеграции элементов взаимодействия)

Модифицированный БП подразумевает использование ЭДО на стадии согласования несоответствия и принятия решения по ДСЕ. На входном контроле контролеру необходимо зарегистрировать электронное извещение (ЭИ) о несоответствии в MES-системе. Электронное извещение содержит фактические данные о ДСЕ, прикрепленные фотографии обнаруженного несоответствия и его описание. Таким образом, формируется база данных (БД), которая содержит данные

о всех поступивших на склад ДСЕ. На следующем шаге происходит согласование ЭИ с конструкторским отделом (КО), который принимает решение по ДСЕ. Эффективное взаимодействие контролера с КО реализовано при помощи веб-портала. В случае, если было принято решение не допускать ДСЕ в производство, контролером так же посредством веб-портала осуществляется взаимодействие с поставщиком для конечного согласования ЭИ.

В результате введения рассмотренных в статье информационных новшеств: использование согласованной связи «конструктор-контролер-поставщик» и создание единой БД, были решены ранее выявленные проблемы и как следствие повышена эффективность существующего БП.

Библиографический список

1. Шмидт И.А., Бормалев С.В., Мехоношин К.А. Концепция управления конфигурацией и организацией технологической подготовки сборочного производства авиационных двигателей // Вестник Моск. авиац. ин-та. – 2017. – Т. 24, № 2. – С. 123–131.

2. Схиртладзе А.Г., Скворцов А.В., Чмырь Д.А. Проектирование единого информационного пространства виртуальных предприятий / ред. Рожкова М.А. – М.: Высшая школа: Абрис, 2012. – С. 616.

3. Сафонов А.Л. Совершенствование процесса управления несоответствиями на основе применения информационных технологий // Вестник Брян. гос. техн. ун-та. – 2016. – Т. 49, № 1. – С. 146–152.

Сведения об авторах

Шмидт Игорь Альбертович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shmidt@msa.pstu.ru

Мехоношин Константин Анатольевич – начальник отдела развития информационных технологий АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, e-mail: mekhonoshin-ka@avid.ru

Монахов Александр Сергеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-15-16, г. Пермь, e-mail: alex.m1996@yandex.ru

Елисеев Дмитрий Викторович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-15-16, г. Пермь, e-mail: dmitriy.elisvv@gmail.com

Р.Р. Нарбеков, Д.А. Даденков, И.Н. Грибков

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА

Статья посвящена разработке автоматизированной системы управления испытательного стенда авиационных двигателей. Представлена схема испытательного стенда, выполнен анализ и выбор архитектуры системы управления. Разработаны основные контуры управления исполнительными механизмами стенда. Рассмотрены этапы разработки программного обеспечения и проведены полунатурные испытания проектируемой системы.

Ключевые слова: автоматизация, контроллер, испытательный стенд, программное обеспечение, контур регулирования, полунатурные испытания.

R.R. Narbekov, D.A. Dadenkov, I.N. Gribkov

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM OF MANAGEMENT OF A TEST STAND

The article describes the development of an automated control system for the test bench of aircraft engines. The scheme of the test stand is presented, the analysis and the choice of the control system architecture is made. The main control circuits of the stand actuators have been developed. The stages of software development are considered and hill-tests of the designed system are carried out.

Keywords: automation, controller, test bench, software, control loop, hill-tests.

Испытательный стенд как объект управления представляет собой сложную систему наземных испытаний авиационных двигателей и позволяет исследовать различные характеристики объекта испытания для совершенствования конструктивных и эксплуатационных параметров семейства перспективных авиационных двигателей (АД) нового поколения.

Основными проблемами испытательного стенда в настоящее время являются ограниченная область проведения экспериментальных режимов, сложность реализации точного регулирования параметров, возникновение ошибок, так как управление всей системой испытаний осуществляется оператором в ручном режиме. В связи с этим были проанализированы существующая структура и состав стенда, измерительная и управляющая подсистемы, используемые

микропроцессорные средства, программное и алгоритмическое обеспечение стендовой системы испытаний для проектирования в дальнейшем системы оптимального автоматического управления исполнительными механизмами стенда. Авторы ставили целью разработку автоматизированной системы управления стендом, которая позволит обеспечить устойчивость управления, автоматизировать операции и расширить диапазон возможных испытаний, сократить время на проведение испытаний.

Стенд испытания авиационных двигателей [1] представляет собой сложную систему (рис. 1).

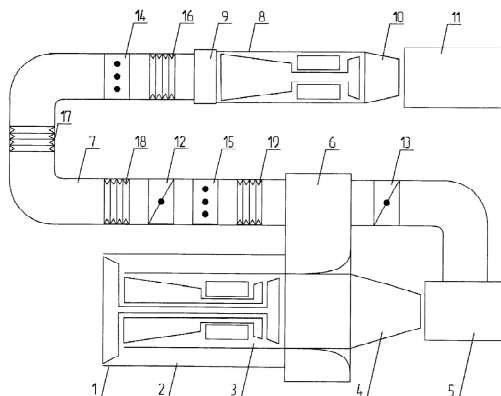


Рис. 1. Стенд испытания авиационных двигателей: 1 – технологический двигатель (ТД) без смещения потоков наружного и внутреннего контуров; 2 – наружный контур двигателя; 3 – внутренний контур двигателя; 4 – сопло; 5 – выхлопной воздуховод; 6 – устройство для отбора воздуха в воздуховод; 7 – воздуховод; 8 – вход испытываемого объекта; 9 – входное устройство; 10 – сопло испытываемого объекта; 11 – выхлопной воздуховод; 12 – заслонка воздуховода, обеспечивающая изменение расхода воздуха, подаваемого на вход объекта испытаний; 13 – заслонка выхлопа, обеспечивающая изменение расхода воздуха, перепускаемого в выхлопной воздуховод; 14, 15 – клапаны, обеспечивающие экстренное изменение расхода воздуха, перепускаемого в атмосферу; 16–19 – компенсаторы, обеспечивающие компенсацию тепловых расширений и возможных угловых перемещений воздуховода

При выборе архитектуры автоматизированной системы управления испытательным стендом (АСУИС) были проанализированы три основных варианта ее реализации. Предложено выбрать следующие критерии, которые формируются на основе экспертных оценок:

- 1) надежность функционирования системы;
- 2) трудозатраты при реализации системы;

3) качественные показатели регулирования.

Вариант 1. На контроллере АСУИС реализуется полный функционал управления стендом с формированием необходимых сигналов для осуществления запуска всех систем, аварийного и штатного останова АСУИС. Датчики и исполнительные механизмы подключены к контроллеру напрямую.

Достоинства: весь цикл испытаний, расчеты переменных и алгоритмы управления реализуются на одном контроллере, повышается надежность функционирования системы, ее быстродействие.

Недостатки: потребуются существенная переработка и коррекция существующих схем подключения датчиков и исполнительных механизмов, а также полная реализация алгоритмов и циклограмм режимов запуска и останова на контроллере АСУИС, увеличивается трудоемкость проектирования и технической реализации;

Вариант 2. На контроллере АСУИС реализуется управление рабочими режимами АСУИС. Формирование сигналов запуска систем, аварийных и штатных остановов осуществляется существующим контроллером стенда до выхода на рабочий режим, затем каналы измерения и управления переключаются на контроллер АСУИС.

Достоинства: используются существующие отлаженные и утвержденные схемные и алгоритмические решения запуска и останова системы, уменьшается трудоемкость проектирования, повышается надежность функционирования системы.

Недостатки: сложность технической реализации переключения измерительных и управляющих каналов с контроллеров стенда на контроллер АСУИС во время проведения испытания (увеличивается трудоемкость проектирования и технической реализации, понижается надежность функционирования системы).

Вариант 3. На контроллере АСУИС реализуется управление рабочими режимами стенда. Формирование сигналов запуска систем осуществляется контроллером стенда. Датчики и исполнительные механизмы не подключаются физически к контроллеру АСУИС (реализуется программно).

Достоинства:

1) используются существующие отлаженные и утвержденные схемные и алгоритмические решения запуска и останова испытаний, что сокращает сроки разработки и внедрения АСУИС в состав стенда (уменьшается трудоемкость проектирования, повышается надежность функционирования системы);

2) расчеты переменных и алгоритмы управления реализуются на контроллере АСУИС (повышается надежность, быстродействие и качественные показатели регулирования системы);

Недостатки:

1) сложность программного и алгоритмического обеспечения параллельной (совместной) работы контроллера АСУИС и существующих контроллеров стенда, увеличение трудоемкости проектирования, понижение надежности и быстродействия системы;

2) датчики и исполнительные механизмы не подключаются к контроллеру АСУИС напрямую, понижается надежность, быстродействие и качественные показатели регулирования АСУИС.

Исходя из приведенного сравнительного анализа и результатов оценки по выбранным критериям для реализации на испытательном стенде рекомендуется вариант номер три, поскольку в данном случае низкое быстродействие компенсируется крайне низкими трудозатратами, при этом обеспечивается высокая надежность системы за счет дублирующего контроля всех параметров системы. На основании полученных результатов была организована архитектура проектируемой системы управления, представленная на рис. 2.

В составе испытательного стенда имеется ряд исполнительных механизмов, и при разработке системы управления решается задача регулирования основных параметров процесса испытания: давления и температуры на входе в объект испытания, а также линии рабочих режимов (ЛРР) технологического двигателя. Выделим три основных контура регулирования:

1. Контур регулирования температуры – регулирование температуры на входе в объект испытания осуществляется изменением режимов работы ТД.

2. Контур регулирования давления на входе в объект испытаний – регулирование осуществляется с помощью заслонки выхлопа.

3. Контур поддержания ЛРР ТД – регулирование осуществляется с помощью заслонки выхлопа.

Исполнительных механизмов стенда не хватает для одновременного управления обозначенными параметрами, и в контурах регулирования реализовано селективное переключение каналов управления с определенным приоритетом. При этом наивысшим приоритетом обладает контур поддержания линии рабочих режимов (ЛРР). Вследствие описанных особенностей реализации регулирования парамет-

ров достигается лишь некое компромиссное качество управления. Реализация контуров регулирования выполнена в среде программирования National Instruments LabView.

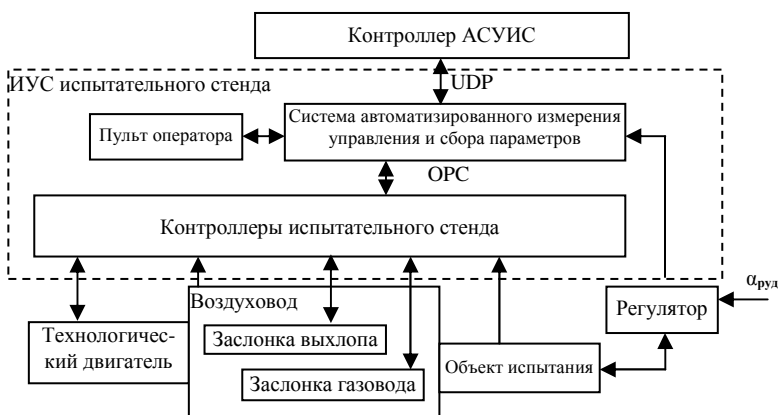


Рис 2. Архитектура проектируемой АСУИС

При разработке программно-технических комплексов проекта очень часто используются различные методы моделирования [2]. Без имитационного моделирования просто невозможно обойтись, когда на этапе проектирования необходимо провести тестирование и отладку разработанных модулей и алгоритмов системы автоматического управления до её внедрения непосредственно на объекте.

На рис. 3 представлена функциональная схема системы полунатурного моделирования. Система состоит из двух основных частей: моделирующей программы и управляющей подсистемы (АСУИС).

Моделирующая программа представляет собой математическую модель, которая описывает реакцию объекта автоматизации на различные управляющие воздействия [3]. Необходимость создания имитационной модели объясняется наличием в АСУИС сложных алгоритмов управления, требующих тестирования и отладки. Модель разработана в среде программирования MatLab/Simulink и включает в себя упрощенную математическую модель испытательного стенда и объекта испытаний [4]. Интеграция разработанной модели в систему полунатурного моделирования выполнена на персональном компьютере с использованием среды NI LabView и программного пакета NI VeriStand.

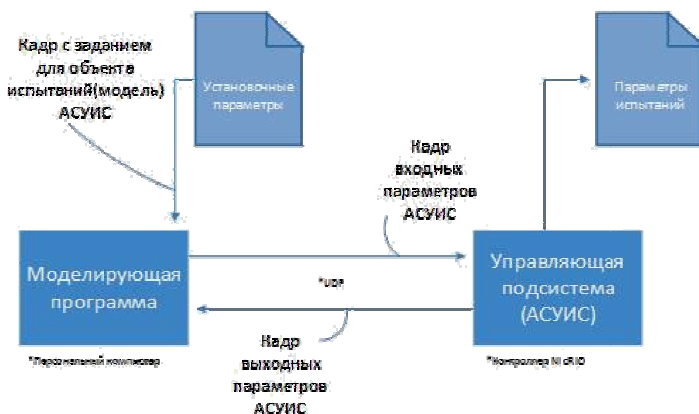


Рис. 3. Функциональная схема системы полунатурного моделирования

Управляющая подсистема формирует сигналы управления исполнительными механизмами стенда на основе разработанных алгоритмов регулирования технологических параметров испытания. Управляющая подсистема реализована на программируемом логическом контроллере National Instruments.

Результатом проектирования является программное и алгоритмическое обеспечение, объединяющее в себе алгоритмы управления исполнительными механизмами стенда и математическую имитационную модель, обеспечивающую работу системы управления в составе стенда полунатурного моделирования. Авторами представлен процесс разработки программного обеспечения для автоматизации испытательного стенда. Разработанная автоматизированная система управления испытательным стендом в настоящее время находится на этапе отладки и тестирования и готовится к внедрению на предприятии АО «ОДК-Авиадвигатель».

Библиографический список

1. Пат. 2622588 Рос. Федерация: МПК G01M 15/14 (2006.01) Стенд испытания газогенераторов турбореактивных двухконтурных двигателей / А.А. Иноземцев, М.Д. Галлямов, А.В. Двинских, И.Н. Грибков, А.И. Полулях; заявитель и патентообладатель АО «ОДК-Авиадвигатель». – № 2016122365; заявл. 06.06.2016; опубл. 16.06.17, Бюл. № 17. – 7 с.

2. Характеристика проблем и методов моделирования объектов [Электронный ресурс]. – URL: <https://poznayka.org/s22170t1.html>

3. Шмидт И.А., Нарбеков Р.Р., Монахов А.С. Разработка сервисной программы для автоматизации полунатурных испытаний // Автоматизированные системы управления и информационные технологии. – 2018. – С. 271–276.

4. Шмидт И.А., Попов А.С., Нарбеков Р.Р. Автоматизация процесса моделирования в программном пакете MatLab/Simulink // Науч.-техн. вестник Поволжья. – 2018. – № 12. – С. 303–306.

Сведения об авторах

Нарбеков Ренат Рашидович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-15-16, г. Пермь, e-mail: redbik2009@yandex.ru

Даденков Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: dadenkov@mail.ru

Грибков Игорь Николаевич – заместитель начальника отдела проектирования автоматизированных систем управления, АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, e-mail: gribkov@avid.ru

О.В. Горшков, А.Ю. Москоков

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИНВЕСТИРОВАНИИ ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ

В данной статье рассмотрен способ автоматизации обработки информации при формировании инвестиционных программ геолого-технических мероприятий нефтедобывающих компаний. Для повышения доходности инвестиций предложен способ поиска оптимальных программ в области геолого-технических мероприятий при добыче нефти. Поиск оптимальных программ осуществляется с помощью разработанного веб-сервиса, который позволяет формировать наборы эффективных программ на основе данных пользователя.

Ключевые слова: автоматизация, информация, интернет, веб-сервис, добыча нефти, инвестиции.

O.V. Gorshkov, A.Yu. Moskokov

AUTOMATION INFORMATION PROCESSING FOR INVEST- MENT IN RESERVOIR ENGINEERING

This article describes a method of automating the processing of information in the formation of investment programs of reservoir engineering of oil producing companies. In order to increase the profitability of investments, a method has been proposed to search for optimal programs in the field of reservoir engineering in oil production. The search for optimal programs is carried out with the help of a developed web service that allows you to create sets of effective programs based on user data.

Keywords: automation, information, Internet, web service, oil production, investments.

В современном мире, где существует большая конкуренция, а решения принимаются молниеносно, требуется очень грамотно обращаться с деньгами. Нужно уметь выбирать такие направления вложения капитала, которые в дальнейшем принесут хорошую прибыль и приумножат вложения. Такие вложения называются инвестициями.

Инвестиционная деятельность – вложение инвестиций и осуществление практических действий с целью получения прибыли и (или) достижения другого полезного эффекта [1].

Однако зачастую требуется определиться не с одним конкретным объектом из небольшого набора возможных вариантов, а с не-

сколькими позициями из огромного количества возможных. Кроме того, полученный доход от данных инвестиций может быть разным. В таком случае важно определить тот набор возможных путей инвестиций, который даст максимальный эффект.

Задачи формирования Портфелей и Программ возникают практически во всех сферах человеческой деятельности в моменты, когда надо принять решение выбора из исходного Пула потенциальных объектов инвестирования некоторого предпочтительного набора этих объектов инвестирования, который обеспечит достижение желаемых целей.

Эффективным Портфелем/Программой является такой набор объектов инвестирования выбранных из рассматриваемого Пула потенциальных объектов инвестирования, который для заданного уровня инвестиций обеспечивает максимально возможное достижение целей инвестора. Класс таких задач сводится к решению классической задачи о ранце (рюкзаке).

В силу того что из рассматриваемого Пула, включающего N потенциальных объектов инвестирования, можно сформировать $2^N - 1$ Портфелей/Программ, то поиск эффективных Портфелей и Программ при увеличении $N > 40$ является довольно трудоемкой задачей, и поэтому для ее решения, как правило, используют различные приближенные методы, которые не гарантируют нахождения эффективных решений. Если будет сформирован неэффективный Портфель/Программа, то инвестор в общем случае понесет прямые финансовые потери: либо в форме перерасхода инвестиций, либо в форме недополученного дохода, либо в форме их комбинации.

Особенно важно формировать эффективные портфели и программы, когда требуется принимать решения по инвестированию, оперируя довольно большими денежными суммами. В данной ситуации ошибка в выборе объекта инвестирования может привести к довольно большим суммам недополученного дохода. Также полезно рассматривать множество эффективных решений, а не один набор, поскольку при рассматривании одного набора не видна картина за пределами решения и потенциальный инвестор не видит картины в целом.

Одним из ярких примеров такой программы инвестирования являются геолого-технологические мероприятия (ГТМ). Такие мероприятия подразумевают под собой работы, которые осуществляются на месторождениях для поддержания уровня добычи нефти, поддержания плановых и наращивания выше прежних уровней добычи

нефти. От других работ на месторождениях ГТМ отличаются тем, что в результате увеличивается объем добываемой нефти.

В данной области инвестирования существует проблема определения того набора геолого-технических мероприятий для различных скважин, который даст максимальный эффект. На сегодняшний день довольно многие компании не имеют инструмента для отбора кандидатов для формирования именно оптимальной программы инвестирования. Данные компании вручную, без компьютерных средств помощи в принятии решения и анализа отбирают ГТМ для внедрения, основываясь лишь на положительности чистой приведенной стоимости (NPV) мероприятия. В данной ситуации зачастую рассматривается не множество эффективных решений, а лишь одно или группа, отобранная случайным образом. Как правило, данная ситуация возникает из-за отсутствия инструментов поиска наиболее оптимальных и эффективных программ инвестирования. Исправить данную ситуацию можно с помощью специального веб-сервиса решения классической задачи «О рюкзаке» типа 0-1 с помощью особого алгоритма.

Задача о рюкзаке (или задача о ранце) – NP-полная задача комбинаторной оптимизации (NP-задача – задача, у которой есть ответ, найти который трудно, но проверить можно за полиномиальное время, которое зависит от объема входных данных). Своё название получила от конечной цели: уложить как можно большее число ценных вещей в рюкзак при условии, что вместимость рюкзака ограничена [2]. Основные математические формулы приведены в выражении:

$$\max \sum_{i=1}^n v_i x_i, \text{ с ограничением } \sum_{i=1}^n w_i x_i \leq W, x_i \in \{0,1\}.$$

В данном выражении v_i – ценность; w_i – вес. Для выбора элемента используется переменная двоичного решения x_i .

При поиске эффективности программ ГТМ возникает задача о рюкзаке типа 0-1 *Knapsack Problem*. В такой задаче предмет можно положить лишь один раз.

В определенных пределах N данная задача может быть разрешена с помощью метода ветвей и границ.

Однако большие вычислительные мощности для решения перебором или сложная математика доступна не каждому предпринимателю, директору, руководителю отдела или рядовому сотруднику.

Именно поэтому был разработан специальный веб-сервис, который является системой поддержки принятия решений (СППР). Система поддержки принятия решений – компьютерная система, исполь-

зубая для поддержки различных видов деятельности при принятии решений в ситуациях, где невозможно или нежелательно иметь автоматизированную систему, которая полностью выполняет весь процесс решения [3].

На нефтедобывающем предприятии, как правило, существуют данные о наборе технико-экономических показателей оценки ГТМ, на основе которых осуществляется поиск эффективной программы в зависимости от бюджета. Именно используя эти данные, представленные в виде файла определенного формата, и метод ветвей и границ, веб-сервис отбирает эффективные программы за довольно короткое время. Данный веб-сервис имеет простой интерфейс и позволяет получить ответ в виде файла с набором эффективных портфелей. Сервис позволяет решать задачи с количеством кандидатов до полутора тысяч на всём диапазоне инвестиций. В настоящее время ведется работа по отображению в виде интерактивного графика. На данном графике планируется отобразить кривую возможных инвестиций в зависимости от поставленного бюджета и ожидаемый доход. Планируется возможность укрупненного просмотра вокруг определенного бюджета. Это позволит лицу, принимающему решение, увидеть возможность многократного увеличения прибыли при небольшом увеличении инвестирования.

Для работы с сервисом не нужно обладать большими знаниями в области математики, а тем более в области комбинаторики и математического анализа. Все сложные математические операции осуществляются на вычислительном сервере веб-сервиса.

Веб-сервис представляет собой кабинет пользователя, в котором он может загрузить файл с исходными данными и получить ответ; страницу баланса, на которой пользователь может пополнять и отслеживать свой баланс; страницу изменения основных данных; форму для связи со службой поддержки (рис. 1).

Кроме загрузки файла для анализа через веб-интерфейс также планируется возможность загрузки файла через специальный API.

Структурно веб-сервис состоит из следующих компонентов: 1) клиентская часть; 2) серверная часть, включающая обработчик загружаемого файла, а также база данных пользователей; 3) удаленный сервер вычислений.

Более наглядно структура веб-сервиса представлена на рис. 2.

Между каждым из компонентов происходит обмен данными (исх. – исходные, рез. – результат, ответ).

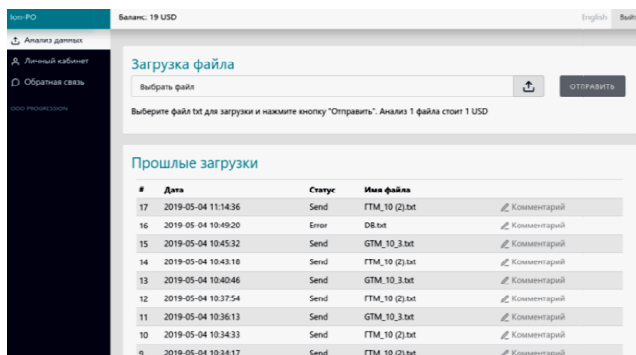


Рис. 1. Интерфейс веб-сервиса

При создании клиентской части сервиса была использована библиотека «Vue.js», что значительно сократило время разработки, а также позволило сделать современный кабинет пользователя, разделы которого подгружаются без перезагрузки страницы. Кроме того, все запросы на серверную часть осуществляются асинхронно, что значительно повышает скорость работы веб-приложения.

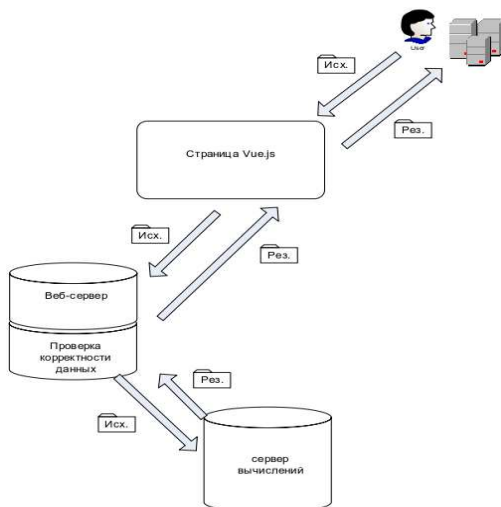


Рис. 2. Структура веб-сервиса

Веб-сервер осуществляет обмен запросами с вычислительным сервером и клиентской частью веб-приложения, а также проверку входных данных на соответствие заданному формату.

Осуществление всех математических вычислений на отдельном сервере позволяет существенно увеличить скорость, поскольку данный сервер оптимизирован под математические операции.

Таким образом, данный сервис помогает быстро принять правильные решения при формировании программ проектов геолого-технических мероприятий и получить дополнительную прибыль предприятиям, внедрившим данный способ отбора кандидатов для инвестирования. Данная прибыль может быть направлена на увеличение объемов разработки месторождений, а также увеличить доход в долгосрочной перспективе. Использование данного ресурса является хорошим конкурентным преимуществом компании.

Поскольку существует довольно много сфер человеческой деятельности, где существуют задачи формирования оптимальных портфелей, то целесообразно расширить функционал данного веб-сервиса за пределы области геолого-технических мероприятий.

Библиографический список

1. Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений: Федер. закон от 25 февраля 1999 г. Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.
2. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Элементы теории графов. – М., 2001 – 28 с.
3. Ginzberg M.I., Stohr E.A. Decision support systems: issues and perspectives // Processes and Tools for Decision Support. H.G. Sol. – Amsterdam: North-Holland Pub. Co, 1983. – P. 9–31 с.

Сведения об авторах

Москоков Александр Юрьевич – старший преподаватель кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: moskokov@mail.ru

Горшков Олег Владимирович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-15-16, г. Пермь, e-mail: gorshkovoleg97@gmail.com

М.А. Марьин, А.Н. Лыков

АВТОМАТИЗАЦИЯ СТЕНДА ПРОВЕРКИ ЖЕСТКОСТИ КОМПЕНСАТОРА

В данной статье рассмотрен технологический процесс стендовых испытаний компенсатора. Для решения выявленных проблем предложено использовать разработанную автоматизированную систему. К предложенной системе подобрано необходимое оборудование и SCADA-система. Результатом разработки системы является усовершенствование технологического процесса стендовых испытаний компенсатора и повышение качества самих испытаний.

Ключевые слова: автоматизация, испытания, компенсатор, система, управление.

M.A. Marin, A.N. Lykov

TESTING COMPENSATOR RIGIDITY STAND AUTOMATION

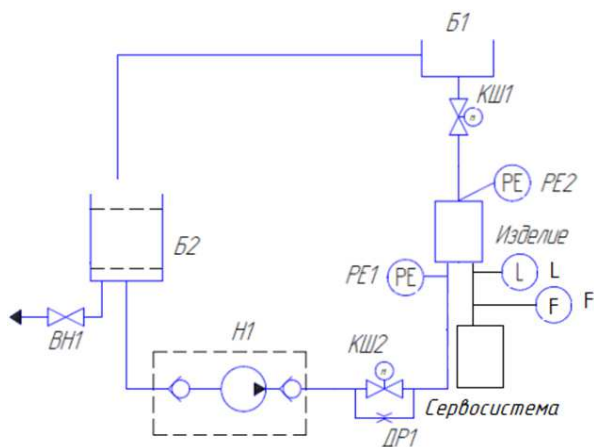
In this article, the technological process of bench tests of the compensator was considered, problems were identified. To solve the identified problems, it was proposed to use the developed automated system. The necessary equipment, and SCADA system were selected for the proposed system. The result of the development of the system is the improvement of the technological process of bench testing compensator and the improvement of the quality of the tests.

Keywords: automation, testing, compensator, system, control.

Ракетный двигатель состоит из множества деталей и перед пусками подвергается испытаниям, так же как и каждый его компонент. Компенсатор является одним из компонентов топливной системы ракетного двигателя и предназначен для подачи газов и жидкостей при продольных и поперечных сжатиях и растяжениях вследствие поворота двигателя.

Стендовые испытания компенсатора являются длительными и трудозатратными, необходимо следить и контролировать сразу несколько параметров, также возможны ошибки при заполнении документации по результатам испытаний. Все это негативно сказывается на качестве и достоверности результатов испытаний. Проблема является актуальной в связи с развитием отрасли ракетостроения и высокими требованиями к качеству изделий.

Проектируемая автоматизированная система управления (АСУ) стенда (рис. 1) предназначена для автоматизации процесса управления исполнительными механизмами стенда при подготовке, проведении стендовых испытаний компенсатора, получения достоверной информации в количественном (значения параметров) и качественном (текущее состояние исполнительных механизмов) виде о состоянии стенда.



Стендовые испытания компенсатора представляют собой последовательность нескольких циклов аналогичных действий, таких как:

- времени.

253

ния предлагается использовать сервопривод и линейный механизм, основанный на червячной передаче и винтовой передаче для преобразования вращательного движения вала сервопривода в линейное перемещение концевика штока линейного механизма (рис. 2).

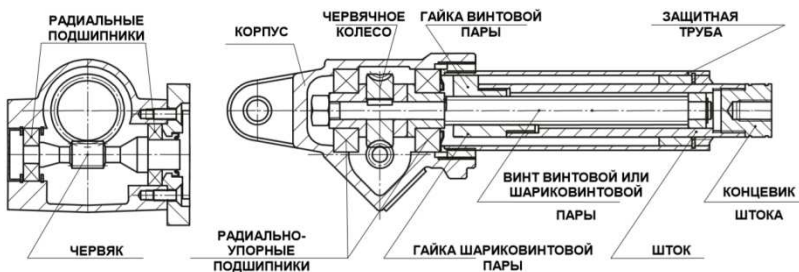


Рис. 2. Линейный механизм

Принцип действия линейного механизма: вал сервопривода жестко связан с червяком, червяк с помощью зубчатой передачи передает вращение на червячное колесо, которое в свою очередь жестко связано с винтом винтовой пары, далее с помощью винтовой передачи происходит движение гайки винтовой пары вдоль винта, которая толкает шток и концевик штока.

Замер усилия при сжатии и растяжении. После того как компенсатор был растянут или сжат на нужную величину, происходит замер усилия с помощью тензометрического датчика, его показания отправляются в SCADA-систему, где проверяются на соответствие требуемым значениям и записываются в отчет по испытаниям, в случае отклонения значения усилия от нормированного подается сигнал ошибки, и в отчете указывается, что компенсатор данное испытание не прошел.

Проверка на герметичность. При испытаниях на герметичность компенсатор заполняют водой под давлением 14 атм. и выдерживают в течение 5 мин. Для проведения испытаний на герметичность требуется обеспечение и контроль давления подаваемой в компенсатор жидкости, для этого в системе установлены шаровые краны до и после компенсатора для его изоляции, насос-опрессовщик для создания необходимого давления и два датчика давления. Если показания датчиков давления становятся ниже установленных, то считается, что компенсатор не выдерживает установленное в нем давление и теряет

герметичность, в таком случае подается сигнал ошибки и в отчете указывается, что компенсатор данное испытание не прошел.

Для испытаний на герметичность требуется достижение давления 14 атм., при этом превышение давления свыше 0,1 атм. недопустимо, поэтому необходима разработка алгоритма управления насосом. Алгоритм предусматривает 3 режима работы насоса:

1. Постоянный режим – используется при давлении в системе до 12,8 атм. Насос работает постоянно, без пауз и остановок.
2. Импульсный режим – используется при давлении в системе от 12,8 до 13,8 атм. Насос работает в течение 200 мс, пауза 3 с.
3. Режим коротких импульсов – используется при давлении в системе от 13,8 до 14,0 атм. Насос работает 100 мс, пауза 3 с.

Основополагающими принципами при построении системы были выбраны: стандартизация, открытость, магистральность, модульность, программная управляемость и многоуровневость.

Изучив объект управления, технологические процессы испытаний, проанализировав стандарты в области систем автоматизированного управления [1] и просчитав количество измеряемых параметров и управляемых элементов стенда, а также их тип, принято решение построить трехуровневую систему управления, причем средний уровень системы выполнить на базе платформы CompactRIO National Instruments, поскольку она получила широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря открытой архитектуре, компактным размерам и высокой механической прочности [2].

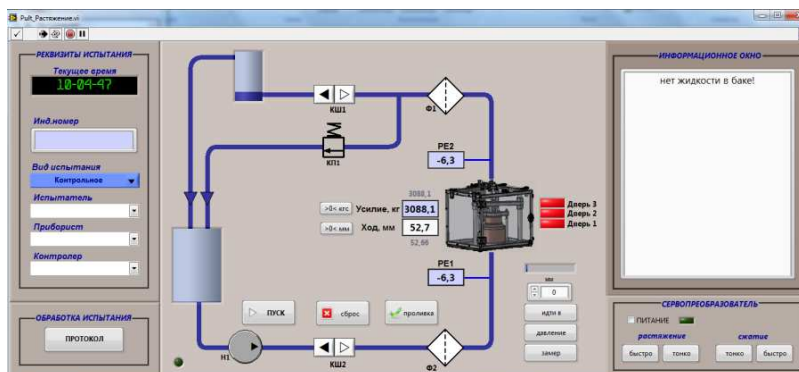


Рис. 3. Мнемосхема в LabView

В качестве прикладного программного оборудования был выбран пакет LabView (рис. 3) от National Instruments в силу полной совместимости и наличия общих стандартных библиотек с платформой CompactRIO [3].

Проектируемая система исключает влияние человеческого фактора на стендовые испытания компенсатора, а также приводит к снижению трудозатрат и времени испытаний

Библиографический список

1. Лыков А.Н, Катаев Р.В. Микропроцессорные средства автоматизации энергетических систем: учеб. пособие: в 2 ч. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017. – Ч. 2. Сети автоматизации. – 532 с.

2. Нортроп Т., Уилдермьюс Ш., Райн Б. LabView и CompactRIO: основы разработки приложений, 2009. – 305 с.

3. Автоматизированные системы для измерений [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ni.com> (дата обращения: 06.05.2019).

Сведения об авторах

Марьин Максим Андреевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-15-16, г. Пермь, e-mail: superelmarin@gmail.com

Лыков Анатолий Николаевич – кандидат технических наук, профессор кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: LYKOV45@yandex.ru

И.А. Шмидт, Е.Л. Иванова

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЯМИ

Данная статья посвящена проблеме информационного разрыва между требованиями и конструкторской документацией на предприятии. Для этого был рассмотрен существующий процесс работы с требованиями. В ходе работы проведен анализ процесса. Для решения выявленных проблем предложено перейти к электронному документообороту путем внедрения процесса управления требованиями в PLM-систему. Сделаны выводы о преимуществах использования предложенного решения.

Ключевые слова: управление требованиями, автоматизация, PLM-система, Teamcenter.

I.A. Shmidt, E.L. Ivanova

AUTOMATION OF PROCESS REQUIREMENTS MANAGEMENT

This article is devoted to the problem of information gaps between requirements and design documentation. For this, the existing process of working with the requirement was considered. In the course of the analysis of the process, identified shortcomings. To solve the problems, it is proposed to switch to electronic document management by implementing the requirements management process in the PLM-system. Conclusions about the advantages of using the proposed solution are made.

Keywords: requirements management, automation, PLM-system, Teamcenter.

Деятельность на предприятии связана с огромным потоком данных, которые сопровождают изделие на всем протяжении его жизненного цикла. Множество лиц участвуют в создании изделия, в том числе работники подразделений предприятия и территориально отдаленных мест. Чтобы ориентироваться в большом потоке данных и реализовать совместную деятельность, используется PLM-система [1]. На сегодняшний день работу с требованиями на предприятии можно разделить на несколько этапов.

Процесс формирования массива требований. Данные о пожеланиях заказчика, эксплуатантов поступают из внешнего окружения системы в виде документов – заявок на разработку или в устной форме. В результате сбора данных формируются технические требования.

На основе технических требований, в ходе совместной работы с заказчиком и эксплуатантом разрабатывается техническое задание (ТЗ) уже в формализованном виде. Данные для технического задания выбираются на основе накопленного опыта, а также мировых тенденций в двигателестроении. Разработанное техническое задание утверждается один раз и в дальнейшем, как правило, изменениям не подвергается.

Далее идет процесс разработки технических условий (ТУ). Сами ТУ являются внутренним документом компании, в них указывается более подробная информация, необходимая для разработки двигателя. Данные для формирования технических условий берут на основе ранее разработанной расчетной модели двигателя. Технические условия могут подвергаться корректировке в процессе разработки двигателя.

Технические условия являются основой для частных технических заданий (ЧТЗ). ЧТЗ разрабатываются отделами, ответственными за конкретный узел. Основная информация в ЧТЗ перетекает из технических условий, плюс отделы добавляют свои специализированные данные, необходимые для разработки. ЧТЗ так же являются внутренними документами и могут быть подвергнуты изменению в процессе проектирования. В дальнейшем на основе ЧТЗ создается конструкторская документация (КД).

Отслеживание соответствия ТЗ. Проверка и подтверждение входных проектных данных производится расчетно-экспериментальным способом, моделированием и испытаниями опытного образца в зависимости от стадии проектирования изделия. Результаты расчетно-экспериментальных работ оформляются в виде технических отчетов, актов и согласовываются, утверждаются. Далее полученные данные из технических отчетов проходят проверку соответствия ТЗ путем сравнения их с требованиями первоначально разработанного ТЗ.

В ходе анализа работы с требованиями (рис. 1) также выявлены следующие проблемы и недостатки: отсутствие единой информационной среды разработки требований и конструкторской документации; существенные затраты времени на проверку соответствия ТЗ; дублирование требований; двусмысленность и неопределенность; отсутствие смысловой нагрузки требований; отсутствие подтверждения выполнимости требований с числовыми значениями; отсутствие понимания важности каждого конкретного требования.

В целом существующий процесс работы с требованиями представляется затруднительным. Это объясняется тем, что начальные данные (ТЗ) прописаны формально, что на этапе проверки соответствия ТЗ полученным данным требуется больше рабочего времени. Помимо этого, данный подход не позволяет разбить техническое задание на единичные требования, а следовательно, отслеживать их жизненный цикл. Причиной является то, что ТЗ – утвержденный заказчиком документ, и его декомпозиция на единичные требования на данном этапе не представляется возможной.

Рис. 1. Схема существующего бизнес-процесса работы с требованиями

В качестве PLM-системы на предприятии представлена система Teamcenter производства компании Siemens. Преимущества использования Teamcenter: снижение дублирования данных, которые уменьшают требования к хранению данных; упрощение поиска данных и распределенных данных для всех нуждающихся в этой информации; быстрота, легкость просматривания модели. Это специальная функциональность в полной степени используется для верификации проведенных изменений в моделях и чертежах; обеспечения контроля модификаций и уверенности в использовании последних на текущий момент времени данных; управление сборкой и связанными между собой частями; более легкое построение и изменение электронных спецификаций (Bills of Material (BOM)); ведение истории разработки

изделия; определение отношений между требованиями, спецификациями и частями; контролируемый доступ и хранение всех инженерных данных [2].

С учетом всех изменений на рис. 2 представлена функциональная модель по состоянию «как должно быть» в нотации EPC.

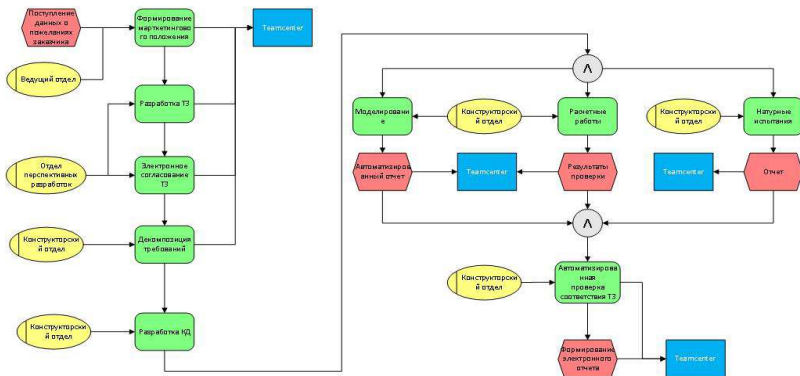


Рис. 2. Функциональная модель процесса управления требованиями по состоянию «как должно быть»

Представленная модель ориентирована на внедрение электронного документооборота. На всех этапах жизненного цикла данные будут поступать и отслеживаться в PLM-системе. PLM-система представляет собой древовидную структуру, благодаря чему решается одна из проблем – возможность декомпозиции требований. Требования к изделию подвергаются разбивке на требования более низких иерархических уровней, для того, чтобы однозначно сопоставить их сборочным единицам или деталям, входящим в состав изделия.

Также при использовании PLM-системы в результате проверки и подтверждения соответствия входных проектных данных будет происходить автоматизированная проверка соответствия ТЗ. Итогом процесса управления требованиями станет электронный отчет, включающий конкретные начальные требования и информацию о выполняемости или невыполняемости этих требований.

С целью обеспечения взаимосвязи объектов требований с выпускаемой конструкторской документацией по проектируемому изделию в системе Teamcenter необходимо доработать функционал «Книга регистрации». Книга регистрации – мастер создания объектов конструкторской документации, которая устанавливает правила присвое-

ния обозначений деталям, сборочным единицам, документам, покупным изделиям, материалам и другим объектам Teamcenter в соответствии со стандартами общества.

Доработка функционала включает в себя несколько этапов: 1) экспорт и импорт требований в систему; 2) регистрация объектов конструкторской документации и трассировка их с соответствующими требованиями; 3) создание отчета по спецификации требований.

При доработке функционала можно получить ряд выгод и преимуществ: 1) установление и формализация взаимосвязей дают возможность лучше осмыслить способы достижения установленных целей; 2) если требования прослеживаются, то становятся возможными различные способы анализа влияния; 3) растет ясность в понимании того, как поставщики вносят вклад в достижение общих целей [3].

Путем внедрения процесса управления требованиями были решены ранее выявленные проблемы и как следствие повысилась эффективность существующего процесса.

Библиографический список

1. Системы управления требованиями: что и зачем? // Практика проектирования систем. – URL: <http://edu.reqcenter.pro/?p=2433> (дата обращения: 05.04.2019).

2. Вахитов А.А., Бушина К.С., Золотухина Е.Б. Достоинства и недостатки систем по управлению требованиями // Fundamental research. – 2016. – № 6 – С. 42-46

3. Systems engineering handbook: a guide for system life cycle processes and activities / prepared by International Council on Systems Engineering (INCOSE) – 4th edition. John Wiley, Sons – 2015.

Сведения об авторах

Шмидт Игорь Альбертович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shmidt@msa.pstu.ru

Иванова Елена Леонидовна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-15-16, г. Пермь, e-mail: lenaivanova1123@mail.ru

А.М. Поздеева, В.П. Казанцев

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ БУСТЕРНОГО КОМПРЕССОРА

В данной статье предлагается решение для поддержания необходимого давления газа в центробежном компрессоре газоперекачивающего агрегата. Проведен анализ системы автоматического регулирования давления и температуры газа. Получены графики синтеза с ПД- и ПИД-регулятором.

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат, компрессор, бустер, регулирование, система автоматизированного управления.

A.M. Pozdeeva, V.P. Kazantsev

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF BOOSTER COMPRESSOR

This article proposes a solution for maintaining the required gas pressure in the centrifugal compressor of the gas compressor unit. The analysis of the system of automatic control of pressure and temperature of the gas. Synthesis graphs with PD and PID regulators were obtained.

Keywords: gas pumping unit, compressor, booster, regulation, automatic control system.

В разработке газовых месторождений выделяют три основных этапа добычи газа: нарастающий, постоянный и падающий. Первый этап начинается уже на стадии разбурирования. По его завершении месторождение переходит на режим постоянной работы. За это время изымается около 2/3 всех запасов газа. Далее наступает этап падающей добычи, который характеризуется снижением уровня добычи из-за обводнения скважин или уменьшения отдачи газа ниже уровня рентабельности. В таких условиях из месторождения дополнительно отбираются до 10 % его запасов [1].

Газоперекачивающий агрегат ГПА-6ДКС «Урал» ангарного исполнения применяется для сжатия природного газа на дожимной компрессорной станции. Составные главные части ГПА – это газотурбинная установка, центробежный компрессор и системы обеспечения. Основной элемент – это центробежный компрессор (ЦБК) с газотурбинной установкой (ГТУ).

В состав центробежного компрессора входят расположенные параллельно цилиндр низкого (ЦНД) и цилиндр высокого давления ЦВД, на концах которых расположены газодинамические уплотнения (ГДУ), предназначенные для герметизации технологического процесса перекачивания газа. Буферный газ подается по трубопроводам в стойку управления ГДУ (Комплект технической документации ГПА-6ДКС «Урал»).

При отсутствии необходимого превышения давления буферного газа пуска центробежного компрессора не произойдет. Поэтому давление на входе в ГДУ должно быть больше, чем на входе газа в компрессор. В условиях падающей добычи это случается чаще. Для решения этой проблемы установим бустерную компрессорную установку, которую подключим параллельно с трубопроводом подачи газа в стойку управления ГДУ.

БКУ или, иначе, дожимной компрессор, обеспечивает минимальный необходимый перепад буферного газа при пусках ГПА на КС. То есть когда нужно довести уже сжатый воздух до еще большего давления, БКУ будет включаться автоматически.

Бустер представляет собой обычный поршневой компрессор и работает за счет направленного уменьшения объема рабочей камеры, образованной цилиндром и подвижным поршнем, в котором преобладает сжатие газ [2].

Для реализации режима автоматической работы БКУ необходимо осуществить её запуск и перевести в режим «регулировка производительности». Ниже рассмотрены вопросы синтеза САУ в этом режиме для двух переменных – давление и температура газа на выходе из компрессора.

Регулирование производительности компрессорной установки осуществляется при помощи частотного преобразователя путем автоматического изменения частоты вращения электродвигателя компрессора в зависимости от заданной величины перепада между давлением на всасывании и давлением нагнетания.

Российские предприятия выпускают широкую линейку поршневых БКУ [3], различающихся конструкцией самого компрессора (оппозитный или угловой) и номинальными параметрами: давление на входе и на выходе (кгс/см² или МПа), номинальная мощность компрессора (кВт), производительность БКУ (м³/мин или м³/ч) и др.

Анализ конструкции и динамики механизма движения компрессора позволяет определить структуру модели объекта управления (ОУ). В условиях контактного движения деталей компрессора величина формируемого на выходе расхода газа периодически изменяется от максимального до минимального значения, т.е. нагнетание газа носит циклический характер, и частота этих колебаний определяется скоростью вращения коленвала компрессора. Однако на выходе компрессора имеется буферная емкость, которая играет роль накопителя газа, что позволяет принять модель компрессорной установки как объекта управления с учетом известных допущений при описании частотного электропривода [2] в виде

$$W_{oy}(p) = \frac{\tilde{P}_2(p)}{\tilde{\omega}^*(p)} = \frac{K_{oy}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)p}. \quad (1)$$

САР давления является трехконтурной, содержит подчиненные контуры регулирования скорости и момента электродвигателя компрессора, настроенные на технический оптимум. Схема моделирования приведена на рис. 1.

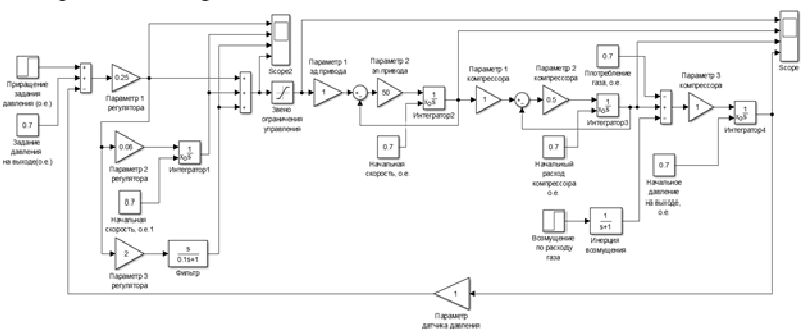


Рис. 1. Схема моделирования САР давления газа

Примем значение некомпенсированной постоянной времени T_μ замкнутого контура регулирования давления равным 1 с, инерцией датчика давления будем пренебрегать, т.е. $W_{дд}(p) = 1$. При настройке контура регулирования давления на апериодический оптимум 2-го порядка с использованием методики синтеза по желаемой передаточной функции замкнутого контура получаем ПД-регулятор давления:

$$W_{рд}(p) = \frac{W_{жел}(p)}{W_{oy}(p)W_{дд}(p)} \approx \frac{1 / 4T_\mu p(T_\mu p + 1)}{1 / (T_2 p + 1)(T_\mu p + 1)p} = \frac{(T_2 p + 1)}{4T_\mu}. \quad (2)$$

Таким образом, расчетные параметры регулятора давления:

– коэффициент пропорциональности $K_{\text{п}} = \frac{1}{4T_{\mu}} = \frac{1}{4 \cdot 1} = 0,25$;

– коэффициент дифференцирования $K_{\text{д}} = \frac{T_2}{4T_{\mu}} = \frac{2}{4} = 0,5$.

Результаты моделирования приведены на рис. 2.

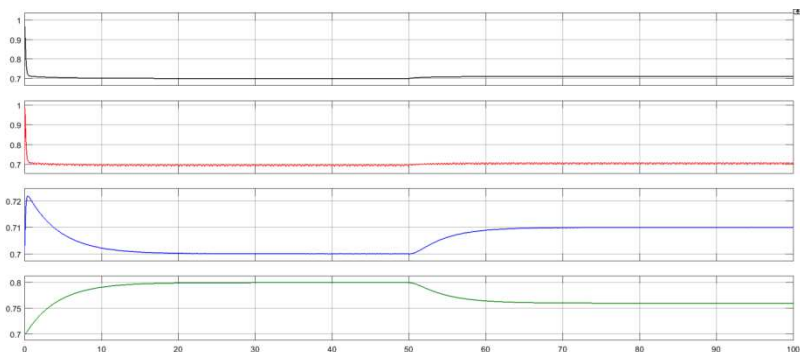


Рис. 2. Процессы в САР давления газа с ПД-регулятором

В начальный момент времени $t = 0$ с имитируется реакция САР на ступенчатое приращение задания производительности с 0,7 до 0,8, т.е. по приращению превышения давления на выходе на 0,1. На 50-й секунде имитируется наброс расхода газа со стороны потребителя. Как видим, процессы являются астатическими по заданию и статическими по возмущению. Для придания системе астатизма по возмущению введем интегральную компоненту в регулятор, коэффициент $K_{\text{и}}$ интегрирования примем равным 0,02. На рис. 3 приведены процессы в САР давления с ПИД-регулятором. САР стала астатической по возмущению, однако появилось небольшое перерегулирование по заданию давления, что может быть убрано установкой предшествующего фильтра на входе САР с постоянной времени $4T_{\mu}$ [4]. САР температуры охлаждаемого газа обеспечивается за счет регулирования скорости вентилятора охладителя газа с контролем сигнала соответствующего датчика на врезке выходной магистрали компрессора. За номинальное значение этой температуры примем $T_{\text{гн}} = 140$ °С, что соответствует в относительных переменных 1,0, а за минимальное значение примем $T_{\text{г0}} = 100$ °С, что соответствует в относительных переменных нулю.

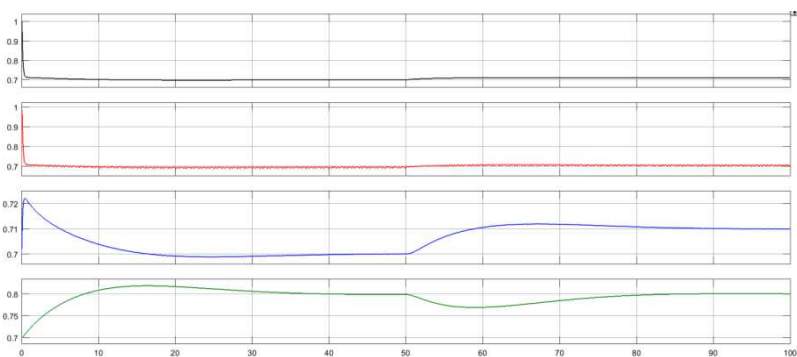


Рис. 3. Процессы в САР давления газа с ПИД-регулятором

Для канала охлаждения газа ОУ может быть представлен передаточной функцией

$$W_{oy}(p) = \frac{\tilde{T}(p)}{\tilde{\omega}^*(p)} = \frac{K_{oy}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)} e^{-\tau p}. \quad (3)$$

Будем полагать значение времени чистого запаздывания равным нулю, т.е. $\tau = 0$, однако инерцию распространения сигнала датчика включим в некомпенсированную постоянную времени, принимаемую равной $T_\mu = 1$ с. Схема моделирования такой САР приведена на рис. 4.

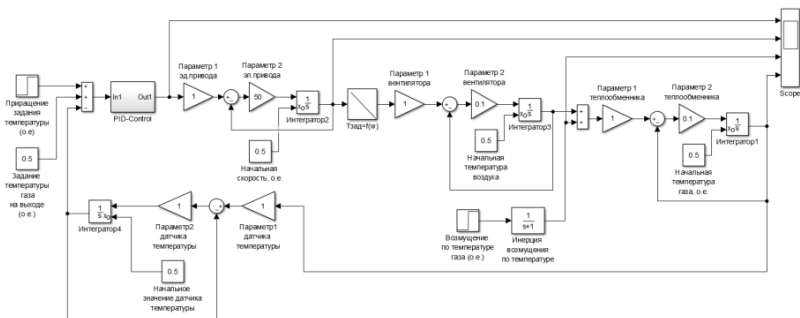


Рис. 4. Схема моделирования САР температуры газа

Настройку контуров регулирования момента и скорости частотного электропривода примем на технический оптимум. Настройку контура регулирования температуры газа примем аperiodической 2-го порядка. Результаты синтеза регулятора температуры с исполь-

зованием типовой методики синтеза по желаемой передаточной функции замкнутого контура дают ПИД-регулятор:

$$W_{\text{рт}}(p) = \frac{W_{\text{жел}}(p)}{W_{\text{оу}}(p)W_{\text{дт}}(p)} \approx \frac{1 / 4T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)}{1 / (T_2p + 1)(T_3p + 1)(T_{\mu}p + 1)} =$$

$$= \frac{(T_2p + 1)(T_3p + 1)}{4T_{\mu}p}. \quad (4)$$

Таким образом, расчетные параметры регулятора температуры:

– коэффициент пропорциональности $K_{\text{п}} = \frac{T_2 + T_3}{4T_{\mu}} = \frac{20}{4 \cdot 1} = 5$;

– коэффициент интегрирования $K_{\text{и}} = \frac{1}{4T_{\mu}} = \frac{1}{4 \cdot 1} = 0,25$;

– коэффициент дифференцирования $K_{\text{д}} = \frac{T_2 T_3}{4T_{\mu}} = \frac{100}{4} = 25$.

На рис. 5 приведены результаты моделирования реакции на увеличение задания относительной температуры с начального значения $\tilde{T} = 0,5$ ($T = 120$ °C) на 0,1 (на 4 °C) в момент времени $t = 0$ с, а также увеличения температуры охлаждаемого воздуха на ту же величину в момент времени $t = 50$ с.

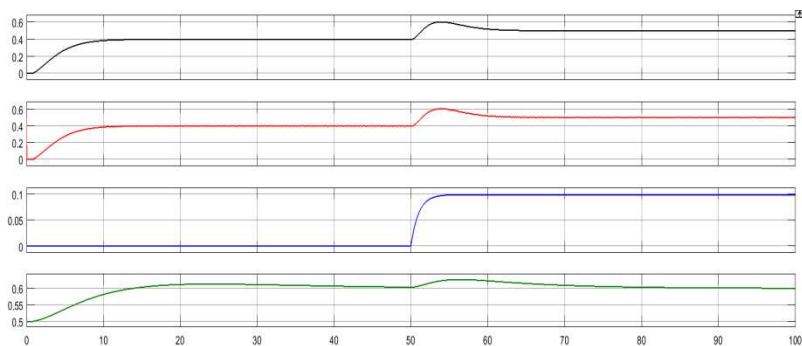


Рис. 5. Процессы в САР температуры газа с ПИД-регулятором

Как видим, процессы по температуре газа на выходе газоохладителя отвечают астатическим процессам и по заданию, и по возмущению, что позволяет быть уверенным в соответствии установившихся значений температуры газа на выходе БКУ заданному значению (124 °C).

Библиографический список

1. Горная энциклопедия [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mining-enc.ru/r/razrabotka-gazovyx-mestorozhdenij/>
2. Особенности работы бустеров (дожимных компрессоров) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.pnevmomagazin.ru/news/look/110/>
3. Каталог ООО «ТЕГАС»: Компрессоры поршневые и винтовые. – М., 2013.
4. Казанцев В.П. Системы управления исполнительными механизмами: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – 2015. – 208 с.

Сведения об авторах

Поздеева Александра Михайловна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-15-16, г. Пермь, e-mail: sasha.pozdeewa@mail.ru

Казанцев Владимир Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: kvppgtu@mail.ru.

Н.Д. Самойлова, Н.В. Андриевская

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В данной статье рассматривается метод проектирования нечеткого ПИД-регулятора для регулирования скорости двигателя постоянного тока (ДПТ). Реализован синтез ДПТ методом подчиненного регулирования. Приведены результаты моделирования ДПТ с нелинейностью типа «люфт» для системы нечеткого и подчиненного регулирования.

Ключевые слова: двигатель постоянного тока, нечеткая логика, нечеткий регулятор, ПИД-регулятор.

N.D. Samoilova, N.V. Andrievskaya

MODERN METHODS OF CONTROLLING A DC MOTOR

This article discusses the design method of a fuzzy PID controller for controlling the speed of a DC motor (DC motor). Implemented the synthesis of DFT by the method of subordinate regulation. The results of simulation of DCF with a non-linearity of «Backlash» for a system of fuzzy and subordinate regulation are given.

Keywords: DC motor, fuzzy logic, fuzzy controller, PID controller.

Проблемой теории автоматического управления является нахождение алгоритма управления при неопределенных параметрах объекта, которые могут изменяться от воздействия помех, нелинейностей, полезных сигналов. Классические методы построения систем не всегда приводят к желаемым результатам, потому что исходные данные являются неполными или неточными. Кажется очевидным решение этой проблемы через создание достаточно точной математической модели, которая бы описывала реальную ситуацию, но это в большей своей части приводит только к потере времени и средств [1].

Данную проблему решают адаптивные системы, то есть самоорганизующиеся. Эти системы автоматически изменяют данные своей структуры, чтобы достичь оптимального состояния или сохранить его при изменении внешних условий. Для реализации такой системы необходимым условием является построение регуляторов [2].

Распространённым в системе автоматического управления является пропорционально интегрально-дифференцирующий (ПИД) регулятор, поэтому в данной статье разрабатывается адаптивный регулятор на его основе. Современными системами адаптивного регулирования являются такие, которые используют инструменты искусственного интеллекта: искусственные нейронные сети и нечеткая логика. Данные системы способны к обучению, запоминанию и аппроксимации входных данных [3].

В качестве объекта регулирования был взят двигатель постоянного тока (ДПТ), синтез которого был осуществлен методом подчиненного регулирования. Параметры ДПТ представлены в табл. 1. Машины постоянного тока имеют экономичное регулирование частоты вращения, хорошие механические характеристики. Появление новых источников постоянного тока также сказалось на популярности и расширении области применения двигателей [4].

Таблица 1

Параметры ДПТ

$K_{тп}$	$T_{тп}$	$R_{я}$	$T_{я}$	$K_{м}$	$K_{дт}$	$K_{дч}$
50	0,01	0,1	0,4	0,02	0,01	0,5

Тиристорный преобразователь представлен передаточной функцией

$$W_{тп}(p) = \frac{K_{тп}}{T_{тп}p + 1}. \quad (1)$$

Якорь ДПТ представлен передаточной функцией

$$W_{я}(p) = \frac{1/R_{я}}{T_{я}p + 1}. \quad (2)$$

Механическая часть ДПТ представлена передаточной функцией

$$W_{м}(p) = \frac{K_{м}}{p}. \quad (3)$$

Была получена математическая модель ДПТ среде в MatLab/Simulink (рис.1). В структурной схеме было реализовано моделирование люфта (зазоры редуктора), который проявляет себя в передаче скорости от вала ДПТ к повороту рабочего органа (РО), т.е. механика и кинематика передаточного механизма [5]. Регуляторы контура тока и контура скорости настроены на симметричный оптимум. Были получены такие характеристики системы, как переходный процесс частоты вращения (рис. 2).

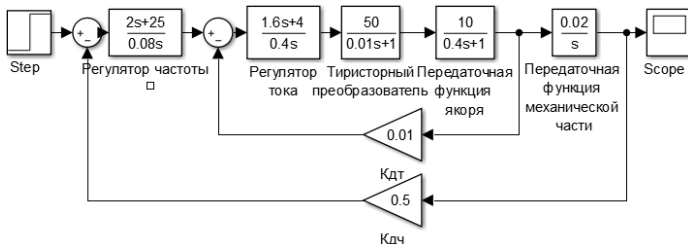


Рис. 1. Структурная схема ДПТ

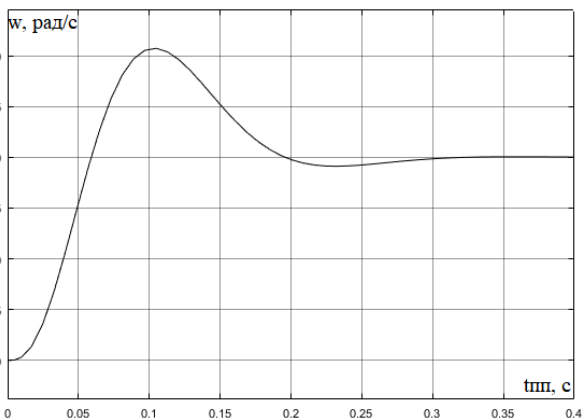


Рис. 2. График переходного процесса частоты вращения ДПТ (рад/с)

Для уменьшения перерегулирования и учета влияния нелинейности на характер переходного процесса был разработан нечеткий ПИД-регулятор, который настраивает пропорциональную, интегральную и дифференциальную составляющие с помощью правил нечеткого вывода с учетом изменения ошибки и скорости ошибки регулирования (рис. 3).

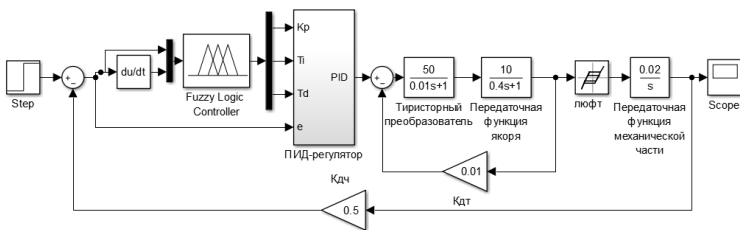


Рис. 3. Структурная схема ДПТ с присущей ему нелинейностью и нечетким ПИД-регулятором

Структура ПИД-контроллера, основанного на нечеткой логике, представлена на рис. 4. Это четыре основных блока [6]: фазификатор – переход от точных величин к их нечеткой интерпретации; база правил – содержит опытные данные о процессе управления; блок логического вывода – моделирует процедуру принятия решения человеком; дефазификатор – выходной преобразователь из нечетких множеств.

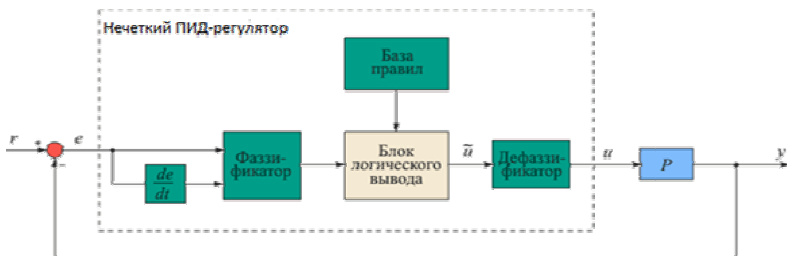


Рис. 4. Структура ПИД-контроллера на нечеткой логике

В нечетком контроллере необходимо определить входные (ошибка, скорость изменения ошибки) и выходные (пропорциональная, интегральная, дифференциальная части ПИД-регулятора) лингвистические переменные: NL – «отрицательная большая»; NS – «отрицательная малая»; Z – «нулевое»; PS – «положительная малая»; PN – «положительная большая». Далее необходимо определить функции принадлежности этих лингвистических переменных, потому что именно с их помощью реализуются процедуры фазификации и дефазификации.

Данный этап моделирования нечеткого регулятора является важным, потому что он в большей степени определяет качество процесса управления системой [7]. Для адекватной работы модели необходимо знать характер поведения системы и как провести некоторое количество экспериментов, чтобы определить недостатки нечеткого регулятора и устранить их. В данной работе были выбраны термы треугольной формы для всех входных и выходных переменных.

Функции принадлежности для различных терм–множества лингвистических переменных:

- «ошибка e »: NL [-2.5; 0; 2.5], NS [0; 2.5; 5], Z [2.5; 7; 2.5], PS [5; 7.5; 10] PL [7.47; 9.97; 12.5];
- «скорость изменения ошибки с e » NL [-2.5; -2; -1.5], NS [-2; -1.5; -1], Z [-1.5; -1; -0.5], PS [-1; -0.5; 0], PL [-0.5; 0; 0.5];
- «коэффициента K_p » NL [6.25; 10; 13.75], NS [10; 13.75; 17.5], Z [13.75; 17.5; 21.25], PS [17.5; 21.25; 25], PL [21.25; 25; 28.75];

- «коэффициентаTi» NL [-1; 0; 1], NS [0; 1; 2], Z [1; 2; 3], PS [2; 3; 4], PL [3; 4; 5];
- «коэффициентаTd» NL [-0.02; 0; 0.02], NS [0; 0.02; 0.04], Z [0.02; 0.04; 0.06], PS [0.04; 0.06; 0.08], PL [0.06; 0.08; 0.1].

Разработанная база правил вида «если...то» представлена в табл. 2.

База правил определяет взаимосвязи между входными и выходными лингвистическими переменными. При ее составлении необходимо проводить эксперименты, которые позволяют корректировать функции принадлежности лингвистических переменных для достижения лучшего результата.

Таблица 2

База правил самонастраивающегося нечеткого ПИД-регулятора

	NL(ОБ)	NS(ОМ)	Z(НЛ)	PS(ПМ)	PL(ПБ)
NL(ОБ)	PL(ПБ)	PL(ПБ)	PL(ПБ)	PS(ПМ)	Z(НЛ)
NS(ОМ)	PL(ПБ)	PL(ПБ)	PS(ПМ)	Z(НЛ)	Z(НЛ)
Z(НЛ)	PL(ПБ)	PS(ПМ)	Z(НЛ)	NS(ОМ)	NL(ОБ)
PS(ПМ)	Z(НЛ)	Z(НЛ)	NS(ОМ)	NL(ОБ)	NL(ОБ)
PL(ПБ)	Z(НЛ)	NS(ОМ)	NL(ОБ)	NL(ОБ)	NL(ОБ)

Сигнал с нечеткого регулятора несколько опережает происходящие в системе процессы. В начале работы системы пропорциональная составляющая на выходе нечеткого регулятора повышается, уменьшая время переходного процесса, когда сигнал приближается к требуемому значению – снижается, тем самым уменьшая перерегулирование.

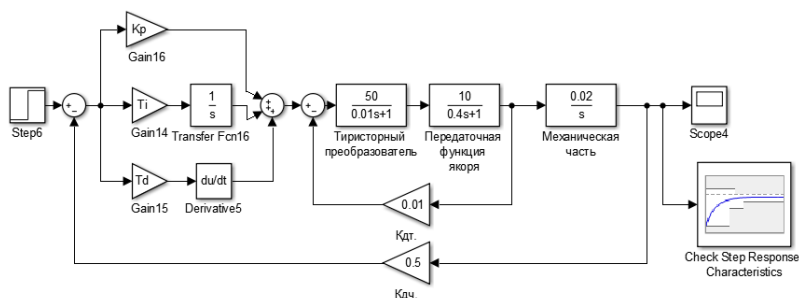


Рис. 5. Структурная схема для оптимизации параметров ПИД-регулятора

Результаты моделирования адаптивной системы сравнили с системой управления традиционным ПИД-регулятором, пропорциональная, дифференциальная и интегральная части которого были получены с помощью пакета Simulink Response Optimization в программе MatLab.

Данный способ позволяет определить необходимые коэффициенты ПИД-регулятора, при задании необходимых требований к переходному процессу (рис. 5) Для системы ДПТ, использованной в данной работе, получили: $K_p = 446,33$; $K_i = 535,77$; $K_d = 32,77$.

Из графиков переходного процесса частоты вращения ДПТ при учете нелинейности типа «люфт» в ДПТ с нечетким ПИД-регулятором (рис. 6) и ПИД-регулятором, настроенным с помощью пакета Simulink Response Optimization (рис. 7), видно, что нечеткий ПИД-регулятор хорошо справляется с нелинейностью при моделировании системы, а традиционный ПИД-регулятор не приходит в установившийся режим. Для наглядности время переходного процесса частоты вращения было установлено в 2,5 с.

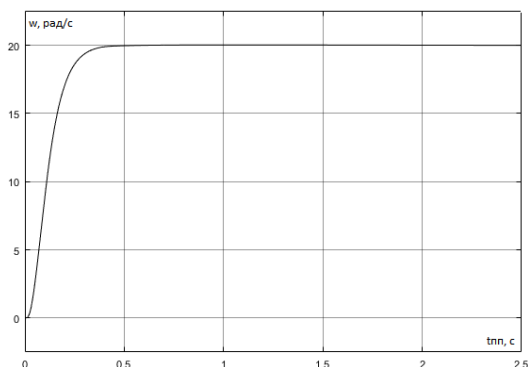


Рис. 6. Переходный процесс ДПТ с нечеткой системой управления

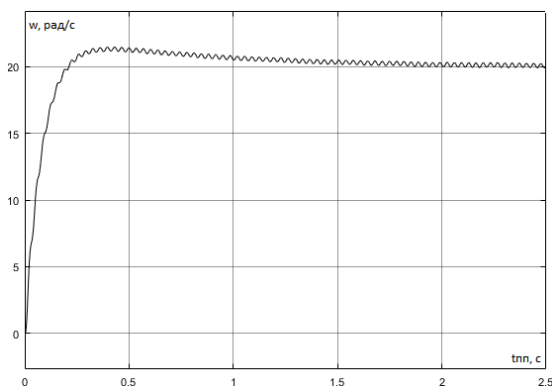


Рис. 7. Переходный процесс ДПТ с традиционной системой управления

Таким образом, в данной работе предложен метод проектирования системы с нечетким ПИД-регулятором для коррекции нелинейностей, которые присущи всем электромеханическим системам управления и касаются прежде всего, механики электропривода. Предложен метод, по которому можно сформировать лингвистические переменные и таблица базы знаний. Получена структурная схема ДПТ с нечетким управлением. Представлены результаты моделирования в пакете Simulink/MatLab.

Библиографический список

1. Голдинова К.А. Проектирование регулятора на базе системы нечеткого вывода для управления звеном робота-манипулятора // Политехнический молодежный журнал. – 2017. – № 11.
2. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. – М., 2003. – 278 с.
3. Таранецкая А.В. Исследование применимости ИНС и нечеткой логики для диагностики и прогнозирования технического состояния ДПТ НВ. – Кемерово, 2015.
4. Забудский Е.И. Электрические машины. Ч. 4. Машины постоянного тока: учеб. пособие для вузов – М.: Изд-во МГАУ, 2011. – 217 с.
5. Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода; ВНИИГ. – СПб., 1994. – 488 с.
6. Методы робастного, нейронечеткого и адаптивного управления / под ред. Н.Д. Егупова. – 2-е изд: – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Баумана, 2002. – 744 с.
7. Захаров В.И., Ульянов В.С. Нечеткие модели интеллектуальных промышленных регуляторов и систем управления: научно-организационные, технико-экономические и прикладные аспекты // Изв. Акад. наук. Техническая кибернетика. – 1992. – № 5.

Сведения об авторах

Самойлова Наталья Дмитриевна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-15-16, г. Пермь, e-mail: natallia-97@mail.ru

Андриевская Наталья Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: anv@msa.pstu.ru

**И.А. Шмидт, К.А. Мехоношин, Д.К. Елтышев,
А.С. Монахов, Д.В. Елисеев**

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ КОНФИГУРАЦИИ ИЗДЕЛИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

Статья посвящена проблемам формализации данных конфигурации изделий в процессе разработки технологического процесса изготовления деталей. В рамках данной статьи был рассмотрен и проанализирован существующий бизнес-процесс разработки технологического процесса и выявлены его недостатки. Для устранения недостатков предложено использовать связку взаимодействующих между собой информационных систем. Разработан новый бизнес-процесс с учетом использования рекомендованного к внедрению решения, что позволит решить проблемы формализации данных конфигурации изделий.

Ключевые слова: автоматизация, бизнес-процесс, CAD/CAM-система, PLM-система, управление конфигурацией, технологический процесс.

**I.A. Shmidt, K.A. Mehonoshin, D.K. Eltyshv,
A.S. Monahov, D.V. Eliseev**

DATA FORMALIZATION OF THE PRODUCTS CONFIGURATION IN A TECHNOLOGICAL PROCESS

The article is devoted to the problems of data formalizing the products configuration during the technological process developing of manufacturing parts. Within the framework of this article, the existing business process of technological process development was reviewed and analyzed, and its shortcomings were revealed. It was proposed to use a bunch of interconnected information systems for the drawbacks eliminating. A new business process has been developed taking into account the usage of the recommended for implementation solution which will allow to solve the problems of data formalizing configuration product.

Keywords: automation, business process, CAD/CAM-system, product lifecycle management, configuration management, technological process.

В настоящее время существует необходимость перехода к новому цифровому формату технологической подготовки производства с использованием нового электронного вида документации вместо бумажного. Разработка технологического процесса (ТП) является частью процесса управления конфигурацией изделий. Требования к конфигурации изделий, изложенные в нормативной (НД) и конструкторской документации (КД) [1], необходимо формализовать

в технологической документации (ТД). В свою очередь формализация данных технологического процесса позволяет использовать их в автоматизированных системах в процессе производства и контроля качества, способствует сокращению сроков и затрат ресурсов на создание изделий в целом за счет исключения труда технологов, связанного с трансляцией и обновлением конструкторских данных [2].

Модель типового бизнес-процесса (БП) разработки ТП изготовления деталей по состоянию «как есть» в нотации eEPC показана на рис. 1.

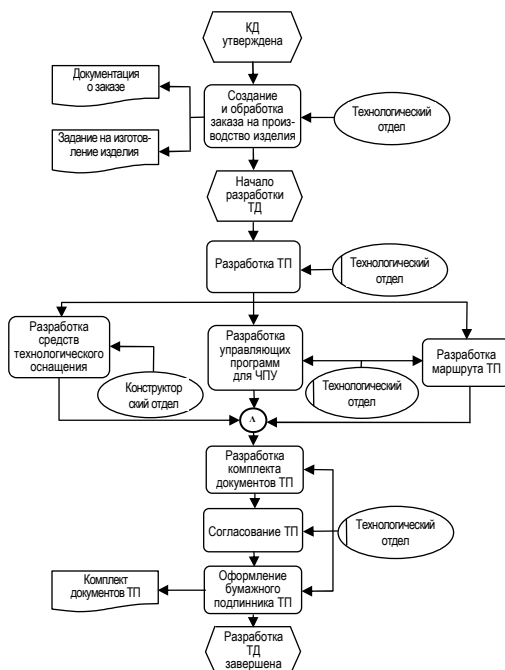


Рис. 1. Модель типового БП разработки ТП по состоянию «как есть»

Этапы разработки средств технологического оснащения и программ для оборудования с ЧПУ автоматизированы с применением PLM/CAD/CAM-систем. В качестве исходных данных выступает электронная геометрическая модель (ЭГМ) детали, а в качестве выходных данных выступают ЭГМ оснастки и программы ЧПУ. На этапе разработки маршрута ТП в качестве исходных данных выступают чертежи, а в качестве выходных – бумажная ТД.

Ключевой особенностью модели БП «как есть» является разработка ТД, ориентированная на создание комплекта бумажных подлинников документации ТП. Такой подход не позволяет формализовать данные о качестве и конфигурации изделия, поэтому нет возможности передать данные конфигурации в производственную систему и обеспечить прослеживаемость статуса конфигурации изделия. В ходе анализа построенной модели БП были выявлены следующие его недостатки: отсутствие единой информационной среды разработки конструкторской и технологической документации; не используются преимущества ЭГМ и электронной структуры изделия (ЭСИ) в разработке маршрута ТП, что не позволяет использовать данные конфигурации изделия и процессы согласования в электронном виде; процесс выпуска и изменения технологической документации не автоматизирован, т.е. отсутствует возможность проследить внесение изменений в КД в ТД; управление конфигурацией неэффективно, поскольку в настоящем БП не предусмотрено электронное документирование, идентификация и отслеживание статуса выполнения требований к конфигурации и качеству изделий в ТД.

В качестве решения предлагается использовать взаимодействующие между собой CAD/CAM и PLM-системы. Создание ЭГМ изделия в CAD/CAM системе и использование ЭСИ в PLM-системе позволит перейти от устаревшего бумажного комплекта документов ТП, который содержит в себе маршрутную карту, ведомости ТП, карты эскизов и т.д., к новой цифровой форме – электронной структуре ТП, которая включает в себя преимущества ЭСИ и ЭГМ с формализованным и производственными параметрами (PMI) [3].

Объектная модель электронной структуры ТП представлена на рис. 2. Объектами данной структуры являются маршруты изделий, различные операции и переходы, которые являются основой всего ТП.

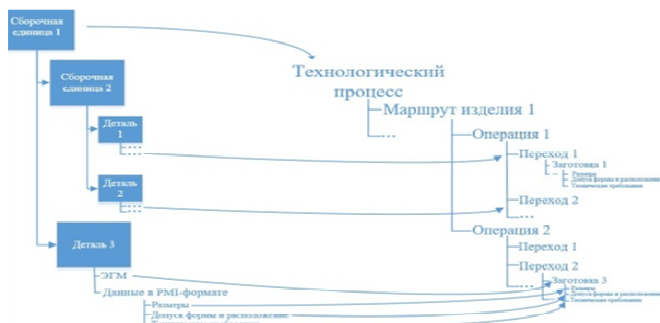


Рис. 2. Объектная модель электронной структуры ТП

Новый подход к проектированию ТП позволяет эффективно отслеживать выполнение требований к конфигурации изделия и его качеству, а также передавать формализованные данные в производственные системы типа MES для их учета и анализа [4]. Кроме того, ЭГМ с параметрами в PMI-формате могут быть использованы в контрольно-измерительных машинах (КИМ) для измерения геометрических характеристик объекта в процессе контроля качества изделия.

Модель БП разработки ТП по состоянию «как должно быть» в нотации eEPC (рис. 3) ориентирована на электронный документооборот (ЭДО) на всех стадиях разработки, согласования и утверждения ТП.

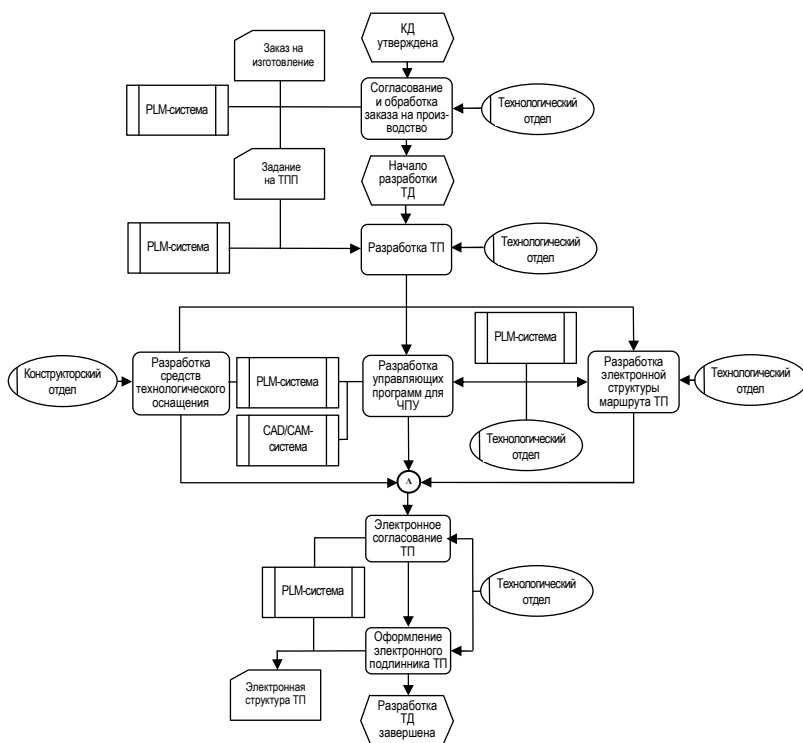


Рис. 3. Модель БП разработки ТП по состоянию «как должно быть»

Обычно существует несколько вариантов ТП, связанных с логистикой и поставленной целью. Каждый маршрут ТП в электронном виде представляет собой древовидную структуру с последовательностью

операций, использованием соответствующих переходов и заготовок. Переход к электронной структуре ТП дает возможность использовать все преимущества ЭСИ и ЭГМ. Результатом модифицированного БП является электронное согласование ТП и в конечном итоге оформление электронного подлинника ТД взамен бумажного.

Библиографический список

1. Шмидт И. А., Бормалев С.В., Мехоношин К.А. Концепция управления конфигурацией и организацией технологической подготовки сборочного производства авиационных двигателей // Вестник Моск. авиац. ин-та. – 2017. – Т. 24, № 2. – С. 123–131.

2. Автоматизация бизнес-процесса управления несоответствиями в процессе входного контроля / И.А. Шмидт, К.А. Мехоношин, А.С. Монахов, Д.В. Елисеев // Науч.-техн. Вестник Поволжья. – 2018. – № 12. – С. 299–302.

3. Богданов В.В., Бондаренко Р.В. Организация электронного архива для технологических процессов // Науч.-техн. Вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2007. – Т.44, № 10.

4. Минюров С.Ю., Минюрова А. Формализация требований на основе базы знаний. – М., 2012. – 55 с.

Сведения об авторах

Шмидт Игорь Альбертович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shmidt@msa.pstu.ru

Мехоношин Константин Анатольевич – начальник отдела развития информационных технологий, АО «Авиадвигатель», г. Пермь, e-mail: mekhonoshin-ka@avid.ru

Елтышев Денис Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: zerothree@mail.ru

Монахов Александр Сергеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-15-16, г. Пермь, e-mail: alex.m1996@yandex.ru

Елисеев Дмитрий Викторович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-15-16, г. Пермь, e-mail: dmitriy.elisvv@gmail.com

В.В. Вакутин, А.С. Александрова

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ МИКРОКЛИМАТА КОМПЛЕКСА «УМНОГО» ДОМА В СРЕДЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ SOMACHINE HVAC

В работе представлен проект разработки системы «умного» дома в среде программирования SoMachine HVAC. В рамках проекта были разработаны алгоритмы работы процессов контроля микроклимата, входящих в систему, а также интерфейс пользователя на экране программно-логический контроллер.

Ключевые слова: автоматизация зданий, «умный» дом, микроклимат, управление приточно-вытяжной вентиляцией, алгоритм предпусковой проверки.

V.V. Vakutin, A.S. Alexandrova

SOFTWARE DEVELOPMENT FOR CONTROL SYSTEMS OF MICROCLIMATE COMPLEX SMART HOME IN THE PROGRAMMING ENVIRONMENT SOMACHINE HVAC

This article presents a project to develop a «smart» home system in the programming environment SoMachine HVAC. As part of the project, algorithms for climate control processes included in the system, as well as the user interface on the Programmable Logic Controller screen were developed.

Keywords: building automation, smart home, climate, management of ventilation system, the algorithm pre-start checks.

Одно из наиболее перспективных направлений развития технологий – это «умный» дом или автоматизация зданий. Автоматизация здания – система высокотехнологичных устройств в жилом доме современного типа, организованная для наиболее комфортного проживания или работы людей. В «умном» доме можно забыть об усредненной температуре, поскольку появляется возможность устанавливать в каждой комнате наиболее подходящие условия для всех членов семьи. Корректно настроенная система может длительное время поддерживать микроклимат на нужном уровне, подстраиваясь под условия окружающей среды. При желании пользователя изменить условия микроклимата в помещении ему достаточно установить требуемые параметры, используя простой в обращении интерфейс, далее система управления приведет работу агрегатов в соответствующий режим.

Представлено описание разработанной системы управления микроклиматом жилого здания, состоящего из 6 помещений, в которых используется приточно-вытяжные системы с кондиционированием, в 4 из них реализована рекуперация тепла. Система управления включает 8 контроллеров Modicon M172 Logic Controller производства Schneider Electric. Программируется контроллер средой SoMachine HVAC и оборудован дисплеем, конфигурируемым кнопками. Реализованы алгоритмы регулирования температуры воды теплого пола, и двух независимых контуров регулирования температуры воды, подаваемой на калориферы в приточно-вытяжных системах, алгоритм регулирования холодоснабжения, используемого в системе кондиционирования. Рекуператор смешивает приточный и вытяжной воздух, что позволяет экономить достаточно большое количество энергии на нагреве воздуха.

Схема приточно-вытяжной вентиляции с кондиционированием и рекуперацией тепла приведена на рис. 1.

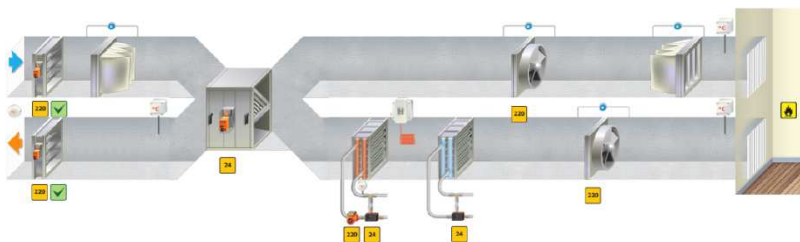


Рис. 1. Схема приточно-вытяжной вентиляции с кондиционированием и рекуперацией тепла

В системе управления приточно-вытяжной вентиляции реализованы следующие алгоритмы: поддержание температуры воздуха после калорифера, алгоритм предпусковой проверки на наличие аварии, автоматический пуск насосов с проверкой на сухой ход и проток в трубопроводе, автоматический пуск вентиляторов и открытие заслонок с проверкой на наличие засора в канале, автоматическое переключение режимов «Зима»/«Лето», алгоритм защиты калорифера от заморозки, в том числе в режиме ожидания, режим работы по времени.

Для системы управления приточно-вытяжной вентиляцией с кондиционированием и рекуперацией тепла реализованы экранные формы для пользовательского интерфейса (рис. 2).

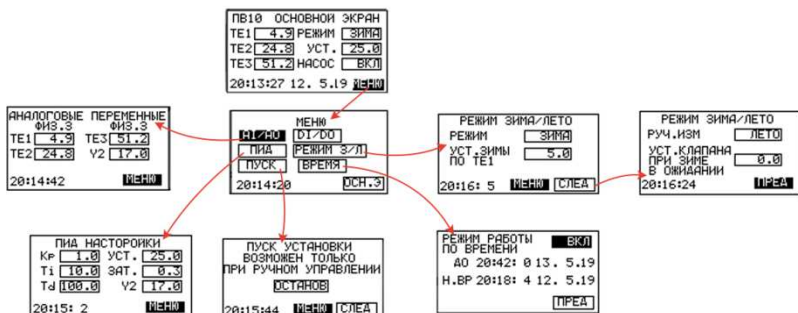


Рис. 2. Экранные формы на дисплее контроллера приточно-вытяжной вентиляции

Включение установки производится в меню «Пуск» (рис. 2) при положении тумблера «руч». При положении «авто» включение производится автоматически. Пуск установки выполняется при следующих условиях:

- установка включена;
- нет аварии;
- температура обратной воды выше заданной (только при режиме «Зима»). Если температура обратной воды ниже заданной, то открывается клапан подачи горячей воды на 100 % для прогрева калорифера;
- время работы установки не истекло (при режиме работы по времени).

Сигнал аварии может возникнуть при возникновении пожара, наличии засора фильтров, засора приточно-вытяжных вентиляторов, если температура обратной воды ниже $+20^{\circ}\text{C}$ и т.п. При срабатывании сигнала Аварии установка переходит в режим Ожидания с пометкой, что сработал сигнал Аварии. Все аварийные состояния можно посмотреть в меню дискретных входов/выходов (DI/DO). Сброс аварийного режима производится переводом тумблера в положение «0». В режиме ожидания вентиляционной системы отслеживается температура наружного воздуха, температура обратной воды и состояния термостата.

Алгоритм защиты калорифера от заморозки заключается в следующем: при падении температуры обратной воды ниже $+20^{\circ}\text{C}$ или при срабатывании термостата включается насос и открывается клапан снабжения горячей воды на 100 % до тех пор, пока температура не станет выше и/или термостат не сбросит сигнал.

Включение и задание времени выполняется в меню экранной формы контроллера (см. рис. 2). По истечении времени установка

переходит в режим ожидания. Повторный запуск возможен, если время работы установлено выше настоящего или отключить работу по времени. При режиме «Зима» осуществляется поддержание температуры вентилируемого воздуха за счет калорифера путем изменения степени открытия клапана подачи горячей воды по пропорционально-интегрально-дифференцирующему закону регулирования. В режиме «Лето» осуществляется поддержание температуры вентилируемого воздуха за счет кондиционера путем изменения степени открытия клапана подачи холодной воды по пропорционально-интегрально-дифференцирующему закону регулирования.

В среде программирования предусмотрена симуляция контроллера с заданием аналоговых и дискретных входов (рис. 3). Эта функция помогает протестировать систему управления микроклиматом на работоспособность и отработку аварийных ситуаций без самого контроллера и реального объекта управления. Так же на симуляцию можно загрузить экранные формы, что позволяет проверить корректность переходов между страницами и отображениями данных.

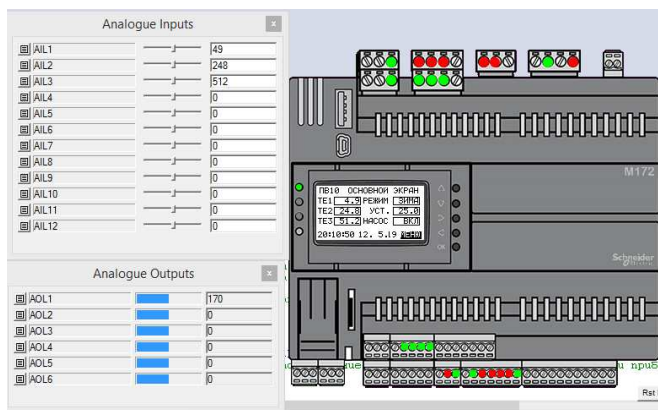


Рис. 3. Симуляция контроллера

Написав программное обеспечение для контроллера и отработав его в симуляции, произвели загрузку на физический контроллер (рис. 4) и настроили алгоритмы регулирования под определенное помещение.

Используемый контроллер позволяет реализовать передачу параметров процесса через сеть Интернет для удобного доступа управления из любой части мира.



Рис. 4. Контроллер с загруженной программой

Чтобы реализовать концепцию «умного» дома в полной мере, планируется все системы объединить на единой панели оператора для быстрого управления по месту, например, из какой-то определенной комнаты управлять всеми процессами в доме, а также создать веб-интерфейс с доступом из сети Интернет для удаленного управления.

Библиографический список

1. SoMachine HVAC - Application User Manual. Revision 4.2 – February 2015. Published by Schneider Electric.
2. Hardware Guide Modicon M172 Performance Logic Controller Published by Schneider Electric.
3. Нимич Г.В., Михайлов В.А., Бондарь Е.С. Современные системы кондиционирования и вентиляции воздуха. – 2003. – 626 с.
4. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – СПб.: АВОК Северо-Запад. – 2005. – 402 с.

Сведения об авторах

Вакутин Виталий Вячеславович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТП-15-16, г. Пермь, e-mail: vitalick.vakutin@yandex.ru

Александрова Анна Сергеевна – старший преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: boyarshinovaann@gmail.com

Н.Г. Семенова, Н.С. Токпаев

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК В КРИТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ

В данной статье была рассмотрена система автоматизированного контроля обнаружения утечек в критических системах охлаждения, например в электродуговых печах. Система обнаружения утечек является важным защитным механизмом и должна реализовываться в соответствии с правилами, действующими для категории безопасности, к которой относится контролируемое оборудование. Цель этой системы – обеспечить надежный механизм обнаружения утечек и генерировать аварийное сообщение в случае утечки.

Ключевые слова: автоматизированные системы, система контроля утечек, программное обеспечение.

N.G. Semenova, N.S. Tokpayev

DEVELOPMENT SYSTEM OF AUTOMATED LEAKAGE CONTROL DETECTIONS IN CRITICAL COOLING SYSTEMS

This article discusses a system of automated leakage control detections in critical cooling systems, such as electric arc furnaces. This leakage detection system is an important safety mechanism and must be implemented to comply with guidelines relevant to the safety category of the monitored installation. The objective of this solution is to provide a reliable mechanism for leakage detection and to generate an alarm when a leak occurs.

Keywords: automated systems, leakage control system, software.

В настоящее время всё большее распространение получают автоматические системы обнаружения утечек для контуров охлаждения, позволяющие оперативно обнаружить факт утечки и установить место её образования. Это позволяет не только значительно сократить время реакции аварийных служб, но и значительно уменьшить ущерб от чрезмерного перегрева критически важных узлов электродуговой печи.

Применение современных технологий промышленной автоматизации позволяет визуализировать на автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора весь технологический процесс контуров

охлаждения по таким параметрам, как расход, температура, давление и т.д. Для реализации программно-технического комплекса, были рассмотрены следующие средства промышленной автоматизации:

- Siemens Simatic WinCC – система HMI, программное обеспечение для создания человеко-машинного интерфейса;
- Siemens Simatic PCS7 – система управления технологическим процессом для комплексной автоматизации;
- Контрольно-измерительные приборы фирмы Endress+Hauser;
- Simatic Panel TP177A – панель оператора;
- Simatic S7-300F CPU 315F-2 DP – программируемый логический контроллер;
- сигнальные модули ввода и вывода фирмы Siemens.

Вне зависимости от типа охлаждающего контура принципы обнаружения утечки следующие:

- величины расхода на входе и выходе контура охлаждения измеряются подходящими расходомерами;
- температура на входе и выходе также фиксируется датчиками, устанавливаемыми в непосредственной близости от расходомеров [1].

Для достижения максимально возможной точности в нашей системе используются отдельные датчики температуры (т.е. не встроенные в расходомеры). Контур охлаждения представлен на рис. 1.

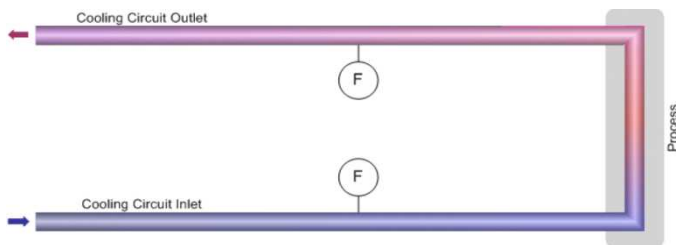


Рис. 1. Контур охлаждения

При возникновении течи в контуре охлаждения обнаруживается различие в объемах расхода на входе и выходе и поступает аварийное сообщение. Этот метод предполагает использование в качестве охлаждающей среды воду или другую несжимаемую среду.

Во избежание электромагнитных помех рекомендуется использовать экранированные кабели сечением не менее $0,5 \text{ мм}^2$ для сигнальных и $1,5 \text{ мм}^2$ для силовых кабелей датчиков. Экраны должны

быть заземлены только на одном конце (в коммутационном шкафу системы обнаружения утечек). Системная структура охлаждающего контура представлена на рис. 2.

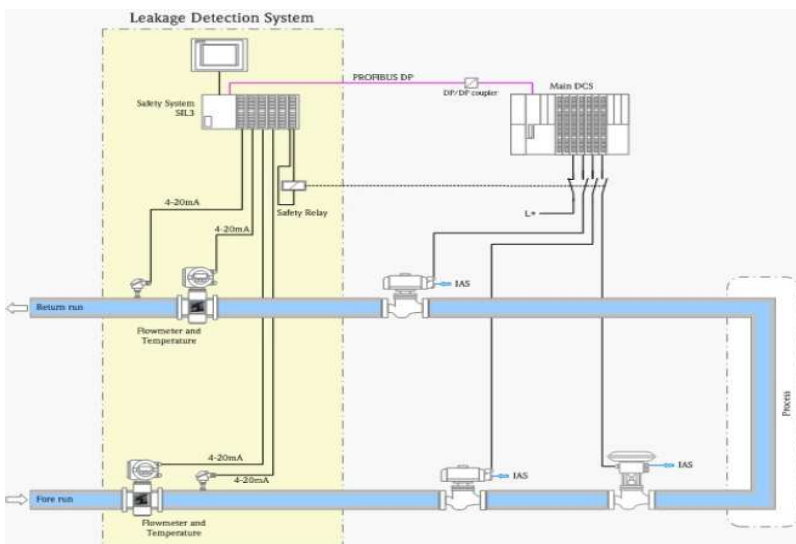


Рис. 2. Системная структура охлаждающего контура

Измерение расхода жидкости в контурах охлаждения выполняется магнитно-индуктивным (предпочтительно) или ультразвуковым расходомером. Эти инструменты обеспечивают экономически эффективное измерение расхода в сочетании с высокой точностью.

Примером магнитно-индуктивного расходомера является Proline Promag 50 с выходным сигналом 4–20 мА.

Измерение температуры в контурах охлаждения выполняется резистивными термометрами, предпочтительно с верхнерасположенным датчиком температуры. Примером резистивного термометра является Omnicrad MTR10 с выходным током 4–20 мА.

Главный блок управления – система промышленной автоматизации Siemens Simatic S7. По возможности используются отказоустойчивые компоненты серии S7-300.

В центральном процессорном блоке стандартно устанавливается отказоустойчивый ЦПБ (S7-315F 2 DP).

При большом количестве контролируемых контуров охлаждения может быть установлен ЦПБ S7-317F 2 DP.

Сигналы 4–20 мА от датчиков расхода и температуры считываются отказоустойчивыми модулями аналоговых входов новой версии SM336. Каждый модуль имеет 6 аналоговых входов 4–20 мА с 15-битовым разрешением.

Текущий расход на входе, текущий расход на выходе и текущая разность между ними в виде сигналов 4–20 мА. Используются модули аналоговых выходов SM332.

Каждый модуль имеет 8 аналоговых выходов 4–20 мА с 11/12-битовым разрешением.

Если различие в объемах расхода на входе и на выходе охлаждающего контура превышает допустимое, то подается аварийное сообщение в виде цифрового выходного сигнала. Используются отказоустойчивые модули цифровых выходов SM326.

Если различие в объемах расхода на входе и на выходе охлаждающего контура превышает допустимое, то подается аварийное сообщение в виде цифрового входного сигнала на систему обнаружения утечек. Используются отказоустойчивые модули цифровых входов SM326. Каждый модуль имеет 24 «одноканальных» или 12 «двухканальных» отказоустойчивых цифровых входов 24 В.

Для передачи аварийного цифрового выходного сигнала в качестве безвольтового контакта используется предохранительное переключающее устройство Siemens Sirius 3TK28. В этом устройстве используется внутреннее предохранительное реле с принудительно направляемыми контактами.

Для отображения текущих значений и получения доступа используется панель управления Simatic TP177B.

Для реализации системы контроля выбраны технические средства автоматизации, обеспечивающие длительное, надежное функционирование в условиях условий производства. Основные производители Sirius, Siemens, Endress+Hauser, Omnigrad.

Библиографический список

1. Крылов Ю.А., Карандаев А.С., Медведев В.Н. Энергоснабжение и автоматизация производств в теплоэнергетическом комплексе: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2013. – 176 с.
2. Комплексные решения [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.com-sol.ru/controller/siemens.html>

3. Брюханов Ю.А. Автоматизация производства. – М.: Высшая школа, 2005.

4. Жидкостный контур системы охлаждения [Электронный ресурс]. – URL: https://studref.com/380627/tehnika/zhidkostnyy_kontur_sistemy_ohlazhdeniya

5. Бородин И.Ф. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления (ССУЗ). – М.: Колос С, 2006. – 352 с.

Сведения об авторах

Семенова Наталья Геннадьевна – кандидат технических наук, доктор педагогических наук, профессор кафедры «Автоматизированный электропривод, электромеханика и электротехника» Оренбургского государственного университета, г. Оренбург, e-mail: tomsk@house.osu.ru

Токпаев Нурлан Сабирович – магистрант Оренбургского государственного университета, гр. 3-18ЭЭ(м)АЭСК, г. Оренбург, e-mail: tokpayev.nurlan@gmail.com

И.В. Бурдышев, Т.С. Леготкина

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ ЭКСТРУДЕРА

В данной работе представлена модель контроля температуры расплава полимера в экструдере. Представлена система управления, проведено моделирование такой системы без ПИ-регулятора и с регулятором, проанализированы результаты моделирования. Данная работа посвящена контролю температурного режима при экструзии.

Ключевые слова: автоматизация, управление, экструдер, температура, система управления.

I.V. Burdyshev, T.S. Legotkina

EXTRUDER TEMPERATURE CONTROL SYSTEM

This paper presents a model for controlling the temperature of the melt in an extruder. Analyzed simulation results. This work is devoted to the control of temperature during extrusion.

Keywords: automation; control, extruder, temperature, control system.

Автоматизация технологических процессов применяется повсеместно. Автоматическое управление сложными технологическими процессами является достаточно сложной задачей, так как к системе управления предъявляются высокие требования по качеству управления. От качества управления будет зависеть качество продукции, ее себестоимость, безопасность процесса.

Температура расплава полимера формируется на протяжении всего времени пребывания в экструдере, но именно в последней зоне, зоне дозирования, устанавливается конечная температура. Температура является очень важным параметром в данном процессе, который необходимо контролировать.

Для создания системы управления температурой расплава полимера в зоне дозирования необходимо создать адекватную динамическую модель объекта управления.

Для построения системы истинно полного контроля необходимо смоделировать динамическую модель процесса. Адекватность управления будет напрямую зависеть от точности данной модели. На прак-

тике построение такой модели представляет довольно сложную задачу. В большинстве работ по построению модели процесса экструзии применяется эмпирический метод, такие работы обычно называются «идентификация процесса». Различают два вида эмпирического подхода. В первом используются детерминированные функции (ступенчатые, пульсирующие и т.д.), во втором методе – стохастические (случайные) функции. Оба метода основаны на приложении к процессу возмущающего воздействия и измерения отклика на это воздействие.

Динамическую модель можно вывести из теории экструзии. Также для этого необходимы огромные вычисления, и вполне возможно полученный результат окажется достаточно грубым. Однако для построения такой модели можно использовать упрощенные теоретические методы. Для создания системы управления необходимо определить объект управления. Объектом управления будем считать температуру расплава полимера на выходе экструдера.

При расчете тепловых источников, влияющих на температуру экструдера, нужно учитывать нагрев от вязкого трения материала. При вращении шнека полимер нагревается за счет трения и деформации. Эта теплота оказывает большое влияние на температуру. Данный процесс называют диссипацией [1, с. 341], формула имеет вид

$$q_v = m_0 \exp[\alpha_m (T_0 - T)] \left(\frac{\pi D N}{H} \right)^{1+n}, \quad (1)$$

где T – температура расплава; m_0 – показатель консистенции при T_0 ; T_0 – исходная температура; α_m – температурный коэффициент вязкости, D – диаметр цилиндра; N – частота вращения шнека; H – глубина канала шнека, n – индекс течения.

Также нагрев происходит от нагревателей, которые расположены на корпусе экструдера. Нагреватель при включении не может сразу отдавать нужное количество мощности так как необходимо, чтобы создался максимальный градиент температур. Время, в течение которого создается этот самый градиент, можно называть мертвым временем – t_m . Мертвое время обычно составляет 1–5 мин [1, с. 115]. Оно является одной из наиболее важных проблем при управлении экструдером, так как означает, что пройдет некоторое количество времени, прежде чем изменение мощности на нагревателе приведет к изменению температуры экструдера.

Следующим параметром является постоянная времени экструдера τ . Она характеризует время переходного процесса. Чем она больше, тем дольше длится переходный процесс. Как правило, постоянная времени экструдера лежит в интервале от 30 до 120 мин [1, с. 115]. При нагреве экструдер можно описать в виде передаточной функции первого порядка [2]:

$$W(s) = \frac{k}{Ts + 1}. \quad (2)$$

В уравнении (2) присутствует постоянная времени T и коэффициент передачи k .

Исходя из всего вышеперечисленного была создана модель, отражающая основные особенности температурного поведения экструдера при работе (рис. 1). Различные коэффициенты были подобраны исходя из данных литературы, а также некоторых расчетов [3, 4]. Данная модель не отражает поведение какого-либо конкретного экструдера при нагреве.

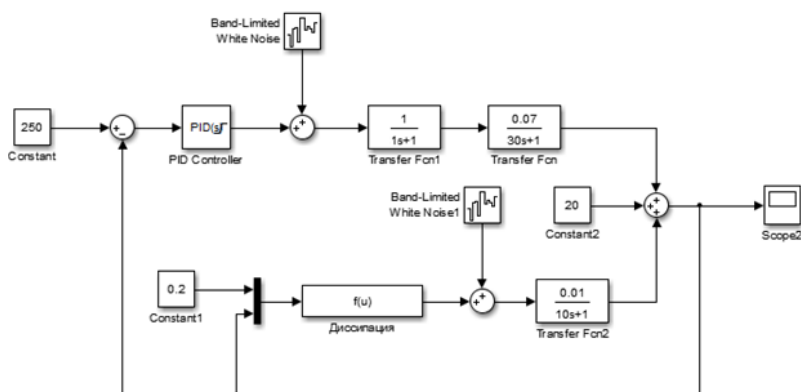


Рис. 1. Модель системы автоматического регулирования температуры расплава полимера зоны дозирования экструдера

В качестве возмущающего воздействия была выбрана случайная ступенчатая функция. Данная функция влияет на мощность нагревателей, имитируя возможные перепады напряжения и температуры окружающей среды. Также случайная составляющая присутствует и в мощности, выделяемой экструдером в результате трения и деформации полимера. Данная ступенчатая функция выбрана по при-

чине того, что наихудшим вариантом для управления являются внезапные воздействия за короткий промежуток времени. Данные ступенчатые воздействия влияют на сигнал, отклоняя его от заданного примерно на 5 %. Сигналом обратной связи служит температура.

В результате моделирования данной схемы без ПИ-регулятора, просто задавая значение мощности на нагревателе, получили следующую характеристику работы данной модели (рис. 2).

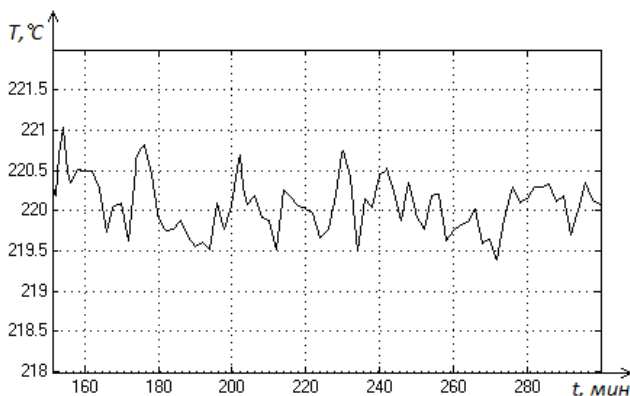


Рис. 2. График зависимости температуры от времени без регулятора

На представленном графике колебания температуры составляют примерно 1,5 °C. Добавив ПИ-регулятор, добились следующей характеристики (рис. 3).

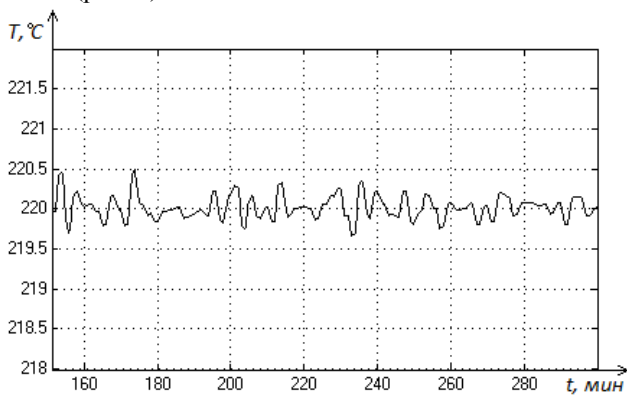


Рис. 3. График зависимости температуры от времени с использованием ПИ-регулятора

На данном графике удалось добиться снижения колебаний температуры путем подбора коэффициентов примерно до 0,7 °С.

В результате была получена модель изменения температуры расплава полимера в экструдере, сформирована модель управления таким объектом. Наглядно показана возможность улучшения качества управления с использованием ПИ-регулятора. Данная модель может быть полезна при составлении других систем управления. В данной работе показан сам принцип такой модели, не привязанный к конкретному виду экструдера.

Библиографический список

1. Раувендааль К. Экструзия полимеров / пер. с англ.; под ред. А.Я. Малкина. – СПб.: Профессия, 2008. – 768 стр., ил.
2. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров / пер. с англ. – М.: Химия, 1984. – 632 с. – Нью-Йорк. 1979.
3. Сенигов П.Н. Теория автоматического управления: консп. лекций. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. – 93 с.
4. Ершов С.В., Щербинин А.Г., Терлыч А.Е. Исследование реологических свойств электроизоляционных полимеров // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2012. – № 2 – С. 88–98.

Сведения об авторах

Бурдышев Иван Васильевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТ6-17-1м, г. Пермь, e-mail: iburdyshev@mail.ru

Леготкина Татьяна Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: edu@at@pstu.ac.ru

К.Ю. Суслов

СИНТЕЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТУРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УЧЕБНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В статье рассмотрены результаты моделирования участка технологического процесса по подготовке бумажной массы учебно-экспериментальной установки. Представлены принципы разработки и моделирования теплогидравлических схем в отечественной среде имитационного моделирования SimInTech. Реализована гидравлическая схема и алгоритмы для моделирования участка технологического процесса в среде SimInTech. Произведен анализ результатов исследования и предложены дальнейшие перспективы развития разработанного проекта для моделирования технологического процесса.

Ключевые слова: технологический процесс, динамическое моделирование, технологические параметры, подготовка бумажной массы, база сигналов, контуры регулирования, автоматизация.

K.Yu. Suslov

SYNTHESIS AND MODELING OF THE REGULATION OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF EDUCATIONAL- EXPERIMENTAL INSTALLATION

The article discusses the results of modeling the area of the technological process of preparation of paper pulp of a training and experimental installation. The principles of development and modeling of thermo-hydraulic circuits in the domestic simulation environment SimInTech are presented. The implementation of the hydraulic circuit and algorithms for modeling the technological section in the SimInTech environment has been completed. The analysis of the research results was carried out and the prospects for the further development.

Keywords: technological process, dynamic modeling, technological parameters, preparation of paper stock, control loops, signal base, automation.

Технологически процесс (ТП) производства бумаги представляет собой сложный многостадийный процесс, полного производственного цикла – от переработки сырья и производства полуфабрикатов до выпуска и реализации готовой продукции.

Сложность рассматриваемых систем и объектов обуславливается наличием протекающих в них физических процессов, точной на-

стройки многочисленных контуров регулирования технологических процессов, их параметров, а также трудозатрат на реализацию их математического описания [1, 4]. Для решения обозначенной проблемы, на практике используются программные моделирующие комплексы, которые позволяют проводить расчет переходных процессов в гидравлических системах, на основе цифровых моделей, состоящих из блоков, соединяющихся линиями связи. Использование зарубежного программного обеспечения, широко представленного такими продуктами, как LabView, MatLab/Simulink, VisSim, SimulationX, противоречит активно развивающейся тенденции импортозамещения [3]. Этим обусловлена актуальность внедрения российского программного обеспечения для моделирования технических систем, таких как динамическая среда моделирования SimInTech.

Объектом исследования является экспериментальная установка имитации работы локальных контуров регулирования технологических процессов подготовки бумажной массы [1].

Среда динамического моделирования SimInTech. SimInTech – российская система модельно ориентированного проектирования систем автоматического управления является универсальной средой создания математических моделей, интерфейсов управления, алгоритмов управления. Инструменты среды SimInTech позволяют реализовать технологию сквозного проектирования на всех этапах жизненного цикла систем автоматизированного управления [3, 5]. Архитектура SimInTech содержит следующие необходимые инструменты для создания комплексных моделей систем управления:

1) библиотека блоков автоматики – включает в себя общетехническую автоматику, нечеткую логику, конечные автоматы, а также обладает возможностями для обмена данными, оптимизации и т.д.;

2) основные библиотеки блоков: теплогидравлика, электрика, механика, пневмо- и гидросистемы, динамика полетов летательных аппаратов, баллистика, электрический привод [5].

Обмен данными и сигналами между различными схемами в SimInTech происходит через встроенную базу сигналов, которая представляет собой файловую базу данных, содержащую константы и переменные.

Обмен сигналами производится при помощи запросов, прописываемых в элементах кода автоматики, в результате которых база сигналов возвращает необходимый сигнал [5].

Комплексная модель объекта, создаваемая за счет связей систем через базу сигналов в пакете SimInTech, представлена на рис. 1.



Рис. 1. Комплексная модель объекта в SimInTech

SimInTech предназначен для детального исследования и анализа нестационарных процессов в различных объектах управления.

Библиотека блоков теплогидравлики используется для моделирования и расчета динамических и стационарных процессов [3, 5].

Описание учебно-экспериментальной установки. Конструктивно установка состоит из пяти емкостей, последовательно соединённых системой трубопроводов, имитирующих технологические бассейны реального технологического участка подготовки бумажной массы [1].

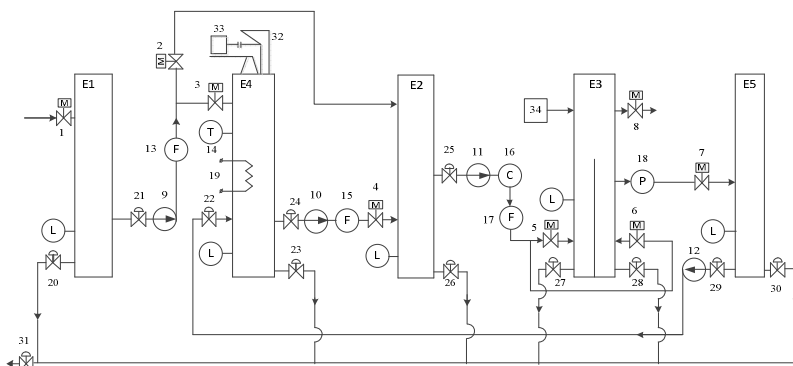


Рис. 2. Функциональная схема учебно-экспериментальной установки

В свою очередь, система трубопроводов содержит четыре сетевых насоса с частотно регулируемым электроприводом, ручные и регулирующие клапаны с электроприводом, трубчатый электронагреватель, датчики основных технологических параметров: расхода, давления температуры [4]. Функциональная схема установки, представлена на рис. 2.

Описываемый участок технологического процесса моделируется в пакете SimInTech, содержащем теплогидравлическую схему и схемы автоматики для управления исполнительными механизмами [4].

Синтез контуров регулирования и моделирование участка технологического процесса в SimInTech. Математическая модель бака представляет собой модель типа «камеры смешения». Физический объект, соответствующий блоку, – бак с открытой крышкой, со свободным уровнем и постоянным давлением атмосферы [2].

Схема теплогидравлики участка установки представлена на рис. 3.

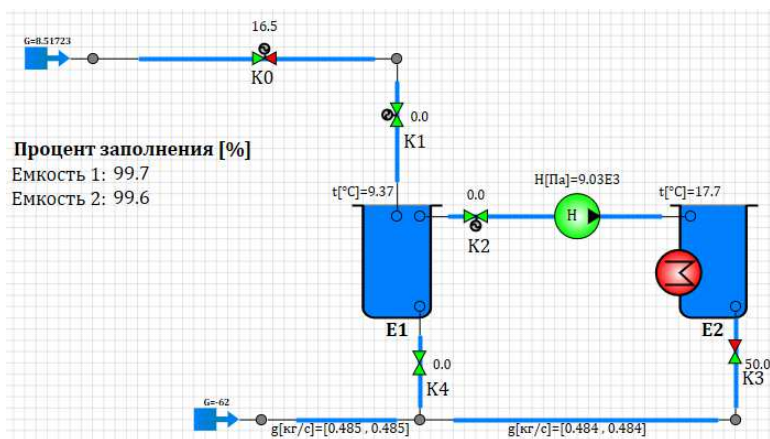


Рис. 3. Схема участка теплогидравлики в SimInTech

Схема автоматики управляет исполнительными механизмами, такими как клапаны, насосы, электрические двигатели. Контроль уровня жидкости в емкостях производится с помощью клапанов с электроприводом в зависимости от рассчитанного объема теплоносителя в баке и регулятора. В свою очередь преобразователь частоты, асинхронный двигатель для управления моделью насоса и контроля создаваемого напора моделируются в блоке автоматики при помощи передаточных функций [2, 3].

1. Передаточная функция преобразователя частоты

$$W_{\text{пч}}(p) = \frac{K_{\text{пч}}}{T_{\text{пч}} p + 1} = \frac{2,5}{0,01 p + 1};$$

2. Передаточная функция электродвигателя

$$W_{\text{ад}}(p) = \frac{K_{\text{ад}}}{T_{\text{ад}} p + 1} = \frac{6,06}{0,05 p + 1};$$

3. Передаточная функция насоса

$$W_H(p) = \frac{K_H}{T_{p+1}} = \frac{9,29e-7}{p+1};$$

Схема блока автоматики, представлена на рис. 4.

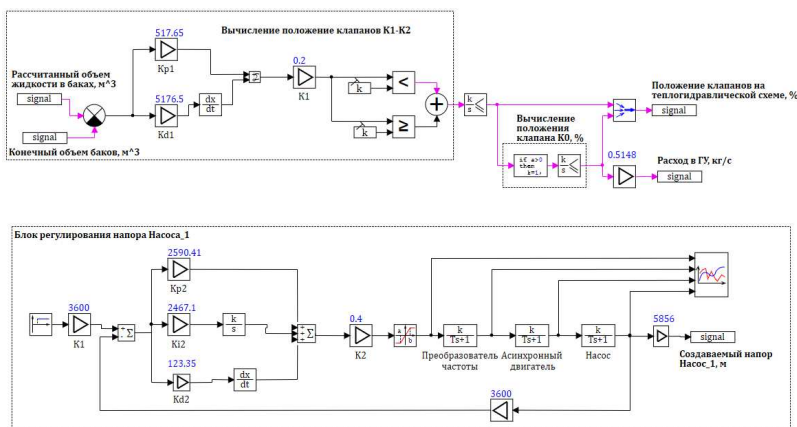


Рис. 4. Блок автоматики для управления исполнительными механизмами

Результатом моделирования служат параметры, рассчитываемые встроенным математическим ядром для каждого элемента теплогидравлической схемы, которые могут быть представлены в виде графика, выгружены в файл в виде таблицы или же переданы по каналам связи [3, 5].

В ходе исследования моделируются процессы наполнения теплоносителем емкостей, управление запорной арматурой, а также работа насосного оборудования. Подача теплоносителя осуществляется по каналу, имитирующему систему трубопровода, в результате происходит наполнение емкости, насосное оборудование для создания необходимого расхода запускается на 10-й секунде моделирования,

клапаны регулируют уровень теплоносителя в емкостях, при достижении конечного объема жидкости в баке клапаны закрываются, а при снижении объема в емкостях – открываются [5].

На рис. 5 представлены результаты моделирования, графики уровня теплоносителя в емкостях, объемный расход в трубопроводе с насосом, а также напор на выходе насоса.

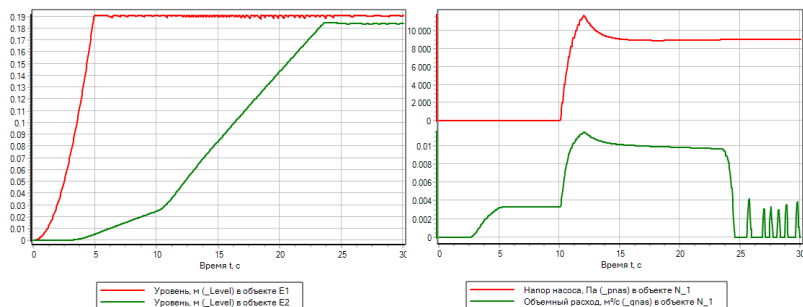


Рис. 5. Графики уровня теплоносителя в емкостях, создаваемого напора насоса и объемного расхода

Разработанная в среде SimInTech модель предназначена для исследования и анализа процессов, протекающих в гидравлической системе. Преимуществами использования модельного проектирования в пакете SimInTech являются: простота реализации и интуитивный интерфейс программного продукта, гибкость настроек параметров моделирования, высокая скорость расчета, наличие инструментов для создания интерфейсов управления.

В результате проведенных исследований произведен анализ технологического процесса подготовки бумажной массы, построена теплогидравлическая схема участка технологического процесса, разработана схема моделирования узлов автоматики. Выполнен расчет контуров регулирования уровня и расхода учебно-экспериментальной установки, настройка на технический оптимум. В конечном итоге были получены соответствующие регуляторы, выполнен анализ полученных результатов моделирования.

В данной работе был произведен синтез и моделирование контуров регулирования технологических параметров. Подобные модели позволяют производить расчет технологических параметров, а также благодаря функции отключения блоков моделировать различные отказные ситуации.

Библиографический список

1. Даденков Д.А., Черемных Д.Н., Рябухин А.Л. Синтез и настройка локальных контуров регулирования уровня и расхода учебно-экспериментальной установки // Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной промышленности: материалы II Всерос. отраслевой науч.-прак. конф., г. Пермь, 28 февраля 2014 г. // М-во образования и науки Рос. Федерации, Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, Группа предприятий Перм. целлюлозно-бумажная компания, АО «Соликамскбумпром»; Перм. ЦНТИ. – Пермь, 2014. – С. 101–110.
2. Библиотека для моделирования гидро- и пневмосистем в SimInTech, КБ «Арматура» – филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева». – М., 2017. – С. 712–717.
3. Среда динамического моделирования технических систем: учеб. пособие для студентов техн. вузов / Б.А. Карташов, Е.А. Шабатов, О.С. Козлов, А.М. Щекатуров. – М.: ДМК-Пресс, 2017. – С. 17.
4. Разработка экспериментальной установки имитации работы контуров регулирования технологических процессов производства бумаги предприятия ООО «Пермский картон» / Д.А. Даденков, Л.В. Поносова, А.Б. Петрович, И.Г. Друзьякин, А.Г. Лейсле // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике: материалы III Междунар. науч.-техн. интернет-конф. ПГТУ. – Пермь, 2009.
5. «3В Сервис» Справочная система SimInTech [Электронный ресурс]. – URL: [//simintech.ru/webhelp/#o_simintech/o_simintech.html](http://simintech.ru/webhelp/#o_simintech/o_simintech.html) (дата обращения: 05.04.2019).

Сведения об авторе

Суслов Кирилл Юрьевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-17-1м, г. Пермь, e-mail: notxen.sk@gmail.com

Д.А. Даденков, Н.А. Ефимов, Е.М. Солодкий, Р.Ю. Юдин

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОЛУНАТУРНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ МОМЕНТА НАГРУЗКИ
ДЛЯ ИМИТАЦИИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА
ШТАНГОВОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ**

В работе рассмотрена разработка системы полунатурного моделирования момента нагрузки на валу асинхронного двигателя, имитирующего работу электропривода штанговой насосной установки. Для полунатурного моделирования используется лабораторный стенд с приводным асинхронным двигателем и нагрузочным агрегатом в виде двигателя постоянного тока на одном валу. Представлена кинематическая схема четырехзвенного механизма штанговой насосной установки и реализация программных модулей для расчета и формирования момента нагрузки. Приведены основные результаты моделирования нагрузки.

Ключевые слова: штанговая насосная установка, полунатурная модель, лабораторный стенд, двигатель постоянного тока, асинхронный двигатель, момент нагрузки.

D.A. Dadenkov, N.A. Efimov, E.M. Solodkiy, R.Yu. Iudin

**DEVELOPMENT OF THE SEMI-NATURAL MODELING
SYSTEM OF LOAD TORQUE TO SIMULATE THE OPERATION
OF AN ELECTRIC DRIVE OF A SUCKER-ROD PUMP**

This article describes the development of a semi-natural modeling system of the torque of load on the shaft of the induction motor that simulates the operation of a motor of a sucker-rod pump. For semi-natural modeling, a laboratory bench with an induction motor and a load unit in the form of the DC motor on the same shaft is used. A kinematic scheme of the four-link mechanism of a sucker-rod pump and the implementation of software modules for calculating and generating load torque are presented. The main results of load modeling are given.

Keywords: sucker-rod pump, semi-natural model, laboratory bench, DC motor, induction motor, load torque.

Станок-качалка как четырехзвенный механизм со своими кинематическими отношениями сложно поддается аналитическому расчету усилий, возникающих в его элементах. Во многих случаях изменение координат точки подвеса колонны штанг (ТПКШ) рассматривают как гармоническое [1], что на практике приводит к значительным

погрешностям в вычислении действующих сил и моментов. Для более точного анализа внутренних усилий элементов станка-качалки зачастую лучше применять имитационное или полунатурное моделирование. Поэтому предлагается разработать и использовать специальную систему нагрузки, которая имитирует усилия, возникающие во время работы штангового насоса. Момент нагрузки при этом формируется с помощью двигателя постоянного тока, который закреплен на одном валу с асинхронным двигателем, который имитирует электропривод штанговой насосной установки.

Основная цель разработки предложенной полунатурной модели – это возможность в дальнейшем использовать ее для тестирования и отладки систем управления штанговой скважинной насосной установкой (ШСНУ). Для реализации модели был выбран лабораторный стенд компании «Мехатроника-ПРО» с программным обеспечением MexBIOS, которая является не только средой моделирования, но и средой программирования для мехатронных систем управления. MexBIOS дает разработчикам возможность сосредоточиться на задачах реализации управления и абстрагироваться от конкретных языков программирования микроконтроллеров. Основной задачей является создание с помощью двигателя постоянного тока электродинамического момента, аналогичного моменту на валу редуктора, возникающему при работе ШСНУ. Рассмотрим коротко работу векторной системы управления электропривода и динамограмму работы ШСНУ.

При поле-ориентированном векторном управлении АД имеется возможность определить электродинамический момент T_e по проекциям тока статора [2, 3]:

$$T_e = \frac{3Z_p \cdot \Psi_R \cdot I_{sq}}{2}, \quad (1)$$

где Z_p – число пар полюсов двигателя; Ψ_R – модуль вектора потока сцепления ротора; I_{sq} – проекция статора на ось q .

Нагрузочный момент на валу АД можно получить из уравнения динамики механической части электропривода:

$$T_L = T_e - \left(J \frac{d\omega}{dt} + C \cdot \omega \right), \quad (2)$$

где J – момент инерции; ω – механическая скорость вращения ротора; C – коэффициент трения; T_L – нагрузочный момент сопротивления на валу АД.

Также можно записать нагрузочный момент на валу АД как

$$T_L(\theta) = T_\omega + \frac{T_C(\theta)}{i}, \quad (3)$$

где T_ω – момент на валу АД, необходимый для вращения редуктора; T_C – момент на выходном валу редуктора; i – отношение угловой скорости вала двигателя к угловой скорости вала кривошипа (передаточное число).

По кинематической схеме станка-качалки (СК) (рис. 1) определяется, что вращающий момент на выходном валу редуктора записывается в виде

$$T_C = T_\lambda + T_{cw} + T_{\Sigma}, \quad (4)$$

где T_λ – момент, обусловленный усилием F_λ , возникающим в точке подвеса колонны штанг; T_{cw} – момент, обусловленный действием силы тяжести противовеса, $T_{cw} = T_M R \sin(\theta)$, T_M – максимальный момент от противовеса; T_{Σ} – суммарный момент, обусловленный инерцией масс, движущихся возвратно-поступательно (балансир с головкой, шатун, детали СК), а также обусловленный инерцией вращающихся масс.

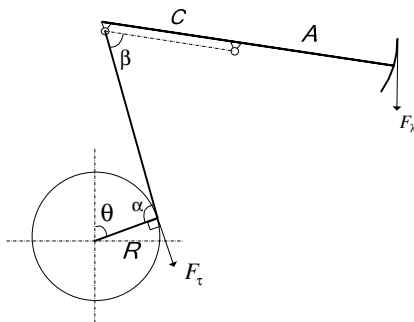


Рис. 1. Кинематическая схема станка-качалки

В случае постоянства скорости вращения кривошипа момент, обусловленный инерцией вращающихся масс, будет равен нулю, а момент от инерции возвратно-поступательного движения будет пренебрежимо мал по сравнению с моментом, возникающим на кривошипе от действия силы в точке подвеса колонны штанг. Таким образом, можно записать

$$T_C = T_\lambda + T_{cw}. \quad (5)$$

В формуле (5) момент, обусловленный действием силы тяжести противовеса, находится из кинематических соотношений СК (см. рис. 1):

$$T_{\lambda} = \frac{RA \sin \alpha}{C \sin \beta} (F_{\lambda} - F_{CU}), \quad (6)$$

где F_{CU} – конструктивная неуравновешенность СК, которая определяется добавочным усилием, необходимым для уравновешивания балансира.

В результате можно определить усилие в точке подвеса колонны штанг в любой момент времени, которое описывается выражением

$$F_{\lambda} = \frac{\left(T_e - \left(J \frac{d\omega}{dt} + C \cdot \omega \right) - T_{\omega} \right) \cdot i - T_M R \sin(\theta)}{k(\theta)} + F_{CU}, \quad (7)$$

где $k(\theta)$ – параметр, определяемый по угловому положению кривошипа θ по известным кинематическим параметрам [4] СК (см. рис. 1):

$$k(\theta) = \frac{RA \sin \alpha}{C \sin \beta}, \quad (8)$$

Далее рассмотрим реализацию модели формирования нагрузки в программной среде *MexBIOS* и кратко опишем основные функциональные блоки.

На рис. 2 представлена общая блок-схема программы. Блок *Load* (рис. 3) непосредственно рассчитывает и строит динамограмму работы СК. В основе разработанного алгоритма расчета нагрузки предложено использовать специальный блок-мультиплексор, который в зависимости от знака производной (функции изменения координаты точки подвеса штанг) выбирает одну из двух функций, в зависимости от направления движения плунжера – вниз или вверх. В результате выполнения алгоритма можно получить расчетную функцию изменения усилия F_{λ} в точке подвеса штанг. Блок *Calculator* предназначен для расчета момента на выходном валу редуктора T_C по формулам (5) и (6) с использованием кинематических параметров СК, полученной функции усилия F_{λ} и констант, рассчитанных в блоке *Const*.

Для реализации полунатурной модели на базе лабораторного стенда синтезируем и реализуем в среде *MexBIOS* специальный замкнутый контур регулирования тока якоря двигателя постоянного тока

(ДПТ). Таким образом, путем регулирования тока ДПТ пропорционально рассчитанному моменту формируется нагрузка на валу АД, имитирующая усилия, возникающие во время работы ШСНУ.

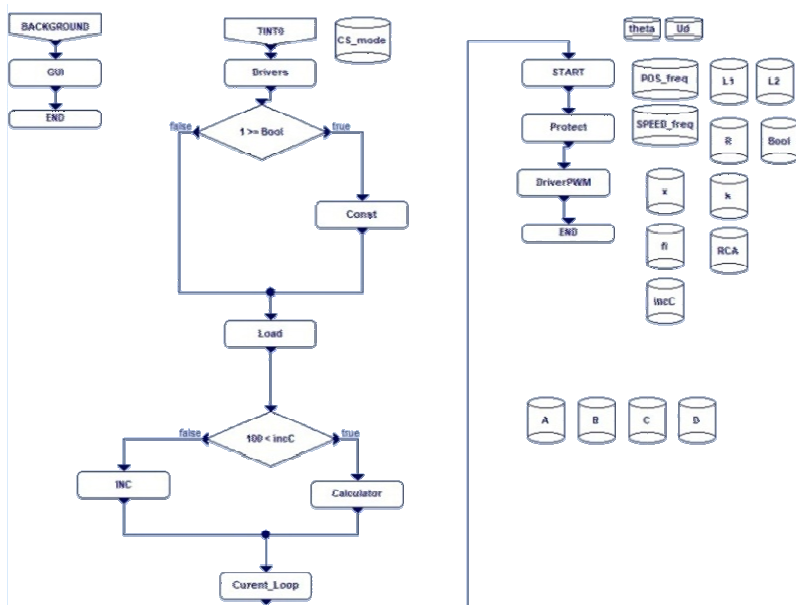


Рис. 2. Основная блок-схема программы

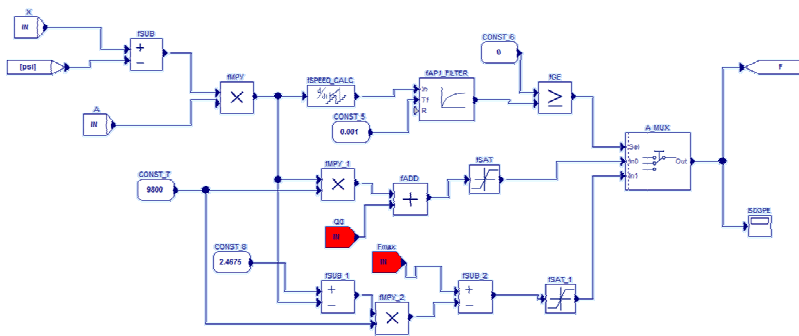


Рис. 3. Реализация блока Load

Результаты моделирования в программной среде *MexBIOS* представлены на рис. 4 и 5.

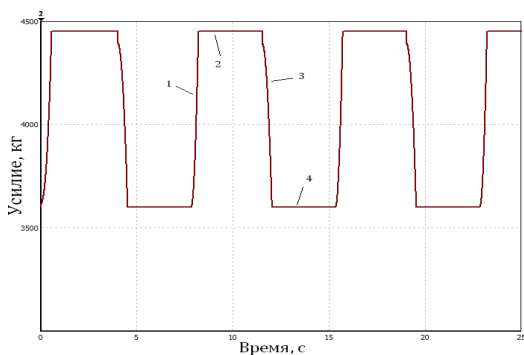


Рис. 4. Расчетная динамограмма моделируемой ШСНУ

На рис. 4 участок 1 соответствует усилию в момент растяжения штанг перед началом движения плунжера вверх, участок 2 – движению плунжера вверх, участок 3 – снижению силы в момент сжатия штанг перед началом движения плунжера вниз, 4 – движению плунжера вниз.

На рис. 5 представлен момент на выходном валу редуктора T_c , который складывается из моментов T_{cw} , обусловленного действием силы тяжести противовеса, и T_λ , обусловленного усилием F_λ , возникающим в точке подвеса колонны штанг.

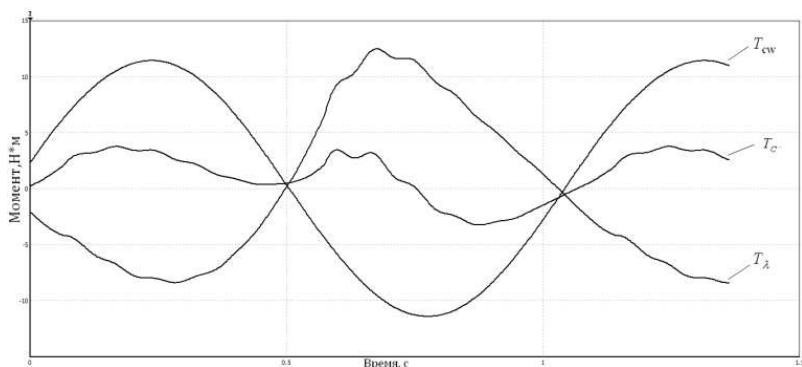


Рис. 5. Моменты, возникающие при работе ШСНУ

Данная модель предоставляет полезную информацию о проектировании и эксплуатации штанговой насосной установки. Разработанную на лабораторном стенде полунатурную модель нагрузки плани-

руется использовать для дальнейшего проектирования и исследования различных систем электропривода ШСНУ, в том числе и для разработки наиболее перспективного бездатчикового управления.

Библиографический список

1. Сакаев А.Ф. Системы и алгоритмы энергосберегающего управления частотно-регулируемыми электроприводами штанговых насосных установок: дис. ... канд. техн. наук (05.09.03). – СПб.: Изд-во С.-Петерб. гос. горн. ин-та им. Г.В. Плеханова (Технический университет), 2009. – 67 с.
2. Анучин А.С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов. – М.: Изд. дом МЭИ, 2015. – 320 с.
3. Holtz J. Sensorless control of induction motor drives // Proceedings of the IEEE. – 2002. – Vol. 90. – No. 8. – P. 1359–1394.
4. Gibbs S.G. Rod pumping Modern methods of design, diagnosis and surveillance. – Ashland, OH: BookMasters Inc., 2012. – P. 682.
5. Wang G.W., Rahman S.S., Wang G.Y. An improved model for sucker rod pumping systems // Australas Fluid Mech. Conf. – 1992. – No. 11. – P. 1137–1140.

Сведения об авторах

Даденков Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: dadenkov@mail.ru

Ефимов Никита Андреевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-15-16, г. Пермь, e-mail: nfmv@mail.ru

Солодкий Евгений Михайлович – инженер кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации», магистрант гр. КПИ-17м, Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: wsd100@gmail.com

Юдин Ростислав Юрьевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-15-16, г. Пермь, e-mail: rostislav-yudin@yandex.ru

М.А. Работников, И.А. Вялых, В.Г. Плехов

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРОДУКТОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЛИНЕЙНЫХ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

В данной статье представлены результаты разработки нелинейных моделей виртуальных анализаторов показателей качества выпускаемой продукции установки гидроочистки фракций средних дистиллятов 24-100 на предприятии ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» в рамках разработки системы усовершенствованного управления технологическим процессом.

Ключевые слова: система усовершенствованного управления технологическим процессом, управление на основе прогнозирующей модели, виртуальный анализатор.

M.A. Rabotnikov, I.A. Vialykh, V.G. Plekhov

CALCULATION OF QUALITY OF OIL PRODUCTS WITH USE NONLINEAR REGRESSION MODELS

This article contains the results of the development of non-linear models of virtual analyzers of the quality of products of Hydrotreating middle distillate fractions 24-100 at the enterprise LLC "Lukoil-Permnefteorgsintez" as part of the designing of an advanced process control system.

Keywords: advanced process control, control based on predictive model, virtual analyzer.

В нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической отраслях промышленности в настоящее время активно внедряются системы усовершенствованного управления технологическими процессами (СУУТП) [1]. Для непрерывной оптимизации технологического режима работы установки гидроочистки фракций средних дистиллятов 24–100 на предприятии ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» принято решение о внедрении СУУТП.

Основным продуктом, получаемым на установке, является топливо дизельное гидроочищенное, используемое в качестве основного компонента товарного топлива для дизельных двигателей.

Ключевой задачей при проектировании СУУТП является создание системы, позволяющей автоматизировать управление технологи-

ческим режимом по технико-экономическим показателям с учетом ограничений в виде требований, предъявляемых к готовой продукции. Для решения поставленной задачи применяются многопараметрические контроллеры, в алгоритмах управления которых задействованы показания виртуальных анализаторов (ВА) – математических моделей, позволяющих спрогнозировать значения показателей качества продукции в режиме реального времени. Проектом СУУТП гидроочистки фракций средних дистиллятов предусмотрена разработка 9 математических моделей ВА показателей качества (табл. 1).

Таблица 1

Перечень прогнозируемых показателей качества

№	Продукт	Показатель качества
1	Дизельное топливо	Содержание серы
2	Дизельное топливо	Температура вспышки
3	Насыщенный раствор МДЭА	Содержание сероводорода
4	Регенерированный раствор МДЭА	Содержание сероводорода
5	Сероводородный газ	Содержание сероводорода
6	Бензин-отгон	Начало кипения
7	Бензин-отгон	Конец кипения
8	Циркулирующий водородсодержащий газ	Содержание сероводорода
9	Углеродородный газ	Содержание сероводорода

Типовым подходом к решению задачи структурной и параметрической идентификации виртуальных анализаторов является многопараметрический регрессионный анализ, учитывающий только линейные эффекты, независимыми переменными для которого являются параметры технологического процесса. Для оценки достоверности построенных моделей по тестируемой выборке лабораторных анализов и соответствующих по времени параметров технологического процесса определяется коэффициент детерминации и средняя ошибка [2]. В качестве примера рассмотрен виртуальный анализатор содержания серы в форме линейной регрессионной модели:

$$Q = 30,53551865 \times \mathbf{PDRA1202} - 0,05453520641 \times \mathbf{DT_DC02} + 0,0641002804 \times \mathbf{WABT} - 25,55441093 \quad (1)$$

Коэффициент детерминации модели (1) составил 0,5599, средняя ошибка – 2,804 %. Для повышения точности прогнозирования применена модель в форме нелинейной регрессии:

$$\begin{aligned}
Q = & -0,5840082169 \times DT_DC02 + 0,005991364829 \times DT_DC02^2 \\
& + 39,29295731 \times PDRA1202 - 0,2204979509 \times QR1705 - 0,04415844753 \\
& \times FEED_UZK - 42,58859634 \times TR2220 + 0,2119316608 \times TR2220^2 \\
& - 0,0003491226526 \times TR2220^3 - 0,02455956116 \times FEED_DBT \\
& - 0,04861244187 \times FEED_AVT - 0,0881062448 \times FRC A0710D \\
& - 0,02332483791 \times H2FEED2 - 5,038134575 \times PRCA1510 + 2926,449219 \quad (2)
\end{aligned}$$

Коэффициент детерминации модели (2) составил 0,6288, средняя ошибка – 1,339 %. Описание используемых переменных и промежуточных вычислений в ВА приведено в табл. 2.

Таблица 2

Виртуальный анализатор содержания серы в дизельном топливе

Переменная	Дескриптор
TRCA9248	Температура на входе в реактор 241DC-02
TRA1208	Температура на выходе из реактора 241DC-02
PDRA1202	Перепад давления 2-го слоя катализатора в реакторе 241DC-02
QR1705	Содержание водорода в циркулирующем BCG
FQRC8398	Расход легкого газойля УЗК
FQRC8602	Расход бензина коксования
FQRC8603	Расход дизельного топлива гидрокрекинга
FQRC8605	Расход легкого газойля каталитического крекинга
FQRC8601	Расход прямогонного дизельного топлива АВТ
FQRC8636	Расход вакуумного дизельного топлива АВТ
TR2220	Температура куба DA-02
FY0812	Расход BCG в тройник смешения, квенч в реактор DC-02
FRC A0710D	Расход сырьевой смеси на установку
PRCA1510	Давление в FA-03
TRCA9248	Температура на входе в реактор DC-02
WABT = 241TRCA9248 + 2/3 × (241TRA1208 – 241TRCA9248)	
DT_DC02 = TRA1208 - TRCA9248	
FEED_UZK = (FQRC8398 × 850) / (FQRC8602 + FQRC8603 + FQRC8605 + FQRC8398 × 850 + FQRC8601 + FQRC8636) × 100	
FEED_DBT = (FQRC8603 + FQRC8605) / (FQRC8602 + FQRC8603 + FQRC8605 + FQRC8398 × 850 + FQRC8601 + FQRC8636) × 100	
FEED_AVT = (FQRC8601 + FQRC8636) / (FQRC8602 + FQRC8603 + FQRC8605 + FQRC8398 × 850 + FQRC8601 + FQRC8636) × 100	
H2FEED2 = FY0812 / FRC A0710D	

На рисунке представлены реальные данные содержания серы в дизельном топливе и прогнозируемые линейным и нелинейным ВА. Применение нелинейных регрессионных моделей позволяет прогно-

зировать показатели качества продукции установок нефте- и газопереработки с достаточной точностью для использования в системе усовершенствованного управления технологическим процессом.

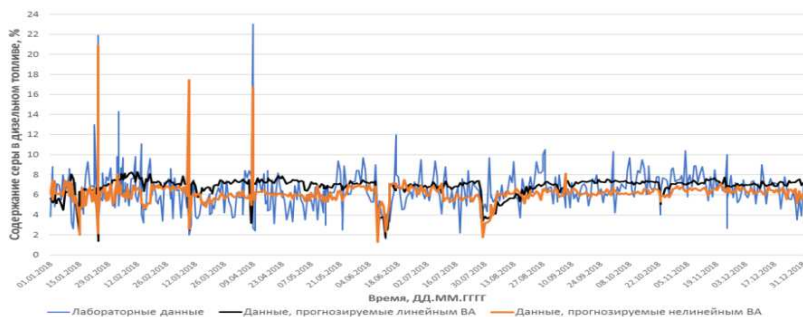


Рис. Содержание серы в дизельном топливе

Библиографический список

1. Опыт разработки и внедрения систем усовершенствованного управления технологическими процессами нефтепереработки на базе виртуальных анализаторов качества / А.Г. Шумихин [и др.] // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2016. – № 2. – С. 39–53.

2. Опыт разработки системы виртуального анализа показателей качества продуктов установок каталитического риформинга бензиновых фракций и системы их подстройки в режиме реального времени / А.Г. Шумихин [и др.] // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2017. – № 2. – С. 45–62.

Сведения об авторах

Работников Михаил Алексеевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТП-18-1м, г. Пермь, e-mail: rabotnikov@pstu.ru

Вялых Илья Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ilya.vyalyh@pstu.ru

Плехов Владимир Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: atp@pstu.ru

А.С. Нешатаев М.С. Орехов

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОЗИРОВАНИЯ СЫРЬЯ В РЕАКТОР СИНТЕЗА КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ

В данной статье рассмотрены аспекты автоматизации дозирования сырья в реактор синтеза КФС с помощью цифровой системы контроля технологического процесса «Emerson» - «Delta V».

Ключевые слова: автоматизация, дозирование, сырье.

A.S. Neshataev M.S. Orehov

THE AUTOMATION OF DOSING OF RAW MATERIALS IN THE SYNTHESIS REACTOR OF THE UREA-FORMALDEHYDE RESINS

This article discusses the aspects of automation of dosing of raw materials in the reactor of UFR synthesis with the help of digital process control system «Emerson» – «Delta V».

Keywords: automation, dosing, raw materials.

ООО «Метадинеа» образована в 2004 г. российской компанией «Метафракс» и финской «Дупеа». Компания является передовым производителем клеевых основ в деревообрабатывающей промышленности и связующих для теплоизоляционной промышленности. Для производства карбамидоформальдегидных смол используется: формалин 55 % концентрации, карбамидоформальдегидный концентрат (КФК), карбамид, вода, меламин, раствор щелочи NaOH 19 %, раствор сульфата аммония.

Синтез КФС (рис. 1) производится поочередным дозированием сырья в реактор и контролем физических показателей процесса внутри аппарата. В зависимости от марки смолы варьируется количество отгружаемого сырья в реактор. Процесс синтеза находится под непосредственным контролем аппаратчика синтеза на станции АРМ. Воздействие на агрегаты осуществляется через дистанционное управление запорнорегулирующей и отсечной арматурой, насосами, мешалками, дозированием сырья и готовой продукции.

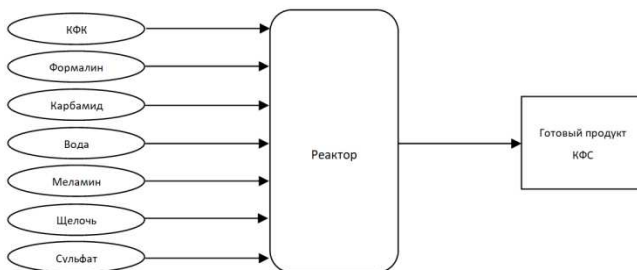


Рис. 1. Синтез КФС

Назначение системы – автоматизация систем отгрузок, что позволит упростить аппаратную часть синтеза рабочий процесс, сократив количество контролируемых параметров. Это даст возможность обезопасить процесс и свести вероятность аварийных ситуаций до минимума.

Условия эксплуатации системы – использование линий дозирования ежесуточное (до 5 раз в сутки). Все контрольно-измерительное оборудование устанавливается в отапливаемых производственных помещениях.

Дополнительные требования. В связи с тем, что у предприятия есть курс развития, куда входит расширение производственных мощностей (установка дополнительных реакторов), система управления процессами должна быть масштабированной, что позволит использовать её при увеличении производственных мощностей.

Описание установки производства КФС и вспомогательного оборудования. Отделение КФС состоит из двух реакторов (рис. 2) и холодильников готовой продукции, емкостей хранения сырья и склада готовой продукции. Реактора имеют общие трубопроводы подачи сырья (рис. 3): общая линия для формалина, общая для КФК, общая для воды и т.д. Соответственно насосы и расходомеры на линиях также используются для обоих реакторов. Это позволяет сэкономить на оборудовании и материалах. Но такая компоновка образует дополнительные возможные аварийные ситуации. В связи с этим при разработке алгоритма управления предусматриваются возможные аварии, которые исключаются методом проверки переменных процесса.

Выбор оборудования производится в соответствии с физическими и химическими качествами сырья и категорией помещений. Оборудование, контактирующее с сырьем, выполнено из нержавеющей стали, так как сырье имеет коррозирующие свойства.

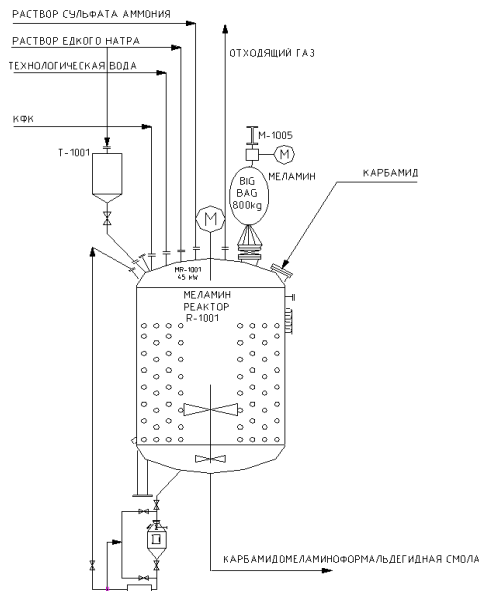


Рис. 2. Реактор синтеза КФС

КИП-оборудование выбрано в соответствии с протоколом Foundation Fieldbus. Управляющие устройства частотные преобразователи, пневмоостров выбраны в соответствии с протоколом связи Profibus DP. Система контроля и управления – фирма Emerson – ПО «Delta V». Такой выбор обусловлен экономически выгодными характеристиками с возможностью выполнения всех поставленных целей. На момент подбора оборудования и ПО продукты фирмы Emerson были наиболее подходящими.

ПО «Delta V» использует несколько языков программирования (рис. 4): язык функциональных блоков – для управления и контроля КИП, динамического оборудования, запорнорегулирующей и отсечной арматуры; язык функциональных последовательностей – для выполнения управления фазами дозирования, регулирования производственных процессов; язык структурированного текста – для описания логики управления фаз дозирования, регулирования процессов.

В итоге система управления позволяет выполнять технологический процесс дозирования сырья в реактор в автоматическом режиме, предотвратить аварийные ситуации путем проверки оборудования на

наличие ошибок, проверки выполнения заданных команд контроллером оборудованию и блокировки оборудования, не используемого в конкретном процессе.

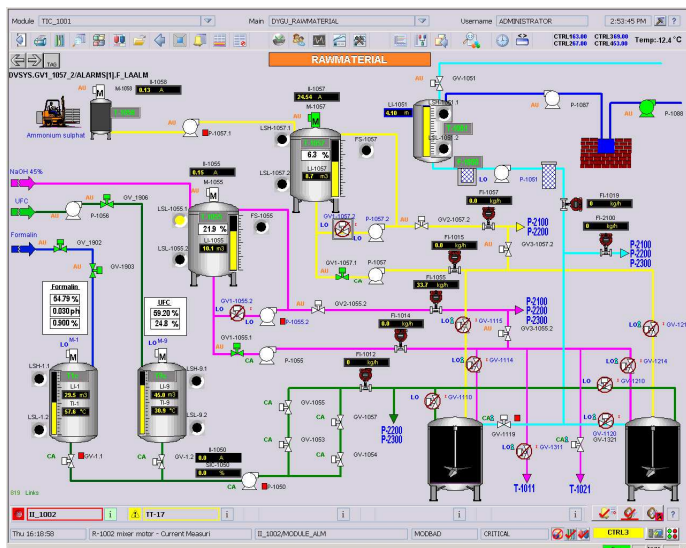


Рис. 3. Панель оператора на АРМ. Общие линии дозирования сырья

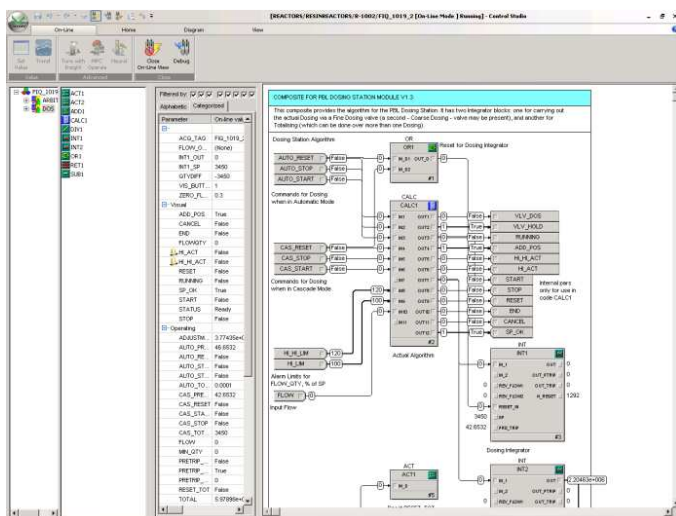


Рис. 4. Пример использования языков программирования

Разработанная система позволяет использовать ее на других идентичных установках в случае увеличения производственных мощностей предприятия. Также разработанный алгоритм дозирования позволяет использовать одно общее оборудование для работы на нескольких установках в поочередном режиме. Эти результаты позволяют получить финансовую экономию на дорогостоящем оборудовании и при проектировании новых систем управления, а также экономию времени и трудозатрат.

Библиографический список

1. Технологический регламент №1 производства карбамидоформальдегидных смол /ООО «Метадинеа» – 202 с.
2. Электронная документация DeltaV.
3. Петров И.В. Программируемые контроллеры / под ред. проф. В.П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 256 с.

Сведения об авторах

Нешатаев Алексей Сергеевич – метролог филиала ООО «Метадинеа» в г. Губаха, студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТП-14-1бз, г. Пермь, e-mail: aleksejneshataev@gmail.com

Орехов Михаил Сергеевич – старший преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: atp@pstu.ru

М.Д. Коршунов, А.А. Широков

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

В статье рассмотрена структура цифровых образовательных ресурсов, ориентированных на изучение дисциплин технического профиля. Приведены особенности использования обучающих систем в лабораторном практикуме. Описаны особенности применения мультимедийных технологий в учебном процессе.

Ключевые слова: цифровые образовательные ресурсы, автоматизированные обучающие системы, технологии мультимедиа.

M.D. Korshunov, A.A. Shirokov

PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF DIGITAL EDUCATIONAL RESOURCES FOR THE STUDY OF TECHNICAL DISCIPLINES

The article describes the structure of digital educational resources, focused on the study of technical disciplines. The features of the use of training systems in laboratory practice are given. The features of the use of multimedia technologies in the educational process are described.

Keywords: digital educational resources, automated learning systems, multimedia technology.

Современный уровень развития компьютерной техники и программного обеспечения позволяет существенно повысить эффективность применения автоматизированных обучающих систем (АОС).

Использование АОС охватывает все уровни подготовки специалистов: начальный уровень, средний и высший профессиональный уровень. Безусловно, более важным для работников технических вузов является разработка АОС для обучения студентов по своим направлениям подготовки.

Полноценная АОС выполняет практически все функции, необходимые для организации как очного, так и дистанционного обучения:

- управление учебным процессом;
- предоставление доступа студентов к образовательным ресурсам;
- контроль усвоения знаний, умений и навыков.

Наиболее трудоемким процессом при внедрении АОС является создание цифровых образовательных ресурсов (ЦОР).

Структура ЦОР изучаемой дисциплины состоит из следующих основных частей:

- электронный учебник, предоставляющий студенту основную информацию по курсу в соответствии с рабочей программой;
- методическое обеспечение (пособия, указания), используемое для проведения практических и лабораторных работ;
- контролирующая подсистема;
- виртуальные тренажеры (симуляторы) для получения профессиональных навыков.

Важное значение для повышения уровня усвоения материала имеет применение средств мультимедиа, обеспечивающих комплексное использование различных форм представления информации (текст, графика, звук, видео) как статической, так и динамической совместно с возможностями интерактивной работы пользователей. Использование мультимедиа-технологий во многих дисциплинах повышает скорость и качество усвоения учебного материала посредством комбинированного воздействия на слух и зрение, что существенно повышает уровень запоминания информации. К тому же применение тренажеров вовлекает обучаемого в активные действия, что позволяет выработать устойчивые навыки выполнения определенных работ под контролем системы управления обучением.

Электронный учебник по своему содержанию может мало отличаться от печатного методического пособия. Более того, длительное общение с компьютером может вредно влиять на здоровье студента. Поэтому целесообразно предусмотреть наличие методических пособий в традиционной форме или средства печати изучаемых разделов.

В то же время цифровые образовательные ресурсы имеют ряд существенных преимуществ. Основными из них являются:

- простота поиска необходимых разделов по оглавлению и контенту;
- удобство перехода на выбранный раздел;
- многоуровневая структура ресурсов, обеспечивающая углубленное изучение материала за счет перехода с помощью гиперссылок на вспомогательные документы или другие учебные пособия;
- возможности использовать поисковые ресурсы интернета;

- интерактивность, позволяющая активизировать процесс усвоения материала;
- использование возможностей мультимедиа, особенно в части включения в текст графического и анимационного материала.

Современные компьютерные средства позволяют также использовать звуковой канал, что снижает нагрузку на студента по восприятию информации с экрана.

Процесс создания теоретической части цифровых ресурсов мало отличается от традиционных форм написания учебников. Трудоемкость этого процесса влияет на сроки их создания. В то же время возможность создать модульную и многоуровневую структуру документа облегчает редактирование и адаптацию имеющихся ресурсов к требованиям довольно часто изменяемых рабочих программ дисциплин.

Разделы цифровых учебников по определенным темам могут быть внедрены в методические пособия практических и лабораторных работ как теоретическая часть.

Более сложной с точки зрения организации является разработка контролирующей (или тестовой) подсистемы.

Контролирующая подсистема может использоваться как самостоятельная как по всему теоретическому курсу, так и по отдельным разделам или при защите лабораторных и практических работ. В основном этот процесс представляет собой электронное тестирование, где положительным результатом считается выбор правильного ответа из перечня возможных либо результат решения задания, совпадающий (близкий) с эталонным. Компьютеризация данного процесса позволяет практически мгновенно обработать результаты тестирования и использовать их в дальнейшем процессе обучения. Например, рекомендовать дополнительно изучить неусвоенные разделы (в том числе предложить дополнительную литературу).

Более сложной является проверка результатов выполнения лабораторных работ, поскольку в данном случае контролируются навыки, полученные при выполнении предложенных в работе заданий.

Лабораторные работы в вузе проводятся, как правило, в специализированных лабораториях. При этом, даже если применяется компьютерная техника, далеко не всегда она используется для контроля результатов ее выполнения.

На сегодняшний день возможна организация лабораторных работ с использованием виртуального лабораторного практикума на

основе компьютерных симуляций, интерактивных моделей и виртуальных стендов с настраиваемыми параметрами [1].

В этом случае процесс выполнения заданий может контролироваться специальными программными средствами, что позволяет корректировать задания, оценивать результаты и усложнять (переходить к следующим) задания.

Более сложная задача – выработка устойчивого навыка управляющей деятельности в человеко-машинных системах [2]. В этом случае оценивается не только правильность выполнения управляющих действий, но и оптимальность (во многих случаях по времени) работы.

Как один из вариантов лабораторного практикума может рассматриваться посещение производственных объектов с соответствующим оборудованием. Но опыт показывает, что такое посещение сводится к тривиальной экскурсии (желательно с грамотным экскурсоводом), а метод проведения работы – наблюдение.

Как уже отмечалось выше, и в процессе использования цифровых ресурсов для теоретического обучения, и особенно в лабораторном практикуме применяются технологии мультимедиа. При всей эффективности использования мультимедийного контента процесс его создания является значительно более сложным, и в большинстве случаев преподаватели технических дисциплин не владеют этими методиками. Поэтому целесообразно создание специализированных групп, включающих специалистов не только в области мультимедийных технологий, но и специалистов в области режиссуры, фото- и видеосъемки, обработки звука [3].

Создание мультимедийных цифровых образовательных ресурсов позволяет существенно повысить эффективность обучения студентов.

Библиографический список

1. Яцевич Т.А., Леган М.В. Об актуальности использования мультимедийных электронных образовательных ресурсов в образовательном процессе технических ВУЗов // Инновации в образовании. – М.: Изд-во Современ. гум. ун-та, 2013. – Вып. 11. – С. 133–143.
2. Полевщиков И.С., Файзрахманов Р.А. Применение компьютерных тренажеров для управления процессом обучения операторов технологических установок сенсомоторным навыкам // Автоматизи-

рованные системы управления и информационные технологии: материалы всерос. науч.-техн. конф. (г. Пермь, 17 мая 2018 г.): в 2 т. Т.1. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2018. – С. 81–86.

3. Широков А.А., Клюкин А.А. Проблемы преподавания цикла дисциплин по созданию мультимедийных систем // Педагогика, психология и обществознание – 2014: сб. ст. междунар. науч.-техн. конф. (29–31 октября 2014 г., г. Брянск) / Брянск: НМД, 2014. – С. 28–32.

Сведения об авторах

Коршунов Максим Дмитриевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КПИ-17-1м, г. Пермь, e-mail: korshunov.max338@mail.ru

Широков Александр Аркадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shirokov@pstu.ru

А.С. Спирина, М.С. Орехов

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТРЕХИМПУЛЬСНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ БАРАБАННОГО ПАРОВОГО КОТЛА ТИПА ГМ-50-1

В данной статье рассмотрены аспекты автоматизации трехимпульсной системы регулирования уровня, расхода воды и расхода пара.

Ключевые слова: автоматизация, трехимпульсная система, барабанный паровой котел.

A.S. Spirina, M.S. Orekhov

THE METHOD OF COMPUTING THE 3-PULSE SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL OF THE BOILER DRUM TYPE GM-50-1

This article deals with aspects of automation 3-pulse level control, water flow and steam flow.

Keywords: automation, 3-pulse system, a drum boiler.

В данной статье рассмотрен способ повышения уровня производительности труда и оптимизации используемых ресурсов посредством автоматизации системы автоматического управления. Приведено краткое описание автоматизируемого объекта управления. Рассчитана трехимпульсная система автоматического регулирования.

Описание объекта автоматизации. Технологический участок предназначен для производства пара. Котел типа ГМ-50-1 (по ГОСТ 3169-89 Е-50-4-440ГМ) работает на попутном газе и предназначен для сушки картона (бумаги) и обеспечивает паром все производство. Чем толще картон, тем больше пара потребляется для его сушки. В состав котельной ООО «Прикамский картон» входит четыре котла (рис. 1).

Описание контура регулирования. Тепло передаётся носителю от сжигаемого топлива, приводящего к его закипанию. Образующая пароводяная смесь перенаправляется в барабан, где и осуществляется разделение носителя и генерируемого продукта (рис. 2). Благодаря такому принципу работы барабанные котлы обеспечивают высокий уровень производительности, а их КПД достигает 90 %.

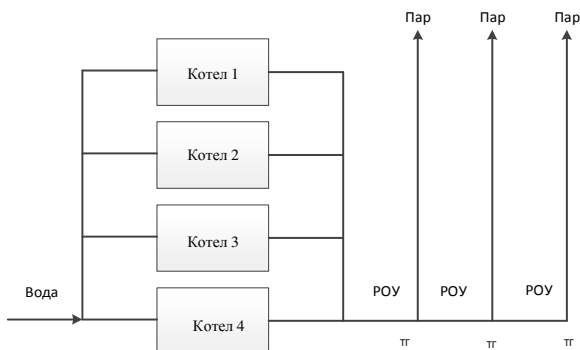


Рис. 1. Структура ТЭЦ: ТГ – турбогенератор;
РОУ – редукционная охлаждающая установка

Характерной особенностью котлов, оборудованных барабанами, является возможность получения низкотемпературного пара, благодаря чему холодный запуск агрегата существенно упрощается. Требования, относящиеся к качеству используемой воды, умеренные, так как есть возможность выведения солей посредством непрерывной продувки. Котлы с барабанами имеют повышенную аккумулирующую способность, благодаря чему исключаются резкие изменения нагрузки в процессе частотной регуляции сети.

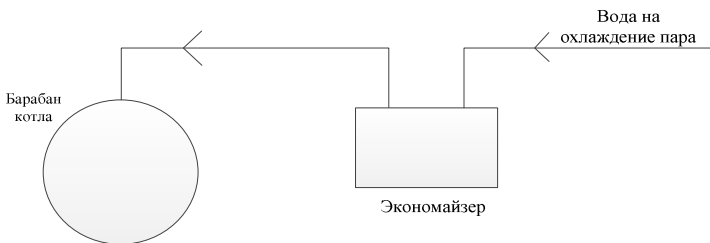


Рис. 2. Структурная схема контура регулирования

Есть несколько аспектов в устройстве барабанных котлов, требующих модернизации:

- толстые стенки барабана – существенно ослаблены множеством отверстий, обусловленных потребностями трубной системы. Это приводит к возникновению избыточных температурных напряжений, способных стать причиной возникновения трещин;

– ограниченная скорость пуска – избежать термических трещин можно только существенно снизив скорость пуска;

– ограниченный диапазон рабочего давления – агрегаты с естественной циркуляцией могут работать с давлением не выше 17–18 МПа. Если пренебречь указанным аспектом, то вода не сможет естественно циркулировать в котельном экране.

Трехимпульсная АСР. Для ликвидации статической ошибки применяют трехимпульсную схему (рис. 3). В этом случае в динамике при возмущении по расходу пара АСР с помощью датчика, который позволяет повысить качество регулирования и не допустить значительного отклонения уровня воды при возмущении по этому каналу, статическая ошибка устраняется за счет того, что сигналы по расходу пара и воды подаются в установившемся состоянии (в статике) на вход регулятора равными по значению и противоположными по знаку. Итак, в трёхимпульсной АСР уровня в качестве импульсов используются величины уровня в барабане котла, расхода пара и расхода питательной воды.

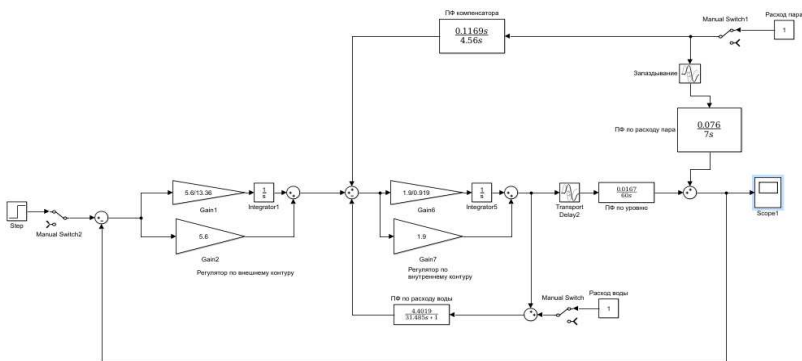


Рис. 3. Модель трехимпульсной АСР

Идентификация в MatLab Toolboxes и Linreg. В пункте меню «Идентификация объекта» вводим кривую разгона. При этом устанавливаем величину запаздывания 3 с, равную времени, за которое напряжение достигнет величины 3 % от установившегося. Шаг 30 с и количество точек 35. После расчета передаточных функций необходимо выбрать передаточную функцию с наименьшим СКО.

Коэффициент передачи объекта по каналу уровня

$$K = \frac{1}{s} = 0,0167. \quad (1)$$

Передаточная функция объекта по основному каналу

$$W_L = \frac{0,0167}{60p} e^{-3t}, \quad (2)$$

Коэффициент передачи объекта по каналу расхода

$$K = \frac{40,6-0}{10\%} = 4,06. \quad (3)$$

Передаточная функция объекта по вспомогательному каналу расхода воды будет иметь вид

$$W_F = \frac{4,4019}{31,485p+1} \cdot e^{-0,336t}. \quad (4)$$

Коэффициент передачи объекта по каналу расхода

$$K = \frac{38,47-0}{10\%} = 3,847. \quad (5)$$

Передаточная функция объекта по вспомогательному каналу расхода пара будет иметь вид

$$W_G = \frac{0,076}{7p} e^{-2,6t}. \quad (6)$$

Расчет трехимпульсной АСР питания. Использование трехимпульсной АСР уровня воды в ГМ-50-1 с ПИ-регулятором с импульсами по расходу питательной воды и пара позволяет регулировать объект с эффектом «набухания».

Передаточная функция объекта по каналу уровня

$$W_L = \frac{0,0167}{60p} e^{-3t}. \quad (7)$$

Передаточная функция объекта по каналу расход пара

$$W_G = \frac{0,076}{31,485p+1} e^{-0,336t}. \quad (8)$$

Передаточная функция компенсирующего звена

$$W_k(s) = \frac{W_L(s)}{W_G(s)} = 0,0256e^{-0,4p}. \quad (9)$$

Был проведен расчет трехимпульсной САР. Система была смоделирована с помощью пакета Simulink программы MatLab. Произведена автоматизация барабанного парового котла путем регулирования уровня, расхода воды и пара.

Библиографический список

1. Клюев А.С. Наладка систем автоматического регулирования барабанных паровых котлов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 279 с.

2. Клюев А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

Сведения об авторах

Спирина Анастасия Сергеевна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АХТП-15-1пб, г. Пермь, e-mail: nastjaspirina@mail.ru

Орехов Михаил Сергеевич – старший преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств», ведущий инженер ХТФ Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: atp@rambler.ru

В.Р. Петуховская, М.С. Орехов

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ НАПОРНОГО ЯЩИКА БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ «Б-21 АМ»

В данной статье рассмотрен способ повышения уровня производительности труда и оптимизации используемых ресурсов посредством автоматизации напорного ящика бумагоделательной машины. Приведено краткое описание объекта управления и процесса массоподготовки. Показана идентификация объекта управления. Выявлены пути решения проблемы аварийного останова компрессора, которая заключается в остановке подачи воздуха в напорный ящик. Предложена автоматизация процедуры включения дополнительного компрессора в случае аварийного останова основного компрессора.

Ключевые слова: бумагоделательная машина, напорный ящик, идентификация, АСУТП.

V.R. Petuhovsky, M.S. Orekhov

AUTOMATION AND IDENTIFICATIONS HEADBOX "B-21 AM" PAPER MACHINE

This article describes a way to improve productivity and optimize the use of resources by automating the headbox of the paper machine. A brief description of a control object and the stock preparation process. It shows the identification of the control object. The ways of solving the problem of the emergency stop the compressor, which is to stop the air supply to the headbox. For the solution of the above problem automation of the procedure of turning on of the additional compressor in case of emergency stop of the main compressor is offered.

Keywords: paper machine, headbox, identification, APCS.

Группа предприятий бумажного производства оказывает услуги широкого спектра: от переработки целлюлозного сырья и производства полуфабрикатов до выпуска и реализации готовой продукции. Полный цикл производства позволяет предлагать индивидуальные упаковочные решения для бизнеса, работающего в пищевой, химической, мебельной и других отраслях.

Одним из самых важных процессов в производстве бумажной продукции является процесс массоподготовки, где вторичная макулатурная масса очищается от разного рода включений, задается нужной толщиной (весом), а так же равномерно напускается на продольную сетку бумагоделательной машины при помощи напорного ящика.

Описание объекта управления. Напорный ящик закрытого типа с воздушной подушкой и с дефлокуляционными валиками применяется в бумагоделательных машинах со скоростью до 600 м/мин., выпускающих разнообразную по массе продукцию, требующую значительных изменений пропускной способности и концентрации массы [4]. Напорный ящик обеспечивает равномерный напуск массы на продольную сетку бумагоделательной машины.

С повышением количества поступающей макулатурной массы в напорный ящик давление воздушной подушки должно увеличиваться, чтобы масса равномерно распределялась на конвейер.

Для создания необходимого избыточного давления воздушной подушки в напорном ящике используется вентилятор специальной конструкции. Вентилятор питается от преобразователя частоты. В нижней части боковой стенки вмонтирован датчик, измеряющий общее давление в напорном ящике, подключенный посредством регулятора к частотному преобразователю питания вентилятора. Таким образом, частотный привод изменяет обороты вентилятора и поддерживает заданное давление в напорном ящике [2].

Датчик уровня бумажной массы в напорном ящике (разностного типа) используется для поддержания уровня массы в напорном ящике путем управления частотным преобразователем оборотами двигателя смесительного насоса.

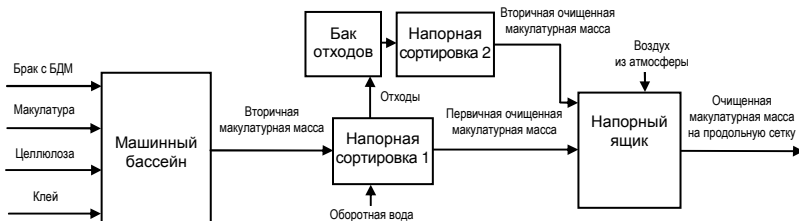


Рис. 1. Структурная схема массоподготовки

Разбавленная масса с помощью смесительного насоса, поступает на напорную сортировку № 1 фирмы Voith марки GR-31, где очищается от крупных включений, пучков волокон и других загрязнений. Отходы от напорной сортировки № 1 направляются в бак отходов, далее насосом – на вторую ступень сортирования – напорную сортировку № 2 фирмы Voith марки GR-31. Очищенная масса поступает

в напорный ящик, где должен поддерживаться ее постоянный уровень 350 мм. Затем под давлением воздушной подушки, которое регулируется оборотами вентилятора, макулатурная масса выдавливается на конвейер.

Сырьем для процесса массоподготовки является очищенная макулатурная масса, состоящая из вторичной макулатуры, целлюлозы, клея и брака с бумагоделательной машины [1] (рис. 1).

Стадии процесса массоподготовки. Основные стадии процесса массоподготовки [1].

1. Поступление макулатурной массы в машинный бассейн. Вторичная макулатурная масса из очистного отдела, прошедшая дополнительную отчистку, состоит из брака с бумагоделательной машины (БДМ), макулатуры, целлюлозы и клея. После смешения в машинном бассейне макулатурная масса поступает на следующую стадию массоподготовки.

2. Подача оборотной воды. Обратная вода используется для разбавления бумажной массы в напорной сортировке № 1.

3. Напорная сортировка. Разбавленная масса с помощью смесительного насоса поступает на напорную сортировку № 1, где очищается от крупных включений, пучков волокон и других загрязнений. Очищенная масса поступает в напорный ящик. Отходы от напорной сортировки направляются в бак отходов, далее насосом поступают на вторую ступень сортирования – напорную сортировку № 2.

4. Напорный ящик. Макулатурная масса с помощью воздушной подушки равномерно распределяется на продольную сетку БДМ.

5. Продольная сетка БДМ. Сеточная часть бумагоделательной машины представляет собой сеточный стол с установленными на нем обезвоживающими элементами, на котором проходит отлив и формирование бумажного полотна на движущейся бесконечной сетке [1].

При функционировании напорного ящика возможно возникновение следующих неисправностей: отключение электроэнергии; прекращение подачи массы; недостаточное количество воздуха для создания давления в напорном ящике.

В первом случае перекрывается выход массы на бумагоделательную машину и сырье с макулатурного отделения. Во втором необходимо остановить смесительный насос и бумагоделательную машину. Прекращение подачи массы фиксируется визуально.

В третьем случае необходимо снизить потребление воздуха на другие нужды и включить в работу дополнительный компрессор. В работе предлагается автоматизировать процедуру включения в работу дополнительного компрессора.

Идентификация системы управления. Для получения передаточной функции по каналу уровня макулатурной массы в напорном ящике на вход системы подавали ступенчатое воздействие в виде изменения оборотов смесительного насоса.

Коэффициент передачи объекта по каналу уровня

$$K = \frac{1}{S} = \frac{1}{H \cdot d} = \frac{1}{5,803 \cdot 2,16} = \frac{1}{12,5344} = 0,07978044, \quad (1)$$

где S – площадь поперечного сечения напорного ящика; H – высота напорного ящика; d – диагональ напорного ящика [6].

Для получения передаточной функции по каналу давления воздушной подушки в напорном ящике, были построены графики изменения давления, оборотов вентилятора от времени. Производим аппроксимацию полученных кривых разгона с помощью пакета расширения системы MatLab/Simulink System Identification Toolbox, в результате получаем следующие передаточные функции:

$$W_{\text{об.по уровню}} = \frac{0,07978044}{s} e^{-0,983S}, \quad (2)$$

$$W_{\text{об.по давлению}} = \frac{3,9345}{1+7,2536 \cdot s} e^{-4,383S} \quad (3)$$

Значения параметров ПИ-регулятора были рассчитаны в программе LinReg. Расчеты выполнялись методом В.Я. Ротача (таблица).

Параметры настройки регулятора
для каналов уровня и давления

Параметры настройки регулятора	Давление	Уровень
	ПИ-регулятор	ПИ-регулятор
K_p	0,285	8,586
$T_{\text{и}}$	5,748	3,191

Проведенный синтез системы автоматического регулирования уровня и давления воздушной подушки в напорном ящике позволил добиться показателей качества, удовлетворяющих требованиям технологического процесса (рис. 2).

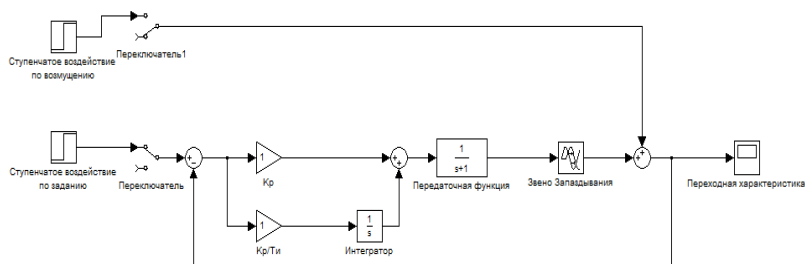


Рис. 2. Функциональная схема САУ уровня и давления воздушной подушки в напорном ящике

Автоматизирование системы управления компрессором.

На станции управления имеется возможность выбрать режим работы вентилятора: «Ручной», «Автомат» и «Отключен», переключателем «Выбор режима». При отсутствии аварийных ситуаций в регулируемом режиме работает вентилятор, переключатель которого установлен в положение «Автомат» [3].

При аварии основного вентилятора, работающего от преобразователя частоты, будет включен индикатор «Авария» соответствующего вентилятора и запущен резервный вентилятор от преобразователя частоты. В таком случае станция работает следующим образом: при аварии вентилятора, работающего от преобразователя частоты, будет запущен второй вентилятор от преобразователя частоты.

Если при работающем главном компрессоре давление снижается из-за большого расхода воздуха, то по сигналу от реле давления в работу включается резервный компрессор. При повышении давления резервный компрессор останавливается по сигналу от реле давления и включается основной компрессор.

Порядок ввода оборудования в резервное состояние:

- 1) открыть задвижку на байпасном трубопроводе компрессора;
- 2) закрыть задвижку на нагнетательном трубопроводе компрессора;
- 3) остановить компрессор, путем нажатия кнопки «стоп»;
- 4) закрыть задвижку на приемном трубопроводе компрессора;
- 5) остановить электродвигатель агрегата;
- 6) остановить вентиляционную систему электродвигателя компрессора;
- 7) включить резервный компрессор в работу.

Был произведен расчет двух-, одноконтурных САР. Система была смоделирована с помощью пакета Simulink программы MatLab. Произведена автоматизация напорного ящика, путем добавления резервного компрессора на линию подачи воздуха из атмосферы в напорный ящик.

Библиографический список

1. Технологический регламент № 21-4 производства бумаги для гофрирования; ООО «Прикамский картон». – Пермь, 2018. – С. 27–34.

2. Билоус О.А., Казанцев В.П., Бочкарев С.В. Синтез системы автоматического регулирования уровня бумажной массы в напорном ящике // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Информатика, вычислительная техника и управление. – 2015. – № 8.

3. Электросервис. Станция управления насосами водоснабжения и отопления [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.esc.su/component/scatalog/category/7-stanciya-upravleniya-nasosami-vodosnabjeniya> (дата обращения: 12.04.2019).

4. Паспорт напорного ящика фирмы «VOITH». – 27.09.2015. – С. 1–6.

5. StudeFiles. Порядок ввода оборудования в резерв и вывода из резерва [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfiles.net/preview/5622233/page:29/> (дата обращения: 12.04.2019).

6. Емельянов А.И., Емельянов В.А., Калинина С.А. Практические расчеты в автоматике. – М: Машиностроение, 1967. – 312 с.

Сведения об авторах

Петуховская Виктория Романовна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АХТП-15-1пб, г. Пермь, e-mail: wikapet1997@rambler.ru

Орехов Михаил Сергеевич – старший преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств», ведущий инженер ХТФ Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: atp@rambler.ru

Н.А. Черепанов

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАПАЗОНОВ ИЗМЕНЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ
ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЗАДАННОЙ
МАРКИ БУМАГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА
МНОЖЕСТВЕННОЙ РЕГРЕССИИ**

Целью работы является нахождение и исследование зависимости параметров, определяющих оптимальные значения для технологического процесса. Предлагается с помощью построения статистической модели выполнять прогнозирование целевых показателей в ходе технологического процесса. В работе получены результаты использования множественного регрессионного анализа экспериментальных данных для нахождения оптимальных параметров для технологического процесса производства бумаги для гофрирования.

Ключевые слова: производственный процесс, показатели качества, технологические параметры, бумажное полотно, статистическая модель, регрессионный анализ.

N.A. Cherepanov

**RANGE DETERMINATION OF KEY CHANGE PARAMETERS
IN THE PROVIDED PAPER MARK PRODUCTION USING
THE METHOD OF MULTIPLE REGRESSION**

The purpose of the work is to find and study the dependencies of the parameters that determine the optimal values for the technological process. It is proposed using the construction of a statistical model to perform the prediction of target indicators in the course of the technological process. In this paper, the results of using multiple regression analysis of experimental data to find the optimal parameters for the technological process of production of paper for corrugation.

Keywords: production process, quality indicators, technological parameters, paper web, statistical model, regression analysis.

Производство бумаги является достаточно сложным технологическим процессом (ТП) на целлюлозно-бумажных комбинатах (ЦБК). Для получения той или иной продукции (целлюлозы, изделий из бумаги и картона) производство включает в себя соединение разных секций ТП. Анализ качества готовой продукции (бумаги) на предприятии производится в лабораторных условиях, и довольно много времени тратится на определение категории качества (сорта) бумаги, при

этом ее часть может отправляться на повторную переработку как бракованная продукция.

Из-за довольно протяженного и сложного производственного процесса на ЦБК может выявляться большое количество низкосортных или бракованных изделий. Поэтому в настоящее время актуальной является задача определения и анализа показателей качества непосредственно в ходе технологического процесса изготовления продукции для обеспечения оперативных мероприятий по коррекции качественных показателей.

Для решения обозначенных задач по анализу показателей качества бумаги необходимо выделить основные этапы (секции) производства и основные технологические параметры, определить их возможные отклонения и выявить наиболее значимые параметры, непосредственно влияющие на качество выпускаемой продукции (бумаги).

Как уже отмечалось, процесс производства бумаги достаточно распределен и обширен, поэтому его можно разделить на отдельные секции. Общая технологическая схема производства включает в себя следующие этапы: процесс подготовки бумажной массы, проклейка бумажной массы, образование и использование оборотных вод, оборотного брака, напорные ящики, отлив и формование бумажного полотна, прессование бумажного полотна, сушка бумажного полотна, отделка и упаковка, промывка одежды машины.

Характерной особенностью процесса производства бумаги [1] является зависимость качества продукции как от управляемых факторов: расход и концентрация массы, скорость секций БДМ, давление и температура пара в сушильных цилиндрах, расход крахмала для проклейки, так и неуправляемых факторов: качество макулатурного сырья, температура и влажность в цехе, текущий износ и натяжение сеточного полотна, возникновение обрывов бумажного полотна и т.д.

Описание схемы технологического процесса. На рис. 1 изображена общая схема технологического процесса, которая включает в себя шесть участков: участок 1 «Процесс массоподготовки»; участок 2 «Отлив и формование бумажного полотна»; участок 3 «Прессование бумажного полотна»; участок 4 «Режим сушки бумажного полотна»; участок 5 «Проклейка бумажной массы»; участок 6 «Досушивание и намотка». На первом участке макулатура в кипах и отбракованная продукция с наката по наклонному транспортеру подаются в гидро-разбиватель. Сюда же жидким потоком подается макулатурная масса

с бака отходов. Приготовленная из короткого и длинного волокна бумажная масса поступает в напорные ящики (НЯ) нижнего и верхнего слоя. Напорные ящики гидродинамические, закрытого типа с регулируемым давлением воздушной подушки, с шириной напуска 2490 мм. Концентрация массы в НЯ: в верхнем – 0,55 %, в нижнем – 0,7 %. Распределение массы на НЯ в соотношении 33 % на верхний, 67 % на нижний слой.

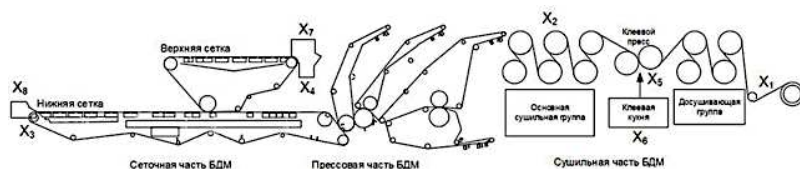


Рис. 1. Общая схема процесса производства бумаги

Сетчатая часть бумагоделательной машины состоит из двух сеток – верхней и нижней (основной), на которых происходит отлив и формование бумажного полотна.

Прессовая часть состоит из трех прессов. Сухость после первого пресса составляет 32–36 %, после второго – 42–44 %, после третьего – 44–49 %. Прессовая часть предназначена для обезвоживания и упрочнения полотна бумаги и картона и состоит из трех зон прессования. Каждый вал имеет своё сукно, в свою очередь каждое сукно имеет смачивающий спрыск и спрыск высокого давления, сукномойку.

Сушильная часть состоит из двух частей: предварительной сушки до клеильного пресса и досушивающей группы. Предварительная сушка состоит из 32 сушильных цилиндров, цилиндры расположены двухъярусно. По приводу цилиндры разделены на три группы: 1-я группа с 1–8 цилиндрами; 2-я группа с 9–20 цилиндрами; 3-я группа с 21–32 цилиндрами. На клеильном прессе с применением химиката для поверхностной проклейки происходит проклейка полотна бумаги с обеих сторон. В конце машины установлен барабанный накат для намотки бумаги и картона в тамбуры диаметром до 2600 мм. Максимальная скорость наката 800 м/мин.

Как отмечалось, процесс производства бумаги для гофрирования является достаточно сложным технологическим процессом. Для анализа данных были рассмотрены следующие технологические параметры, измеряемые на каждой из рассмотренных ранее стадий производства

бумаги: скорость БДМ(м/мин); суммарный напор, верхний напорный ящик (м); суммарный напор, нижний напорный ящик (м); расход массы нижней сетки ($\text{м}^3/\text{ч}$); расход массы верхней сетки ($\text{м}^3/\text{ч}$); концентрация короткого волокна (%); концентрация длинного волокна (%); концентрация фракционатора (%); давление насоса верхней сетки (Бар); давление насоса нижней сетки (Бар); давление пара БДМ (Бар); давление пара на входе в сушильные цилиндры (Бар); расход массы, нижний напорный ящик ($\text{м}^3/\text{ч}$); расход массы верхний напорный ящик ($\text{м}^3/\text{ч}$); концентрация массы, нижний напорный ящик (%); концентрация массы, верхний напорный ящик (%).

В качестве целевого параметра для определения сорта бумажного полотна используется сухой вес 1 м^2 . Также предлагается рассмотреть доступные для измерения переменные, влияющие на сорт бумажного полотна в ходе технологического процесса параметры: скорость БДМ (м/мин); (г); суммарный напор ВНЯ; суммарный напор ННЯ; расход массы НС; расход массы ВС; концентрация НС; концентрация ВС.

Построение модели на основе множественной регрессии. Как уже описывалось, целевым параметром является сухой вес. Далее было отобрано 7 независимых параметров, измеряемых в ходе технологического процесса. Первым этапом построения модели является построение множественной корреляции (корреляционный анализ), для этого используется программный продукт *RStudio* [5].

Корреляционный анализ [3] используется для нахождения взаимозависимости двух или нескольких случайных величин. Суть метода основана на том, что при изменении значения одной переменной происходит закономерное изменение другой переменной.

На рис. 2 видно, что наибольшей взаимосвязью с выбранным целевым параметром «Сухой вес» (DW) обладают такие технологические параметры, как «Скорость БДМ» (SPMM), «Суммарный напор ВНЯ» (SNVNY) и «Суммарный напор ННЯ» (SNNY), для подсчета коэффициентов был выбран парный коэффициент корреляции Пирсона.

Следующим шагом в работе является поиск значимых переменных [4] для построения множественной регрессии. Далее подготавливаем данные для обучения модели с помощью функции *lm*, предназначенной для построения регрессионных моделей в *RStudio*. Строим модель, где целевой параметр будет предсказываться от предикторов, полученных в ходе множественной корреляции (параметры описаны выше).

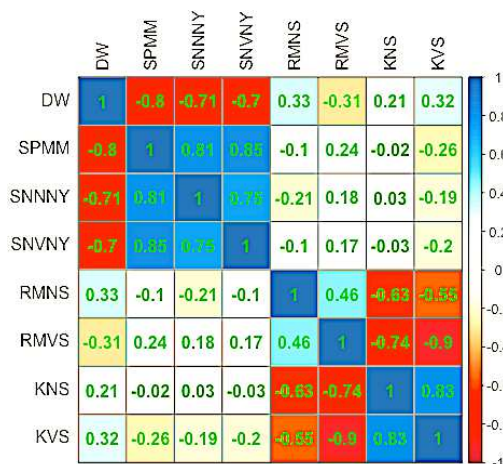


Рис. 2. Множественная корреляция

```
Call:
lm(formula = DW ~ SPMM + SNNNY + SNVNY, data = spl)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-42.659  -2.320   1.154   4.676  17.931

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 285.271286   1.534563  185.90 < 2e-16 ***
SPMM         -0.266965   0.005459  -48.90 < 2e-16 ***
SNNNY        -6.406795   0.356919  -17.95 < 2e-16 ***
SNVNY        -1.984193   0.465771   -4.26 2.06e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 8.31 on 10595 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6495,    Adjusted R-squared:  0.6494
F-statistic: 6543 on 3 and 10595 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Рис. 3. Модель для предсказания целевого параметра на основе всех предикторов

На рис. 3 представлен регрессионный анализ [2, 3], справа пометки в виде знака «звездочка» отображают значимость влияния параметров на влажность, что позволяет воспользоваться данными предикторами для определения марки бумаги. *F-statistic* используется, чтобы оценить значимость модели регрессии в целом, в нашем случае он равен 6543, значение данного параметра довольно высокое, что позволяет предположить значимость модели. Коэффициент *p-value* $< 2,2e-16$, что существенно меньше уровня значимости α 0,05, соответственно,

в данном случае нулевая гипотеза о незначимости коэффициентов отклоняется. Коэффициент детерминации R-squared соответствует модели, которая объясняет 64,95 % всего изменения данных вокруг регрессионной линейной модели. Коэффициент детерминации должен составлять не менее 70 % для объяснения всех данных, поэтому с помощью встроенных функций в *RStudio* улучшаем модель до 71 % (рис. 4).

```
Call:
lm(formula = DW ~ SPMM + SNNNY + SNVNY, data = train.sample)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-38.552  -2.286   1.118   4.525  15.414

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 298.300557   1.585553  188.137 < 2e-16 ***
SPMM         -0.290628   0.005567  -52.208 < 2e-16 ***
SNNNY        -5.634129   0.361806  -15.572 < 2e-16 ***
SNVNY        -3.353164   0.472699   -7.094 1.41e-12 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 7.537 on 8401 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.7136,    Adjusted R-squared:  0.7135
F-statistic: 6977 on 3 and 8401 DF, p-value: < 2.2e-16
```

Рис. 4. Улучшенная модель для построения регрессионной модели

На следующем этапе необходимо избавиться от мультиколлинеарности (множественная коллинеарность), так как это может привести к искажению данных. Известно, что в ТП наибольшим влиянием обладает «Суммарный напор ННЯ», поэтому убираем такой параметр, как «Суммарный напор ВНЯ» (рис. 5), получаем результат избавления от множественной коллинеарности.

```
> vif(m1)
      SPMM      SNNNY      SNVNY
4.497265 2.981981 3.467122

> vif(m1)
      SPMM      SNNNY
2.862521 2.862521
```

Рис. 5. Устранение множественной коллинеарности

Затем на основе регрессионной модели было спрогнозировано «Сухой вес» при оптимальных значениях «Скорости БДМ» и «Суммарного напора ННЯ» для каждой из марок бумаги. На рис. 6 справа на 3D-графике отображены оптимальные значения для каждой из марок (Синий Б-112; Розовый Б-125; Бирюзовый Б-140) бумаги по двум основным параметрам.

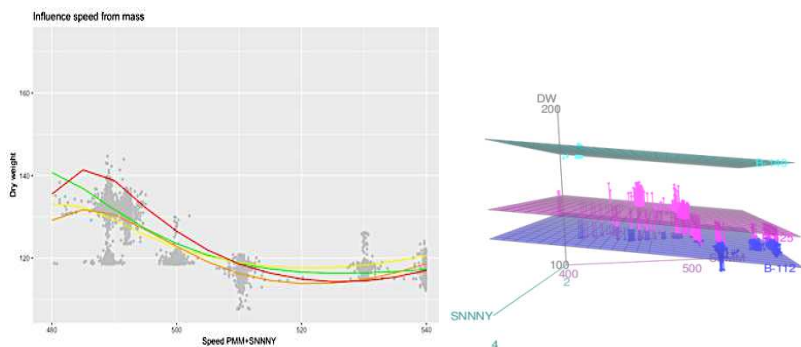


Рис. 6. Рекомендуемые параметры для марок бумаги

В ходе исследования на основе данных со сканера был произведен корреляционный анализ параметров по отношению к целевому. Построена регрессионная модель, и получены оптимальные параметры для производства каждой из марок бумаги.

Библиографический список

1. Иванов С.Н. Технология бумаги: учеб. пособие. – 3-е изд. – М.: Шк. бумаги, 2006. – 695 с.
2. Шашков В.Б. Прикладной регрессионный анализ. Многофакторная регрессия: учеб. пособие. – Оренбург: Изд-во ОГУ, 2003. – 363 с.
2. Draper N., Smith H. Applied regression analysis. – New York: John Wiley & Sons, 2016. – 705 p.
3. Jolliffe I.T. Principal Component Analysis. Jolliffe I.T. – New York, NY: Springer-Verlag., 2002 – 488 p.
4. Наглядная статистика. Используем R! / А.Б. Шипунов [и др.] – М.: ДМК Пресс, 2014. – 298 с.

Сведения об авторе

Черепанов Никита Александрович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-17-1м, г. Пермь, e-mail: kokosnik27@gmail.com

Д.А. Отавин, М.С. Орехов

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ УЗЛА
ОТДЕЛЕНИЯ ВОДЫ ОТ ВОДОМЕТАНОЛЬНОЙ СМЕСИ
ПРОИЗВОДСТВА МТБЭ ОТДЕЛЕНИЯ ЭП–60
АО «СИБУР–ХИМПРОМ»**

В данной работе проведен анализ процесса ректификации водометанольной смеси как объекта автоматизации. Выполнен анализ возможных схем управления и расчет системы управления. Конфигурация системы управления РСУ и ПАЗ контроллера Yokogawa CS3000.

Ключевые слова: ректификация, конфигурация, РСУ, ПАЗ.

M.S. Orehov, D.A. Otavin

**NODE RECTIFICATION PROCESS AUTOMATION
SEPARATION OF WATER FROM WATER-METHANE
MIXTURE PRODUCTION OF MTBE DEPARTMENT EP–60
SIBUR–HIMPROM JSC**

In this paper, the process of rectification of watermethanol mixture as an object of automation is analyzed. The analysis of possible control schemes, and the calculation of the control system. Configuration of the control system of the PC and GROOVE controller Yokogawa CS3000.

Keywords: rectification, configuration, RSU, PAZ.

Перспективой производства ЭП–60 является автоматизация технологического процесса с целью улучшения качества продукции, и увеличение мощности установки.

Использование МТБЭ как компонента бензинов (октановое число смешения 117 по исследовательскому методу 115-135) позволяет значительно уменьшить использование антидетонатора-тетраэтилсвинца. Кроме того, добавление метил-трет-бутилового эфира обеспечивает более полное сгорание моторного топлива.

Метанол и этанол прекрасно растворяются в бензине, имеют неплохие октановые числа смешения, но растворимы и в воде. А поскольку в товарных бензинах всегда есть вода, то спирт будет переходить в водную фазу и с ней отслаиваться. В результате потребуют-

ся дополнительные затраты. С МТБЭ этой проблемы нет, так как он растворим только в бензине и в водную фазу не переходит.

Ректификация водометанольной смеси является необходимым узлом в синтезе МТБЭ. Водометанольная смесь подается в ректификационную колонну К-30 на колпачковые тарелки для разделения двухфазной смеси. Смесь стекает по тарелкам в куб колонны, где нагревается с помощью кипятильника Т-31. Температуру, при которой протекает процесс, необходимо поддерживать в диапазоне 68–70 °С, так как температура кипения метанола 64,7 °С. Пары, являющиеся низкокипящим компонентом, поднимаются к верху колонны, фузельная вода, от которой отделился метанол, стекает в куб колонны, кубовый остаток откачивается в экстракционную колонну К-20. Пары метанола, отбираемые с верха колонны, конденсируются в дефлегматоре Т-32 до температуры 40–50 °С, конденсат метанола собирается в флегмовой емкости для протекания нормального режима работы, уровень поддерживается в диапазоне 49–65 %, метанол насосами откачивается на орошение, а избыток метанола на рецикл.

Основными элементами рабочего процесса на объекте управления являются: процесс подогрева смеси до оптимальной температуры (температура кипения); процесс разделения бинарной смеси; процесс охлаждения паров метанола до необходимой температуры.

Целью управления является поддержание состава целевого продукта на постоянном значении. Показателем эффективности является состав целевого продукта (дистиллят).

В объекте имеют место такие возмущения, как изменение начальных параметров исходной смеси, а также тепло- и холодоносителей, изменение свойств теплопередающих поверхностей, отложение веществ на стенках, температура окружающей среды и т.д.

Одним из основных регулирующих воздействий, при помощи которого компенсируются возмущения и достигается цель управления, является поддержание уровня в флегмовой ёмкости Е-33 за счет отвода избытка метанола на рецикл. Емкость обеспечивает запас флегмы, необходимый для стабилизации состава дистиллята при значительных возмущениях. Для поддержания материального баланса в этой емкости следует регулировать уровень изменения расхода дистиллята. Стабилизация уровня, кроме того, обеспечивает постоянное

гидростатическое давление перед клапаном на линии подачи флегмы, а следовательно, улучшает качество регулирования состава.

Общая задача управления технологическим процессом формулируется как задача максимизации (минимизации) некоторого критерия (себестоимости, энергозатрат, прибыли) при выполнении ограничений на технологические параметры, накладываемых регламентом. Решение такой задачи для всего процесса в целом трудоемко или практически невозможно ввиду большого числа факторов, влияющих на ход процесса.

К контролируемым возмущениям относится расход метанола на орошение ректификационной колонны К–30.

К неконтролируемым возмущениям относятся: расход паров метанола в шлеймовом трубопроводе, расход и температура охлаждаемой жидкости перед дефлегматором.

К регулируемому параметру относятся: регулирование уровня в флегмовой емкости, регулирование расхода метанола на рецикл.

На основе анализа технологического процесса как объекта регулирования проектируют систему автоматизации, обеспечивающую решение поставленной задачи регулирования. Начинают с проектирования одноконтурных АСР отдельных параметров.

Одноконтурная схема регулирования уровня (рис. 1) проста в настройке, но для данного случая она не подходит, так как для работы ректификационной колонны необходимо поддерживать уровень в допустимом диапазоне. В данной схеме при регулировании уровня будут наблюдаться колебания, поэтому необходимо ввести дополнительный канал управления.

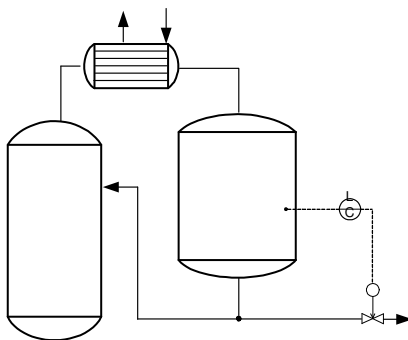


Рис. 1. Одноконтурная САУ

Ёмкость представляет собой 250-литровый резервуар, в котором под влиянием различных параметров возможны колебания уровня, для уменьшения колебаний в системе регулирования необходимо ввести дополнительный канал. В схеме (рис. 2) корректирующим каналом является уровень, стабилизирующим каналом является расход. При увеличении уровня в ёмкости расход метанола на орошение увеличивается. На предприятии данная схема регулирования не удовлетворяет требованиям, так как при возникновении различных ситуаций, когда расхода для поддержания уровня недостаточно, происходит перелив метанола из флегмовой емкости. Для исключения таких ситуаций рассмотрим 2-й вариант каскадной схемы (рис. 3).

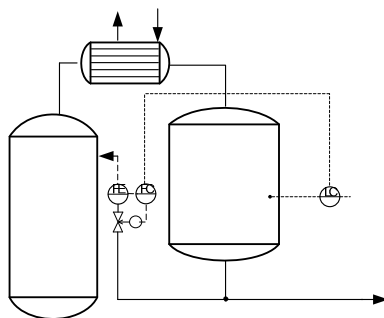


Рис. 2. Каскадная САР (вариант 1)

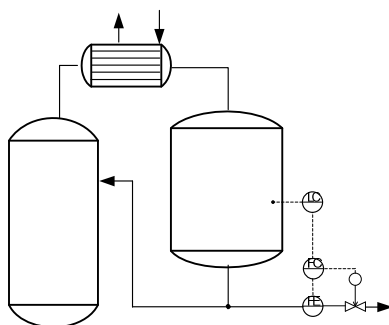


Рис. 3. Каскадная САР (вариант 2)

В данной схеме корректирующим каналом является уровень, стабилизирующим каналом – расход. При увеличении уровня в ёмкости расход метанола на рецикл увеличивается. Данная схема позволяет

поддерживать уровень в заданном диапазоне, это значит, что метанола всегда будет достаточно для орошения ректификационной колонны (поддержания температурного режима). Представленная схема позволяет исключить чрезвычайные ситуации, такие как перелив емкости.

Так как ёмкость представляет собой 250-литровый резервуар, в котором при изменении расхода метанола на выходе из ёмкости наблюдаются изменения уровня, а именно колебания, которые могут привести к переливу, необходим дополнительный стабилизирующий канал по расходу. При проведении сравнительного анализа возможных схем регулирования выбрана каскадная схема регулирования вариант 2. На (рис. 4) приведена структурная схема объекта управления.

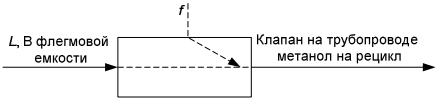


Рис. 4. Структурная схема объекта управления

Выполнен расчет каскадной и одноконтурной АСР, моделирование системы регулирования с целью определения оптимальных настроек регуляторов по прямым показателям качества и выбор наилучшей системы регулирования (табл. 1, 2). Произведено подтверждение работоспособности каскадной АСР по косвенным показателям качества АЧХ.

Таблица 1

Параметры регуляторов одноконтурной САР

Показатели качества	По заданию	По внутреннему возмущению
	ПИ-регулятор	ПИ-регулятор
Перерегулирование	0,478	0,493
Время регулирования	323,2	355,7
Степень затухания	0,783	0,794

Таблица 2

Параметры регуляторов каскадной САР

Показатели качества	По заданию	По внутреннему возмущению
	ПИ-регулятор	ПИ-регулятор
Перерегулирование	0,334	0,367
Время регулирования	310,1	330,45
Степень затухания	0,827	0,831

По результатам параметров качества видно, что каскадная лучше справляется с заданием и возмущением, поэтому для регулирования уровня выбрана каскадная САР.

Выполнена конфигурация системы управления контроллера Yokogawa Centum CS3000, в котором произведена настройка входов и выходов как для аналоговых сигналов для регулирования объектом, так и дискретных для ПАЗ. Каскадное регулирование реализуется при помощи двух ПИД-регуляторов, где вспомогательный контур расход метанола на рецикл подчинен главному – уровень в флегмовой ёмкости (рис. 5).

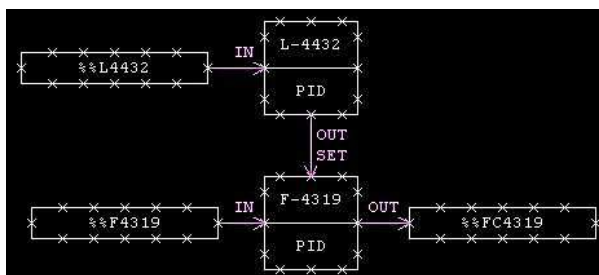


Рис. 5. Алгоритм каскадного регулирования

Создание мнемосхемы необходимо для связи оператора с технологическим процессом. Мнемосхема это средство отображения информации, предназначенное для мнемонического представления структуры и динамики состояния объекта. На мнемосхеме содержатся блоки шейпов световой сигнализации, дополнительной информация.

В узле ректификации водометанольной смеси для обеспечения безопасной работы объекта необходима система ПАЗ, которую целесообразно реализовать на насосе Н–34. Логiku системы ПАЗ реализуем с помощью функционального блока МС–2Е. На вход данного функционального блока подаются следующие дискретные сигналы:

- Н341_L – сигнал с вибрационного датчика уровня (отсутствие уровня в полости насоса);
- Н341_S – сигнал с промежуточного реле (аварийное отключение);
- Н341_F – сигнал с датчика давления (отсутствие давления на выходе насоса).

При отсутствии дискретных сигналов (DI) Н341_L (IL), Н341_F (TT) о неисправности насоса с функционального блока поступает выходной дискретный сигнал (DO), равный нулю, поэтому необходи-

ма логическая операция отрицания которая нулевой дискретный сигнал реализует в единичный дискретный сигнал. Сигнал с дискретного выхода контроллера поступает на промежуточное реле, которое необходимо для управления высоким напряжением посредством низкого напряжения. При подаче сигнала на блок о неисправности реализуется истинный сигнал, который также необходимо конвектировать с помощью логической функции отрицания в ложный сигнал, чтобы отключить насос.

Для обеспечения безопасной работы установки и исключения аварийных ситуаций, таких как разгерметизация линий подачи метанола, на площадке, где находится установка, установлены датчики загазованности, как в районе флегмовой емкости Е-33, так и у насосов Н-34/1,2. В функциональном блоке LC64 реализуем логику срабатывания звуковой сигнализации о наличии загазованности.

При достижении определенного уровня загазованности (в данном случае 20 %) в районе ёмкости Е-33 или у ректификационной колонны К-30 срабатывает звуковая сигнализации. Линия связи датчиков проходит через логическую функции ИЛИ, т.е. при обнаружении загазованности в одном из перечисленных районах работает сигнализация.

Библиографический список

1. Автоматическое управление в химической промышленности: Учебник для вузов / под ред. Е.Г. Дудникова. – М.: Химия, 1987.
2. Ротач В.Я. Теория автоматического управления / под ред. Л.А. Решмина. – М.: Изд-во МЭИ, 2008.
3. Ключев А.С. Настройка средств автоматизации и автоматических систем регулирования. – М.: Альянс, 2009. – 368 с.
4. Ключев А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

Сведения об авторах

Отавин Денис Алексеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АХТП-15-1пб, г. Пермь, e-mail: graphics8.intel8@yandex.ru

Орехов Михаил Сергеевич – старший преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств», ведущий инженер ХТФ Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: atp@rambler.ru

К.Э. Михайлова, М.С. Орехов

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СЕРООЧИСТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ПРОИЗВОДСТВЕ ЖИДКОГО АММИАКА

В данной статье рассмотрен технологический процесс объекта управления сероочисткой природного газа в производстве жидкого аммиака в филиале АО «ОХК «УРАЛХИМ» в городе Перми. Выполнен расчет системы управления контура температуры и расхода природного газа. Произведено конфигурирование системы управления (текст аннотации на русском языке).

Ключевые слова: автоматизация, сероочистка, конфигурирование, аммиак.

K.E. Mikhaylova, M.S. Orehov

AUTOMATION OF CLEANING NATURAL GAS IN THE MANUFACTURE OF LIQUID AMMONIA

This article describes the technological process of the object management of natural gas desulfurization in the production of liquid ammonia in the branch of URALCHEM, JSC in the city of Perm. The calculation of the control system of the temperature loop and the flow rate of natural gas has been performed. Made configuration control system (текст аннотации на английском языке).

Keywords: automation, desulfurization, configuration.

Азотное производство играет важнейшую роль в современной химической промышленности. Особую статью в азотной промышленности составляет производство аммиака. Именно при «участии» этого ценного компонента производятся удобрения, азотная кислота, взрывчатые вещества, хладоагенты и многое другое. В качестве источника азота используется атмосферный воздух. Данный ресурс практически безграничен. В отличие от азота, водород в чистом виде в природе практически не присутствует, а выделять его из воды – довольно трудоемкий и энергозатратный процесс. Поэтому в качестве сырья для производства аммиака в основном используются углеводороды, содержащиеся в природном газе. В настоящее время именно природный газ является одной из основ аммиачной промышленности.

В филиале АО «ОХК «УРАЛХИМ» в городе Перми, прежде чем попасть в колонну синтеза, природный газ проходит несколько

стадий обработки. Начинается процесс с очистки исходного сырья от серы перед риформингом. На рис. 1 представлена блок-схема производства жидкого аммиака, где ПГ – природный газ; ГРС – газораспределительная станция.

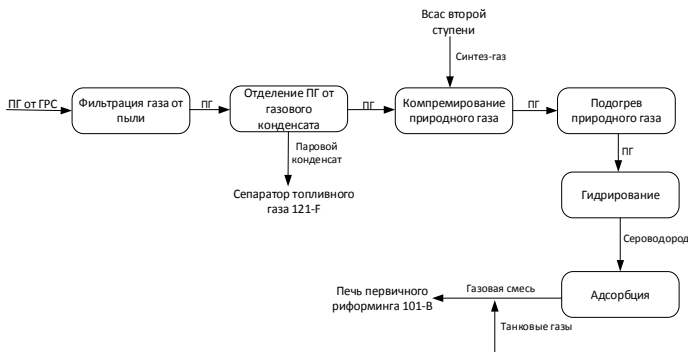


Рис. 1. Блок-схема технологического процесса

Рассмотрим процесс сероочистки природного газа. Природный газ, нагнетаемый компрессором, в количестве не более $42600 \text{ м}^3/\text{ч}$ с давлением не более 44 кгс/см^2 и температурой не более 155°C направляется в дополнительные змеевики печи первичного риформинга, установленные в БТА 101-B, где нагревается до температуры $380\text{--}390^\circ\text{C}$ за счет сжигания топливных газов в горелках.

Контроль температуры нагрева газовой смеси в БТА 101-B в змеевике подогревателя 1-й ступени (змеевик холодный) осуществляется прибором TIR102a, температура технологического газа в змеевике подогревателя 2-й ступени (змеевик горячий) контролируется прибором TIRCA101a. Процесс сероочистки природного газа состоит из двух стадий: гидрирования органических и неорганических серо соединений до сероводорода и адсорбции сероводорода. Процесс протекает в двух последовательно соединённых аппаратах 101-D и 102-DA. Верхняя полка загружена катализатором для гидрирования сернистых соединений, а нижняя полка – поглотителем.

После сероочистки газ в количестве не более $48000 \text{ м}^3/\text{ч}$ по регулятору расхода FIRCA301a и температуры не более 400°C смешивается с перегретым паром среднего давления в соотношении пар:газ, равном не менее 3,0:1, и направляется в печь первичного риформинга 101-B. Требуемое давление газа в системе поддерживается регулято-

ром PIA201a, изменяющим число оборотов турбины компрессора природного газа 102-J.

На рис. 2 представлена технологическая схема процесса сероочистки природного газа.

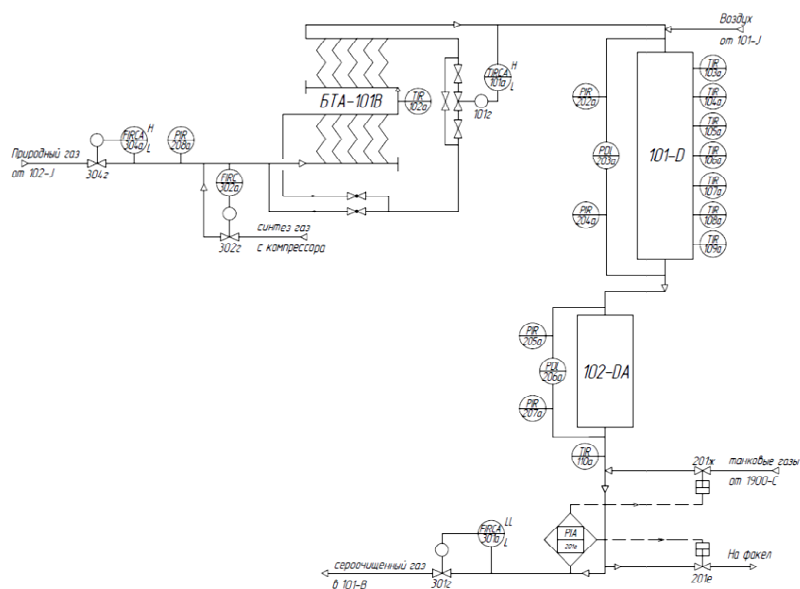


Рис. 2. Технологическая схема процесса

Рассматриваемый технологический узел сероочистки является важной первичной стадией в производстве аммиака. Поскольку сернистые соединения вызывают коррозию аппаратов, стадия сероочистки обычно предшествует всем технологическим стадиям.

Очистка природного газа от соединений серы необходима для защиты катализаторов, применяемых в производстве аммиака, от отравления. Входными переменными величинами процесса сероочистки природного газа являются: расход и температура природного газа, давление в трубопроводе после компрессора.

Выходными переменными величинами процесса сероочистки природного газа являются: расход и температура природного газа, давление в трубопроводе после сероочистки (рис. 3).

Основными источниками возмущающих воздействия являются: расход синтез газа, расход подачи танковых газов.

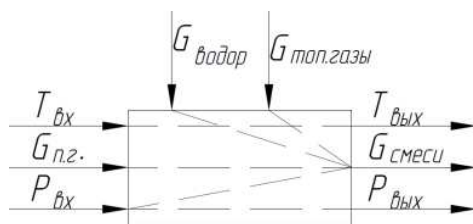


Рис. 3. Схема взаимодействия входных параметров, возмущающих воздействий и выходных параметров

Косвенным показателем эффективности технологического участка является содержание серы в газовой смеси после сероочистки (на выходе из 102–DA) не более $0,5 \text{ мг/нм}^3$.

Для очистки природного газа от серосоединений в реакторах протекают гидрирование природного газа и адсорбция серы оксидом цинка. Данные реакции возможны при температуре 390°C , поэтому для эффективной работы требуется её поддержание.

Превышение температуры после БТА-101В по позиции TIRCA101a вызывает отложения углерода на порах катализатора сероочистки и как следствие рост сопротивления аппаратов сероочистки. Снижение температуры газовой смеси ниже установленного предела вызывает прекращение реакции гидрирования в реакторах 101-D и 102-DA. Также необходимо поддерживать минимальную нагрузку реакторов по газу, не менее 40 %, и давление при этом не менее 18 кгс/см^2 . Если в реакторах будет низкая объемная и линейная скорость газа, т.е. несоответствие расхода и давления газа, то может происходить заугливание катализатора в реакторах.

Для получения переходной характеристики по каналу температуры природного газа после БТА-101В на вход системы оказали воздействие в виде открытия клапана с 18 до 25 %. Для получения переходной характеристики по каналу расхода природного газа после сероочистки на вход системы оказали воздействие в виде открытия клапана с 55 до 67 %. Полученные переходные характеристики аппроксимируются с помощью пакета расширения системы MatLab/Simulink System Identification Toolbox.

Передаточная функция объекта по каналу регулирования температуры будет иметь вид

$$W_p = \frac{0,41116}{85,65p+1} e^{-23,065S}. \quad (1)$$

Передаточная функция по каналу регулирования расхода

$$W_p = \frac{27,027}{35,541p+1} e^{-0,63s}. \quad (2)$$

Произведем расчет настроек регулятора с ПИ- и ПИД-алгоритмом работы в программе Linreg, для этого введем в соответствующие поля данные объекта управления, время запаздывания, коэффициент передачи, передаточную функцию, частоту и для обеспечения наибольшего быстродействия степень затухания, равную 0,8 (таблица).

Настройки регуляторов

	ПИ-регулятор	ПИД-регулятор
Температура	$K_p = 5,9938 \left[\frac{\%}{^{\circ}\text{C}} \right]$ $T_n = 41,69 \text{ [мин]}$ $\omega_{кр} = 0,03894 \text{ [рад/с]}$	$K_p = 10,108 \left[\frac{\%}{^{\circ}\text{C}} \right]$ $T_n = 24,11 \text{ [мин]}$ $T_d = 13,4 \text{ [мин]}$ $\omega_{кр} = 0,0556 \text{ [рад/с]}$
Расход	$K_p = 1,3782 \left[\frac{\%}{^{\circ}\text{C}} \right]$ $T_n = 2,1295 \text{ [мин]}$ $\omega_{кр} = 1,2025 \text{ [рад/с]}$	$K_p = 2,3827 \left[\frac{\%}{^{\circ}\text{C}} \right]$ $T_n = 1,053 \text{ [мин]}$ $T_d = 0,3197 \text{ [мин]}$ $\omega_{кр} = 1,7232 \text{ [рад/с]}$

Смоделировав одноконтурную САР с ПИ и ПИД-регулятором в программе MatLab/Simulink, увидим, что при отработке задания по каналу расхода у ПИД-регулятора наблюдается меньшее время регулирования, чем у ПИД-регулятора. Однако Е.И. Дудников [1, с. 99] рекомендует для одноконтурных систем регулирования расхода использовать ПИ-регулятор. Исходя из вышеперечисленного для канала расхода выбран ПИ-регулятор. При отработке задания по каналу температуры у ПИД-регулятора наблюдается значительно меньшее время регулирования, чем у ПИ-регулятора. Поэтому для канала температуры выбран ПИД-регулятор.

Конфигурирование системы управления контурами температуры и расхода в контроллере DeltaV представлено на рис. 4.

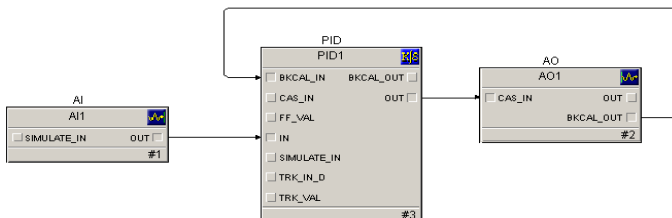


Рис. 4. Схема управления

Для корректного функционирования системы в блок PID необходимо ввести настройки регулятора (K_p , T_i , T_d). На рис. 5 представлены настройки PID-блока на примере температуры.

Параметр	Умолчание	Связ...	Тип подключения	Тип параметра
CONTROL...	Не-нулевой		Внутренний	Битовая строка вариант...
ENABLE...	Истинно		Внутренний	Двоичный
FF_ENABLE	Ложно		Внутренний	Двоичный
FF_GAIN	1		Внутренний	Плавающая точка
FF_SCALE	0,0 в 100,0 ...		Внутренний	Масштабирование
FORM	Стандартн...		Внутренний	Поименованный Набор
FRSPID_O...			Внутренний	Битовая строка вариант...
GAIN	10,108		Внутренний	Плавающая точка
GAMMA	0		Внутренний	Плавающая точка
IDEADBAND	0		Внутренний	Плавающая точка
L_TYPE	Масштабир...		Внутренний	Поименованный Набор
LOW_CUT	0		Внутренний	Плавающая точка
NL_GAP	0		Внутренний	Плавающая точка
NL_HYST	0		Внутренний	Плавающая точка
NL_MINMOD	0		Внутренний	Плавающая точка
NL_TBAND	0		Внутренний	Плавающая точка
OUT_HI_LIM	391		Внутренний	Плавающая точка
OUT_LO...	389		Внутренний	Плавающая точка
PLUGINST...			Внутренний	Битовая строка вариант...
PROCESS...	Саморегул...		Внутренний	Поименованный Набор
PV_FTIME	0		Внутренний	Плавающая точка
PV_SCALE	0,0 в 100,0 ...		Внутренний	Масштабирование
RATE	13,4		Внутренний	Плавающая точка
RECOVER...	1		Внутренний	Плавающая точка
RESET	24,11		Внутренний	Плавающая точка

Рис. 5. Конфигурирование температуры в системе DeltaV

С помощью графической студии в системе DeltaV создаются изображения технологического процесса, предназначенные для интерфейса оператора в системе и используемые в реальном времени. Операторы системы управления пользуются этими изображениями для ежедневного контроля и обслуживания процесса.

Сведения об авторе

Михайлова Ксения Эдуардовна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТП-15-16, г. Пермь, e-mail: MiKsEd1997@yandex.ru

Орехов Михаил Сергеевич – старший преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств», ведущий инженер ХТФ Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: atp@pstu.ru

М.С. Зебзеев, А.Н. Лыков

БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ АВТОМАТИЗАЦИИ

Настоящая статья посвящена существующим беспроводным сетям автоматизации, их возможностям пропускной способности и дальности передачи, перспективам развития Wireless Mesh-сетей.

Ключевые слова: беспроводные сети, сети PAN, LAN, CAN, MAN, WAN, Mesh.

M.S. Zebzeev, A.N. Lykov

WIRELESS AUTOMATION NETWORKS

This article is devoted to existing wireless networks of automation, their capacity and transmission capabilities, and the prospects for the development of wireless mesh networks.

Keywords: wireless networks, pan, LAN, CAN, MAN, WAN, Mesh.

Технологии беспроводной связи в наше время находятся на мощной стадии развития. Причиной такого развития является появление умных аксессуаров, планшетных и мобильных компьютеров. Они могут быть универсальными пультами управления АСУ ТП. Наравне с этим в различных отраслях индустрии назревает необходимость в создании надежных систем управления распределенными объектами, а также объединение их в глобальную сеть. Это обуславливает развитие и интегрирование в жизнь людей и индустрию технологий.

Беспроводная сеть – это компьютерная сеть, в которой все соединения осуществляются по радиоканалам. Скорость передачи данных при этом не уступает кабельному соединению. Типы беспроводных сетей различаются между собой масштабами: 1) PAN – самый простой тип соединения, объединяющий интеллектуальные устройства: ПК, ноутбук, смартфоны и планшеты, находящиеся в одной квартире; 2) LAN – более востребованный тип соединения, объединяются два и больше абонентских устройств в квартире или в здании; 3) CAN – кампусная связь, которая способна объединить несколько близко расположенных друг от друга зданий; 4) MAN – тип соединения, который объединяет компьютеры в пределах одного или

соседних городов; 5) WAN – глобальная сеть, которая связывает абонентские устройства в пределах регионов и стран.

Персональные беспроводные сети:

– **IrDA** (Infrared Data Association) – в данной группе стандартов для передачи данных используется инфракрасное излучение световых волн. Данная группа описывает протоколы физического и логического уровня передачи данных;

– **Bluetooth** – версии 1.0, 1.1, 1.2, 2.0, 2.1, 3.0, 4.0, 4.1. Самая популярная – версия 3.0, существенно модернизированная технология по сравнению со своими предшественниками, которую сравнивают по скорости передачи с Wi-Fi;

– **UWB** (Ultra-Wide Band) – «сверхширокополосная связь» – технология беспроводной связи, применяемая на малые расстояния и при низких энергозатратах. Использование широкой полосы частот позволяет UWB получить превосходный результат скорости для беспроводной связи – до 480 Мбит/с, на расстояние до 3 м;

– **Wavenis** – строится персональная сеть и сеть датчиков, так как малое потребление приемо-передающих устройств позволяет им работать автономно до 15 лет от одной батарейки;

– **WiGig** (IEEE 802.11ad.) – широкополосная беспроводная технология. Работает в нелицензируемой полосе частот 60 ГГц и обеспечивает передачу данных до 7 Гбит/с на расстояние до 10 м;

– **WHDi** (Wireless Home Digital Interface) (Amimon) – стандарт передачи видеопотока, обладает высокой помехозащитой и защитой от ошибок при приеме и передаче, вследствие которой обеспечивается высокое качество транслируемого изображения;

– **LibertyLink** – беспроводная персональная сеть. Данная технология работает при помощи эффекта магнитной индукции. Дальность и скорость передачи данных составляют до ~200 Кб/с, до 3 м.

– **DECT/GAP** – цифровая усовершенствованная система беспроводной телефонии;

– **HiperLAN 2** (High Performance Radio LAN) – технология беспроводной передачи данных для локальных сетей со скоростью до 25 Мбит/с. Для данной технологии в Европе выделена частота в диапазоне от 5,15 до 5,35 МГц и от 5,470 до 5,725 ГГц;

– **Wi-Fi** (объединение Wi-Fi Alliance) – семейство стандартов IEEE 802.11 для широкополосной радиосвязи (диапазон 2,4 ГГц или 5 ГГц), обеспечивает скорость передачи от 2 Мбит/с до 200 м;

– **ZigBee** – технология беспроводной сенсорной сети. Технология ZigBee создает маленькое потребление энергии и передачу данных на нелицензируемой частоте 2,4 ГГц со скоростью до 250 Кб/с, на расстояние до 75 м в условиях прямой видимости. Главным преимуществом данной технологии является поддержание различных топологий сети («точка-точка», «дерево», «звезда»), а также поддержание ячеистой топологии сети (mesh)

– **RONJA** (Reasonable Optical Near Joint Access) – технология беспроводной передачи данных при помощи оптического сигнала.

Большие локальные беспроводные сети:

– **LPWAN** (Low-power Wide-area Network) – «энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия», используется для передачи данных маленького объема на большие расстояния, разработана для распределённых сетей телеметрии, межмашинного взаимодействия и интернета вещей, обеспечивающих среду сбора данных с различного оборудования: датчиков, счётчиков и сенсоров;

– **WiMAX** (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – беспроводная технология, основанная на стандарте IEEE 802.16 для высокоскоростной связи на большие расстояния и предоставления и доступа в интернет;

– **HiperMAN** – европейская альтернатива технологии WiMAX на базе стандарта IEEE 802.16, специализирована для пакетной передачи данных в беспроводных IP-сетях;

– **WiBro** (Wireless Broadband) – северо-корейский аналог технологии WiMAX, основанный на стандарте IEEE 802.16e;

– **Classic WaveLAN** – технология беспроводной передачи данных. Является альтернативной технологией проводных сетей, таких как Ethernet и Token Ring. Передача данных реализована в диапазоне 900 МГц или 2,4 ГГц, обеспечивая скорость передачи до 2 Мбит/с.

В таблице приведены основные характеристики беспроводных сетей.

Wireless Mesh (ячеистые сети) появляются за счет соединения «точка-точка» узлов, находящихся в области радиопокрытия друг друга. Mesh-сети отличаются от централизованных сетей тем, что в них все узлы равноправны, каждый узел является и провайдером, и роутером, и мостом. Особенности использования Mesh-сетей: 1) интеллектуальность сети – каждая точка автоматически получает информацию обо всех участниках сети, определяет свою роль внутри сети; 2) самовосстановление – каждый узел получает информацию

о своих соседях и определяет свою роль внутри сети, поэтому в случае выхода из строя одного из узлов сеть перенаправит данные – перепределит маршруты; 3) низкая стоимость поддержки сети – поскольку узлы получают информацию о состоянии своих соседей, то принимают решение о перестройке маршрутных таблиц.

Сравнительный анализ беспроводных сетей

Технология	Стандарт	Использование	Пропускная способность, Мбит/с	Радиус действия, м	Частоты, ГГц
Инфракрасный порт	IrDa	WPAN	До 16	От 0,05 до 0,5, односторонняя связь до 50	–
Bluetooth V1.1	802.15.1	WPAN	До 0,7	До 10	2,4
Bluetooth V2.0	802.15.3	WPAN	До 3	До 100	2,4
Bluetooth V3.0	802.11	WPAN	От 3 до 24	До 100	2,4
Bluetooth V4.0(улучшена энергоэффект.)	802.12	WPAN	До 2	До 100	2,4
Wi-Fi	802.11a	WLAN	До 54	До 100	5
Wi-Fi	802.11b	WLAN	До 11	До 100	2,4
Wi-Fi	802.11g	WLAN	До 54	До 100	2,4
Wi-Fi	802.11n	WLAN	До 300	До 100	2,4-2,5 или 5
Wi-Fi	802.11ac	WLAN	До 3,39 /клиент, 6,77/AP	До 100	2,4 / 5
ZigBee	802.15.14	WPAN	до 0,25	До 100	2,4, 0,915, 0,868
WiMax	802.16d	WMAN	До 75	До 10000	1,5-11
WiMax	802.16e	Mobile WMAN	До 40	До 5000	2,3-13,6
WiMax 2	802.16m	WMAN, Mobile WMAN	До 1 (WMAN), до 100 (Mobile WMAN)	До 150 000	До 11
UWB	802.15.3a	WPAN	От 110 до 480	До 10	3,1-10,6
Wavenis	-	WMAN	До 0,1	До 1000	0,433/0,868/915
WiGig	802.11ad.	WPAN	До 7	До 10	60
WHDi	-	WLAN	До 3	До 30	5
LibertyLink	-	WPAN	До 0,2048	До 3	На основе магнитной индукции
HiperLAN	802.11	WLAN	До 23	До 10	5,2
HiperLAN/2	802.15	WMAN	До 54	До 150	5
RONJA	-	WMAN	До 10	До 1400	-
LoRaWAN	LoRaWAN	WRAN	До 50	До 45000	1
СРМЖ	-	WRAN	(До 50 Гб/с)	До 40000	0,868
SigFox	-	WRAN	До 0,001	До 50000	0,868
Wheatghless-N	Wheatghless	WMAN	До 0,1	До 5000	1
Wheatghless-P	Wheatghless	WMAN	До 0,1	До 2000	1
Wheatghless-W	Wheatghless	WMAN	До 0,1	До 5000	1
Nuel	Wheatghless	WMAN	До 0,1	До 10000.	ISM Industrial, Scientific, Medical 2,4
Nwawe	Wheatghless	WMAN	До 0,1	До 10000	1
Dach-7	ISO/IEC18000-7	WMAN	До 0,167	До 2000	1
GSM	GSM Rel.13	WRAN	До 0,07	До 35000	8,9
LTE	LTE-M Rel.13	WRAN	До 1	До 200000	7,9
NB CloT	3GPP	-	До 0,032	-	7,9
NB LTE	3GPP	-	До 0,2	-	7,9

В настоящее время прослеживается тенденция замены проводных элементов оборудования более новыми беспроводными вариантами, что намного удобнее как по причине мобильности аппаратов, так и с точки зрения удобства в использовании и экономии материалов (кабеля). Беспроводное оборудование позволяет внедрять новейшие системы для промышленной связи, а также улучшить качество жизни обычного человека и облегчить быт людей.

Библиографический список

1. Лыков А.Н., Катаев Р.В. Микропроцессорные средства автоматизации энергетических систем: учеб. пособие. Ч. 2. Сети автоматизации. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017. – 532 с.
2. Стандарт беспроводных связей [Электронный ресурс]. – URL: https://standards.ieee.org/standard/802_15_1-2005.html (дата обращения: 01.02.2019).
3. Стандарт беспроводных связей [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG1.html> (дата обращения: 29.01.2019).
4. Стандарт беспроводных связей [Электронный ресурс]. – URL: <https://isa100wci.org/> (дата обращения: 02.02.2019).
5. Стандарт беспроводных связей [Электронный ресурс]. – URL: <https://standards.ieee.org/getieee802/802.15.html> (дата обращения: 02.02.2019).
6. Стандарт беспроводных связей [Электронный ресурс]. – URL: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/LPWAN-low-power-wide-area-network> (дата обращения: 06.02.2019).
7. Стандарт беспроводных связей [Электронный ресурс]. – URL: <http://citforum.ru/nets/wireless/mesh/> (дата обращения: 08.02.2019).

Сведения об авторах

Зебзеев Максим Сергеевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-18-2м, г. Пермь, e-mail: zebzeevmaksim@bk.ru

Лыков Анатолий Николаевич – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: lykov45@yandex.ru

А.В. Пустосмехова, Д.К. Елтышев

К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИН

В данной статье рассмотрены основные подходы к эксплуатации нефтедобывающих скважин. Проведен сравнительный анализ фонтанного, газлифтного и насосного способов эксплуатации. Исследованы различные системы организации технического обслуживания и ремонта оборудования нефтедобычи, используемые для поддержания его надежности. Показана эффективность проведения ремонтных работ по фактическому техническому состоянию оборудования на основе технологий мониторинга и диагностики.

Ключевые слова: нефтедобывающая скважина, эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт, техническое состояние.

A.V. Pustosmekhova, D.K. Eltyshv

ABOUT THE EFFICIENCY OF OIL WELLS OPERATION

This article describes the main approaches to the oil wells operation. A comparative analysis of the flow, gas lift and pump methods of operation was made. Various systems for organizing the maintenance and repair of oil production equipment used to provide its reliability were investigated. The effectiveness of the repair on the actual equipment technical condition based on monitoring and diagnostic technologies was shown.

Keywords: oil well, operation, maintenance and repair, technical condition.

Главной целью освоения нефтяных месторождений является получение необходимого количества продукции из нефтедобывающей скважины (НС) в соответствии с её потенциалом, который зависит от многих эксплуатационных факторов, влияющих на показатели объема, скорости и времени добычи [1]. Непрерывная эксплуатация нефтяных скважин приводит к быстрому износу деталей оборудования (деформация, износ, коррозия) и всего механизма в целом, что неизбежно ведет к снижению коэффициента полезного действия (КПД) всей скважины [2]. Для обеспечения эффективности функционирования НС необходимо выбирать наиболее целесообразный способ ее эксплуатации, а также своевременно проводить техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) оборудования, чтобы

сохранить или увеличить срок его работоспособности при использовании по назначению: снизить уровень износа механизмов, предотвратить ситуации, способные вызвать выход из строя, поддерживать технические характеристики, регламентированные нормативно-техническими документами [3].

Существуют различные способы эксплуатации скважин. Фонтанный способ связан с обеспечением притока пластовой жидкости в скважину естественным путем, если пластовое давление выше гидростатического в стволе скважины и пластовой энергии достаточно для продвижения нефти.

Газлифтный способ эксплуатации [4] используется, если нет возможности обеспечить естественный приток, и состоит в изменении плотности жидкости путем закачки сжатого газа за счет использования насосно-компрессорных труб (НКТ).

Насосный способ эксплуатации используется в случае, если изменения плотности жидкости недостаточно для поступления нефти в скважину, и состоит в изменении высоты столбца жидкости (ее откачки) при помощи насоса, что позволяет регулировать давление и добиться естественного притока нефти [5].

Каждый из способов имеет свои достоинства и недостатки, анализ которых приведен в формате классификации на рис. 1.

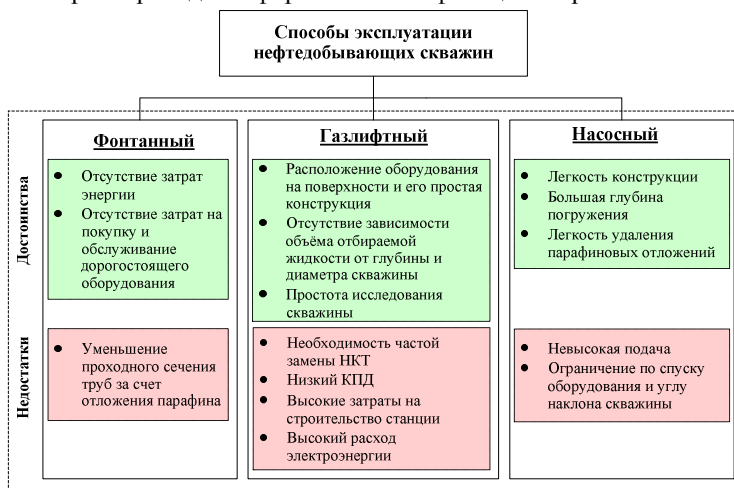


Рис. 1. Классификация способов эксплуатации нефтедобывающих скважин

На основе анализа показателей, представленных на рис. 1, можно сделать следующие выводы:

– фонтанный способ эксплуатации целесообразно использовать, если главным требованием разработки месторождения является экономичность, поскольку в данном случае не требуется затрат на электроэнергию, покупку, ремонт и обслуживание дополнительного оборудования. При этом существует риск быстрого «засорения» фонтанных труб, если высокое содержанием парафина в нефти (порядка 3 %) [6];

– газлифтный и насосный способ эксплуатации следует применять, когда экономические затраты не имеют решающего значения. Основное различие подходов заключается в способе снижения гидравлического давления, но для достижения более высокого уровня КПД рекомендуется выбирать насосный способ, достоинством которого является и возможность выбора вида насоса в зависимости от экономических, энергетических и других показателей.

Очень важным моментом в этом случае является возможность контроля различных характеристик эксплуатации НС и входящего в ее состав оборудования. Это связано с тем, что в период эксплуатации НС периодически возникают различные перебои в их работе НС, что приводит либо к существенному уменьшению дебита скважины, либо к прекращению ее функционирования. Причины возникновения перебоев в работе скважин могут быть связаны с выходом из строя наземного или подземного оборудования, с изменениями пластовых условий, с прекращением подачи электроэнергии, с поломкой труб НКТ и т.д. Таким образом, часть времени, отведенного на эксплуатацию скважины, можно обозначить как ее простой из-за ожидания ремонтных или непосредственного проведения работ.

Относительную длительность работы скважины можно оценить коэффициентом эксплуатации

$$K_s = T_i / T_{ki}, \quad (1)$$

где T_i – суммарное время работы скважины в сутках; T_{ki} – общее календарное время анализируемого периода (год, квартал, месяц).

Различные способы эксплуатации имеют свой K_s , поскольку вероятность возникновения остановок из-за нарушения нормальной работы скважины зависит от надежности оборудования, его сроков службы и других условий.

Эффективность работы скважины также можно охарактеризовать значением межремонтного периода (МРП), который показывает среднюю продолжительность непрерывной ее работы в сутках между двумя ремонтами:

$$\text{МРП} = T_i / \alpha_i, \quad (2)$$

где α_i – число ремонтов скважины во время анализируемого периода.

На объектах нефтедобычи используется технология подземного ремонта скважин (ПРС), который представляет собой комплекс работ, включающий частичную или полную замену подземного оборудования, очистку забоя скважины или НКТ от отложений парафина, смол и песка, а также проведение геолого-технических мероприятий.

В спектр задач ПРС входит восстановление нормальной эксплуатации НС в кратчайшие сроки при минимальных экономических затратах; увеличение МРП; разработка мер по увеличению добычи нефти; ввод скважин из бурения, бездействия и простоя и т.д.

Работы по капитальному и текущему ремонту НС, как правило, проводятся по заранее утвержденным планам между заказчиком и организацией, предоставляющей свои услуги, либо для восстановления различных нарушений во время нормальной эксплуатации скважины.

Для построения эффективной стратегии эксплуатации в настоящее время в нефтедобывающей отрасли используются следующие системы ТОиР:

- по наработке, при которой главным фактором определения объема и периодичности выполнения операций является значение отработанного времени с начала эксплуатации или после выведения скважины из капитального ремонта;
- по техническому состоянию (ТС), при котором перечень и периодичность операций определяются фактическим состоянием оборудования, по результатам диагностирования.

Система ТОиР по наработке известна также как система планово-предупредительного ремонта (ППР) и наиболее часто применяется на существующих объектах нефтедобычи. Система предполагает учет средних показателей надежности и эффективности и проведение профилактики оборудования для контроля и предотвращения вероятности износа деталей и связанных с этим отказов.

Основу системы ППР составляет жестко регламентированная плановая структура ремонтного цикла, определяющая частоту, объемы и порядок всех возможных видов работ, что позволяет осуществлять

материально-техническую и организационную подготовку и выполнение работ в соответствии с заранее согласованным графиком.

Исследования показывают, что использование ППР на практике позволяет поддерживать требуемый уровень надежности нефтяного оборудования и минимизировать организационные и технические перебои, но ограничивает потенциал использования нефтяного оборудования, а также увеличивает эксплуатационные расходы, связанные с принудительным выводом оборудования из эксплуатации в состояние простоя.

Для повышения эффективности использования нефтяного оборудования применяют систему ТОиР по его фактическому ТС, которая позволяет уменьшить эксплуатационные затраты при полном использовании деталей.

Суть системы заключается в том, что ремонтные работы проводятся только при достижении прогнозируемых параметров предельно допустимых значений. Поэтому можно сделать вывод, что в этой системе используется принцип предотвращения сбоев с возможностью достижения максимального времени работы при минимальных эксплуатационных затратах.

Ключевой особенностью ремонта по фактическому ТС является организация мониторинга ТС нефтяного оборудования (визуальный, инструментальный), диагностика, а также периодическое техническое обслуживание и ремонт по текущему состоянию (плановый, внеплановый).

Очень важным моментом в этом случае является возможность контроля различных показателей эксплуатации НС и входящего в ее состав оборудования. Оснащение объектов нефтедобычи системами контроля в последнее время происходит достаточно динамично, о чем свидетельствуют данные, полученные с нефтяных месторождений Пермского края, более 200 из которых используют современные системы мониторинга и управления, ориентированные на различные виды установок электроприводных центробежных насосов (УЭЦН); электроприводных погружных винтовых насосов (УЭВН); штанговых глубинных насосов (ШГН) (рис. 2).

Для мониторинга состояния наземного оборудования применяется вибрационная диагностика, диагностика методом ваттметрографирования, диагностика с использованием метода магнитной памяти, диагностика с использованием метода резонансных колебаний.

Практически все указанные методы используются на практике для мониторинга состояния ШГН.

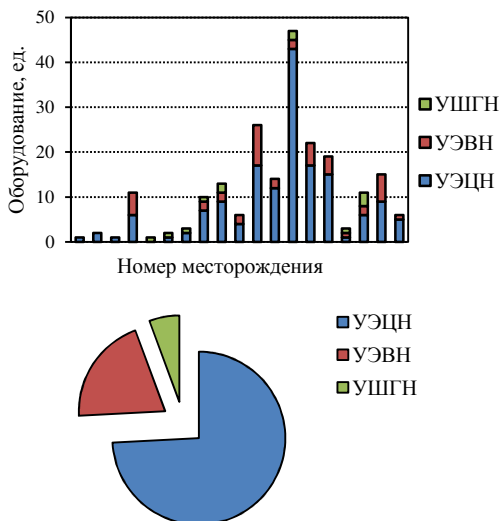


Рис. 2. Соотношение оборудования НС, состояние которого контролируется системой мониторинга

Для мониторинга установок, оснащенных электроцентробежным или винтовым насосом, можно применять диагностику с использованием метода магнитной памяти, но данный вид диагностирования направлен преимущественно на определение напряженности в металле, выявление трещин в металлоконструкциях и сварных соединениях и не учитывает другие важные показатели, из-за которых могут возникнуть аварийные ситуации.

На данный момент на действующих НС потребность в ремонте на установках ЭЦН и ЭВН, как правило, определяется по наработке, что, как было указано ранее, имеет ряд значительных недостатков.

Таким образом, для повышения эффективности эксплуатации объектов нефтедобычи актуальным является решение следующих задач:

- использование современных методов и средств сбора данных об оборудовании или построение качественных систем мониторинга и диспетчерского управления;
- применение методик обработки данных с целью диагностирования дефектов и неисправностей оборудования;

– разработка механизмов планирования ТОиР в соответствии с фактическим ТС оборудования.

В любом случае правильный выбор системы эксплуатации НС необходимо осуществлять с учетом технических и экономических показателей, характеризующих различные особенности (климатические, организационные, технологические и др.) функционирования.

Библиографический список

1. Юшков И.Р., Хижняк Г.П., Илюшин П.Ю. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исследов. политехн. ун-та, 2013. – 191 с.

2. Бикбулатова Г.И., Юдин В.И. Система технического обслуживания и ремонта нефтепромышленного оборудования. – Альметьевск: Изд-во Альмет. гос. нефт. ин-та, 2006. – 40 с.

2. Бухаленко Е.И., Абдулаев Ю.Г. Монтаж, обслуживание и ремонт нефтепромышленного оборудования. – М.: Недра, 1985. – 391 с.

3. Фуртат И.Б., Тупичин Е.А. Управление процессом газлифтной эксплуатации нефтяных скважин в условиях параметрической неопределенности // Изв. высш. учеб. заведений. Приборостроение. – 2016. – № 4. – С. 283–287.

4. Габибов И.А., Алиев Н.Ш. Рациональная эксплуатация малодебитных нефтяных скважин, эксплуатирующихся штанговыми глубинными насосами // International Journal of Innovative Technologies in Economy. – 2018. – № 2(14). – С. 28–31.

5. Технология увеличения производительности нефтяных скважин / М.Д. Валеев, А.В. Севастьянов, Ю.В. Нигай, Р.С. Третьяков // Экспозиция Нефть Газ. – 2014. – № 23. – С. 59–64.

Сведения об авторах

Пустосмехова Анастасия Валерьевна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-17-2м, г. Пермь, e-mail: pustosmekhova@gmail.com

Елтышев Денис Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: eltyshev@msa.pstu.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Секция I. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ	3
Васе́нѳ М.Ю. Влияние мониторинга состояния оборудования на живучесть системы управления форвардером	4
Игнатьев П.Н., Опутин Н.Е., Кротова Е.Л. Методика использования треугольного арбитража на криптовалютных биржах	9
Кулагина М.М., Маркина Ю.С. Разработка методов оценки повышения надежности	14
Бобков С.А., Курушин Д.С. Исследование зависимости качества и скорости распознавания речи от размера обучающей выборки для диалоговой системы, основанной на CMU SPHINX	18
Щавровский Н.И. Программный модуль WordPress для автоматического контроля и учета электроэнергии	24
Дедловский М.С., Полищук Ю.В., Гончарова Я.В. MiniZinc – универсальное средство составления расписания	31
Мусорин Р.В., Фадеев Д.А., Масич Г.Ф. Обзор технологии GEN-Z	37
Любченко И.А., Болодурина И.П. Сравнительный анализ методов решения задачи оптимального управления с фазовыми ограничениями	45
Клейман Л.А., Фрейман В.И. Метод моделирования дискретных событий в качестве инструмента диагностики элементов информационно-управляющих систем	51
Шмидт И.А., Калинин И.А. Тематическое описание данных поисковой выдачи	57
Бортник Д.А., Масич Г.Ф. Разработка системы формирования динамической полосы пропускания научной сети по требованию высокопроизводительных приложений	64
Ямаев М.И. Классификация воображаемых движений с применением методов машинного обучения	69
Королев Г.К., Тюрин С.Ф. Разработка опции автоматического синтеза автомата по графу в отечественной САПР «Ковчег»	75

Хохряков М.С., Курушин Д.С. О возможности автоматизации процесса формирования и получения электронных документов посредством диалога с чат-ботом	81
Вязнин И.А., Вялых И.А. Автоматический мониторинг состояния поточного NIR-анализатора	87
Поляков А.Н., Мурзакаев Р.Т. Автоматизация процесса термоштамповки деталей из термопластичных композиционных материалов	93
Лузин Е.А., Галкина Л.С. Автоматизация обработки входящей и исходящей корреспонденции на предприятии	100
Сафронов Д.В., Юдина С.В. Вспомогательная информационно-управляющая система для автомобилей	104
Кетов Д.К. Разработка API-доступа к данным с динамически изменяемой структурой на основе GraphQL	108
Байдаров А.А., Гурко В.А., Майоров П.В., Марков О.А. Применение цифровых систем для устранения физиологических проблем восприятия звуковой информации	115
Иванов П.В., Сергеев А.И. Автоматизация формирования траектории движения инструмента	120
Гончаровский О.В., Воркунов В.В. Разработка и исследование специальной навигационной системы для работы робота в помещении	125
Перевалов А.М., Курушин Д.С. Разработка вопросно-ответного модуля с использованием нейронных сетей и структурированных баз знаний	132
Прибылев Т.М. Диверсионный анализ как инструмент для сбора информации о качестве управления организацией	138
Гончаровский О.В., Медников А.В. Варианты создания прототипа робота-официанта и разработка программного обеспечения новой встроенной системы	142
Авраменко Д.Г., Данилова Е.Ю. Генетический алгоритм для построения диагностической последовательности при диагностировании замыканий входов ПЛИС	150
Ахметшин С.Х., Тарутин А.В. Онлайн-система управления заявками пользователей	156
Власов С.А., Вялых И.А. Имитация внешних возмущений объектов управления в Unisim Design	161

Швалюк А.И., Греков А.В. Информационная система учета результатов научной деятельности на базе CMS Wordpress	165
Чистогов М.Д., Файзрахманов Р.А. Разработка системы сегментации эндоскопических снимков	169
Соловьева Н.В., Долгова Е.В. Получение изображения с внешней камеры устройства с целью дальнейшей обработки в проекте Unreal Engine 4	175
Кондратович Н.А., Долгова Е.В. Технология импорта персонажа из MakeHuman в Unreal Engine с высокой степенью реализации движения	179
Файзрахманов Р.А., Шушарина А.В. Формальное описание процесса проектирования тренажера для операторов кранов	184
Мехоношина Н.В., Файзрахманов Р.А. Проектирование автоматизированной информационной системы учета медицинского оборудования	190
Ерискина Е.В., Курушин Д.С. О возможности создания иерархической модели построения предложений для генерации естественно-языкового текста	196
Секция II. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ	203
Даев Ж.А., Султанов Н.З. Автоматизация процесса контроля баланса объемов природного газа на основе нейронечетких сетей	204
Носков В.В. Вопросы использования вторичной тепловой энергии для обогрева зданий	211
Белоновская И.Д., Еркулев А.В., Погадаева Р.Р. Устройства автоматической смены рабочего органа промышленных роботов: назначение, конструкция, принцип работы	216
Тетеркин А.В., Сташков С.И. Автоматизация технологического процесса миксингового отделения производства жидких моющих средств ООО «Хенкель Рус»	221
Работников М.А., Александрова А.С. Идентификация объекта управления по экспериментальным частотным характеристикам исследуемых каналов	230
Шмидт И.А., Мехоношин К.А., Монахов А.С., Елисеев Д.В. Автоматизация бизнес-процесса управления несоответствиями в процессе входного контроля	234

Нарбеков Р.Р., Даденков Д.А., Грибков И.Н. Разработка автоматизированной системы управления испытательного стенда	239
Горшков О.В., Москоков А.Ю. Автоматизация процессов обработки информации при инвестировании геолого-технических мероприятий	246
Марьин М.А., Лыков А.Н. Автоматизация стенда проверки жесткости компенсатора	252
Шмидт И.А., Иванова Е.Л. Автоматизация процесса управления требованиями	257
Поздеева А.М., Казанцев В.П. Разработка системы автоматического управления бустерного компрессора	262
Самойлова Н.Д., Андриевская Н.В. Современные методы управления двигателем постоянного тока	269
Шмидт И.А., Мехоношин К.А., Елтышев Д.К., Монахов А.С., Елисеев Д.В. Формализация данных конфигурации изделий в технологическом процессе	276
Вакутин В.В., Александрова А.С. Разработка программного обеспечения для систем контроля микроклимата комплекса «умного» дома в среде программирования SoMachine HVAC	281
Семенова Н.Г., Токпаев Н.С. Разработка системы автоматизированного контроля обнаружения утечек в критических системах охлаждения	286
Бурдышев И.В., Леготкина Т.С. Система управления температурой экструдера	291
Суслов К.Ю. Синтез и моделирование контуров регулирования технологического процесса учебно-экспериментальной установки	296
Даденков Д.А., Ефимов Н.А., Солодкий Е.М., Юдин Р.Ю. Разработка системы полунатурного моделирования момента нагрузки для имитации работы электропривода штанговой насосной установки	301
Работников М.А., Вялых И.А., Плехов В.Г. Расчет показателей качества продуктов нефтепереработки с применением нелинейных регрессионных моделей	310
Нешатаев А.С., Орехов М.С. Автоматизация дозирования сырья в реактор синтеза карбамидоформальдегидных смол ...	314

Коршунов М.Д., Широков А.А. Проблемы разработки цифровых образовательных ресурсов для изучения технических дисциплин	319
Спирина А.С., Орехов М.С. Методика расчета трехимпульсной системы автоматического регулирования барабанного парового котла типа ГМ-50-1	324
Петуховская В.Р., Орехов М.С. Автоматизация и идентификация напорного ящика бумагоделательной машины «Б-21 АМ»	329
Черепанов Н.А. Определение диапазонов изменения ключевых параметров при производстве заданной марки бумаги с использованием метода множественной регрессии	335
Отавин Д.А., Орехов М.С. Автоматизация процесса ректификации узла отделения воды от водометанольной смеси производства МТБЭ отделения ЭП–60 АО «Сибур–Химпром»	342
Михайлова К.Э., Орехов М.С. Автоматизация процесса сероочистки природного газа в производстве жидкого аммиака	349
Зебзеев М.С., Лыков А.Н. Беспроводные сети автоматизации	355
Пустосмехова А.В., Елтышев Д.К. К вопросу об эффективности эксплуатации нефтедобывающих скважин	360

Научное издание

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Материалы всероссийской научно-технической
конференции
(г. Пермь, 30–31 мая 2019 г.)

В двух томах
Том 1

Корректор *И.Н. Жеганина*

Подписано в печать 12.12.2019.
Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 23,25.
Тираж 100 экз. Заказ 216/2019.

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета.
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.
Тел. (342) 219-80-33.