

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ
СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СВЯЗИ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

СТНО-2024

**VII МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ**

Сборник трудов

Том 3

Рязань
2024

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5
С 568

Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2024 [текст]: сб. тр. VII междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.3./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2024.

ISBN 978-5-7722-0401-6

Т.3: – 194 с.,: ил.

ISBN 978-5-7722-0404-7

Сборник включает труды участников VII Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2024.

В сборнике освещаются вопросы математического моделирования, новых технологий в радиотехнике, телекоммуникациях, электротехнике и радиоэлектронике, вопросы полупроводниковой наноэлектроники, приборостроения, лазерной, микроволновой техники, силовой промышленной электроники, новые технологии в измерительной технике и системах, биомедицинских системах, алгоритмическое и программное обеспечение вычислительной техники, вычислительных сетей и комплексов, вопросы систем автоматизированного проектирования, обработки изображений и управления в технических системах, перспективные технологии в машиностроительном и нефтехимическом производствах, новые технологии и методики в высшем образовании, в т.ч. вопросы гуманитарной и физико-математической подготовки студентов, обучения их иностранным языкам, перспективные технологии электронного обучения, в том числе, дистанционного, вопросы экономики, управления предприятиями и персоналом, менеджмента, а также вопросы гуманитарной сферы.

Авторская позиция и стилистические особенности сохранены.

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5

ISBN 978-5-7722-0401-6

ISBN 978-5-7722-0404-7

© Рязанский государственный
радиотехнический университет, 2024

ИНФОРМАЦИЯ О VII МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2024

VII Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2024 состоялся 04.03.2024-06.03.2024 в г. Рязань в Рязанском государственном радиотехническом университете имени В.Ф. Уткина.

В рамках форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2024 состоялась работа четырех Международных научно-технических конференций:

«Современные технологии в науке и образовании. Радиотехника и электроника», секции

- Радиотехнические системы и устройства;
- Телекоммуникационные системы и устройства;
- Цифровые информационные технологии реального времени;
- Промышленная силовая электроника, электроэнергетика и электроснабжение;
- Физика полупроводников, микро- и наноэлектроника;
- Микроволновая, оптическая и квантовая электроника;
- Актуальные задачи химических технологий;

«Современные технологии в науке и образовании. Вычислительная техника и автоматизированные системы», секции

- Алгоритмическое и программное обеспечение вычислительных систем и сетей;
- ЭВМ и системы;
- Информационные технологии в конструировании электронных средств;
- Модели искусственного интеллекта в САПР;
- Информационные системы и защита информации;
- Математические методы в научных исследованиях;
- Обработка данных, изображений и управление в технических системах;
- Геоинформационные и космические технологии;
- Автоматизация производственно-технологических процессов в приборо- и машиностроении;
- Информационно-измерительные устройства и системы в технике и медицине;
- Стандартизация и управление качеством;
- Информационные системы и технологии;

«Современные технологии в науке и образовании. Экономика и управление», секции;

- Современные технологии государственного и муниципального управления;
- Экономика, менеджмент и организация производства;
- Бухгалтерский учет, анализ и аудит;
- Экономическая безопасность;
- Внешнеэкономическая деятельность;

«Современные технологии в науке и образовании. Новые технологии и методы в высшем образовании», секции

- Современные технологии электронного обучения;
- Иностранный язык в техническом вузе;
- Лингвистика и межкультурная коммуникация;
- Направления и формы гуманитаризации высшего образования и гуманитарная подготовка студентов;
- Методы преподавания и организация учебного процесса в вузе;
- Физико-математическая подготовка студентов;
- Вопросы воспитательной работы в высшей школе;
- Особенности военного образования на современном этапе.

Организационный комитет Форума:

Чиркин М.В., ректор, д.ф.-м.н., проф. – председатель

Гусев С.И., проректор по научной работе и инновациям, д.т.н., проф. – зам. председателя;

Корячко А.В., проректор по учебной работе, к.т.н., доц. – зам. председателя;

Миловзоров О.В., зам. начальника управления организации научных исследований, к.т.н., доц. – координатор, главный редактор сборника трудов Форума;

Миронов В.В., ответственный редактор сборника трудов Форума;

Устинова Л.С., начальник отдела информационного обеспечения – отв. за информационную поддержку;

члены оргкомитета:

Бабаян П.В., зав. кафедрой автоматизации и информационных технологий в управлении, к.т.н., доц.;

Бухенский К.В., зав. кафедрой высшей математики, к.ф.-м.н., доц.;

Витязев В.В., зав. кафедрой телекоммуникаций и основ радиотехники, д.т.н., проф.;

Волченков В.А., доцент кафедры телекоммуникаций и основ радиотехники, к.т.н.;

Горлин О.А., доцент кафедры электронных приборов, к.т.н., доц.;

Губарев А.В., доцент кафедры информационно-измерительной и биомедицинской техники, к.т.н., доц.;

Дмитриев В.Т., зав. кафедрой радиоуправления и связи, д.т.н., доц.;

Дмитриева Т.А., доцент кафедры вычислительной и прикладной математики, к.т.н., доц.;

Евдокимова Е.Н., зав. кафедрой экономики, менеджмента и организации производства, д.э.н., проф.;

Еремеев В.В., директор НИИ «Фотон», д.т.н., проф.;

Есенина Н.Е., зав. кафедрой иностранных языков, к.п.н., доц.;

Жулев В.И., зав. кафедрой информационно-измерительной и биомедицинской техники, д.т.н., проф.;

Карпунина Е.В., доцент кафедры экономической безопасности, анализа и учета, к.э.н., доц.;

Кислицына Т.С., старший преподаватель кафедры радиотехнических систем;

Клейносова Н.П., директор центра дистанционного обучения, к.п.н., доц.;

Ключко В.К., профессор кафедры автоматизации и информационных технологий в управлении, д.т.н., проф.;

Коваленко В.В., зав. кафедрой химической технологии, к.т.н., доц.;

Корячко В.П., зав. кафедрой систем автоматизированного проектирования вычислительных средств, д.т.н., проф.;

Костров Б.В., зав. кафедрой электронных вычислительных машин, д.т.н., проф.;

Кошелев В.И., зав. кафедрой радиотехнических систем, д.т.н., проф.;

Крошилина С.В., доцент кафедры вычислительной и прикладной математики, к.т.н., доц.;

Круглов С.А., зав. кафедрой промышленной электроники, д.т.н., доц.;

Кузьмин Ю.М., доцент кафедры информационной безопасности, к.т.н., доц.;

Куприна О.Г., доцент кафедры иностранных языков, к.филол.н., доц.;

Ленков М.В., декан факультета автоматизации и информационных технологий в управлении, зав. кафедрой автоматизации информационных и технологических процессов, к.т.н., доц.

Литвинов В.Г., зав. кафедрой микро- и нанoeлектроники, д.ф.-м.н., доц.;

Лукиянова Г.С., доцент кафедры высшей математики, к.ф.-м.н., доц.;

Маметова Ю.Ф., доцент кафедры иностранных языков, к.п.н., доц.;

Мельник О.В., профессор кафедры информационно-измерительной и биомедицинской техники, д.т.н., доц.;

Меркулов Ю.А., старший преподаватель кафедры автоматизации информационных и технологических процессов;

Миронов В.В., старший преподаватель кафедры Воздушно-космических сил;

Митрошин А.А., доцент кафедры систем автоматизированного проектирования вычислительных средств, к.т.н., доц.;

Мишустин В.Г., доцент кафедры микро- и нанoeлектроники, к.ф.-м.н., доц.;

Никифоров М.Б., доцент кафедры электронных вычислительных машин, к.т.н., доц.;

Овечкин Г.В., зав. кафедрой вычислительной и прикладной математики, д.т.н., проф.;

Паршин А.Ю., доцент кафедры радиотехнических устройств, к.т.н., доц.;

Паршин Ю.Н., зав. кафедрой радиотехнических устройств, д.т.н., проф.;

Перфильев С.В., зав. кафедрой государственного, муниципального и корпоративного управления, д.э.н., проф.;

Подгорнова Н.А., доцент кафедры государственного, муниципального и корпоративного управления, к.э.н., доц.;

Пржегорлинский В.Н., зав. кафедрой информационной безопасности, к.т.н., доц.;

Пылькин А.Н., профессор кафедры вычислительной и прикладной математики, д.т.н., проф.;

Сапрыкин А.Н., доцент кафедры систем автоматизированного проектирования вычислительных средств, к.т.н., доц.;

Семенов А.Р., ст.преподаватель кафедры химической технологии, к.ф.-м.н.;

Серебряков А.Е., зам. зав. кафедрой электронных приборов, к.т.н.;

Скрипкина О.В. доцент кафедры экономической безопасности, анализа и учета, к.э.н., доц.;

Соколов А.С., зав. кафедрой истории, философии и права, д.и.н.;

Таганов А.И., профессор кафедры космических технологий, д.т.н., проф.;

Тарасова В.Ю., ассистент кафедры электронных вычислительных машин, магистр;

Харитонов А.Ю., нач. военного учебного центра, полковник, к.т.н., доц.;

Холопов С.И., зав. кафедрой автоматизированных систем управления, к.т.н., доц.;

Цыцына М.И., ассистент кафедры космических технологий, магистр;

Цветков А.А., проректор по молодежной политике;

Чеглакова С.Г., зав. кафедрой экономической безопасности, анализа и учета, д.э.н., проф.;

Челебаев С.В., доцент кафедры автоматизированных систем управления, к.т.н., доц.;

Щевьев А.И., доцент кафедры истории, философии и права, к.п.н., доц..

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»

СЕКЦИЯ «ЦИФРОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ»

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

РЕАЛИЗАЦИЯ ОПТИМАЛЬНОГО БЛОКА ПОИСКА ЧЕНЯ НА ПЛИС

Н.С. Виноградов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, nikita-vinogradov11@rambler.ru*

Аннотация. В работе рассматривается алгоритм поиска Ченя, используемый в БЧХ декодере. Рассматривается традиционная схема параллельного поиска Ченя, а также ее оптимизация. По итогам синтеза рассмотренных схем на ПЛИС оцениваются полученные затраты по ресурсам.

Ключевые слова: коды Боуза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ), программируемые логических интегральные схемы (ПЛИС), алгоритм поиска Ченя, Look-Up-Table (LUT), Flip-Flop (FF).

IMPLEMENTATION OF THE OPTIMAL CHEN SEARCH BLOCK ON FPGA

N.S. Vinogradov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, nikita-vinogradov11@rambler.ru*

The summary. The paper considers the Chen search algorithm used in the BCH decoder. The traditional Chen parallel search scheme is considered, as well as the optimized strength-reduced scheme. Based on the results of the synthesis of the considered circuits on FPGAs, the resulting resource costs are estimated.

Keywords: Bose–Chaudhuri–Hocquenghem codes (BCH), field-programmable gate array (FPGA), Chen search algorithm, Look-Up-Table (LUT), Flip-Flop (FF).

Одними из наиболее распространенных помехоустойчивых кодов являются коды БЧХ (коды Боуза-Чоудхури-Хоквингема). Данные коды нашли широкое применение в стандартах спутниковой связи DVB-S2 и DVB-S2X [1,2]. В указанных стандартах коды БЧХ используются в качестве внешнего кода. В качестве внутреннего кода используется LDPC. Из-за высоких требований к пропускной способности кодеры и декодеры БЧХ и LDPC реализуются на ПЛИС. В связи с этим возникает необходимость в оптимизации ресурсов ПЛИС, требуемых для реализации БЧХ и LDPC кодеров. Наиболее сложными алгоритмическими блоками являются декодеры, расположенные в приемном тракте.

В данной работе разбирается оптимизация одного из основных алгоритмических блоков БЧХ декодера. Как рассматривается в статье [3] декодер БЧХ состоит из трех основных блоков: блок расчета синдрома, блок решателя ключевого уравнения (РКУ) и блок поиска Ченя. Блок расчета синдрома на основании входного кодового слова рассчитывает синдром. Затем рассчитанный синдром поступает на блок РКУ, в котором производится расчет полинома локатора ошибок. В блоке поиска Ченя происходит поиск корней полинома локатора ошибок путем полного перебора значений. Корни полинома локатора ошибок характеризуют найденные ошибочные биты в кодовом слове.

Традиционный поиск Ченя

Рассмотрим более подробно блок поиска Ченя. В статье [3] представлена последовательная схема поиска Ченя. Данная схема позволяет за один такт осуществлять подстановку одного значения в полином локатора ошибок. В стандарте DVB-S2X максимальная длина

кодového слова составляет 58320 бит. Соответственно, для последовательного поиска Ченя, поиск корней полинома локатора ошибок может занять 58320 тактов, что не позволит получить высокую пропускную способность. На практике, для повышения пропускной способности блока, используется параллельная схема поиска Ченя. Такая схема представлена в [4]. Однако ее использование для БЧХ кодов из стандарта DVB-S2X не является оптимальным в связи с тем, что в стандарте применяются укороченные БЧХ коды.

Для БЧХ кодов DVB-S2X лучше подойдет схема из [5], которая позволяет учесть укороченность БЧХ кода и тем самым повысить пропускную способность блока поиска Ченя. Такая схема параллельного поиска Ченя представлена на рисунке 1, где $\lambda_1, 2, \dots, t$ – коэффициенты полинома локатора ошибок, α – примитивный член поля Галуа, t – корректирующая способность ВСН декодера, p – коэффициент распараллеливания поиска Ченя, i – номер итерации поиска Ченя, u – количество укороченных бит в БЧХ коде. Для учета укороченности БЧХ кода и увеличения скорости работы блока поиска Ченя необходимо использовать набор коэффициентов $(\alpha^u, \alpha^{2u}, \dots, \alpha^{tu})$ на первой итерации поиска для перерасчета коэффициентов полинома локатора ошибок.

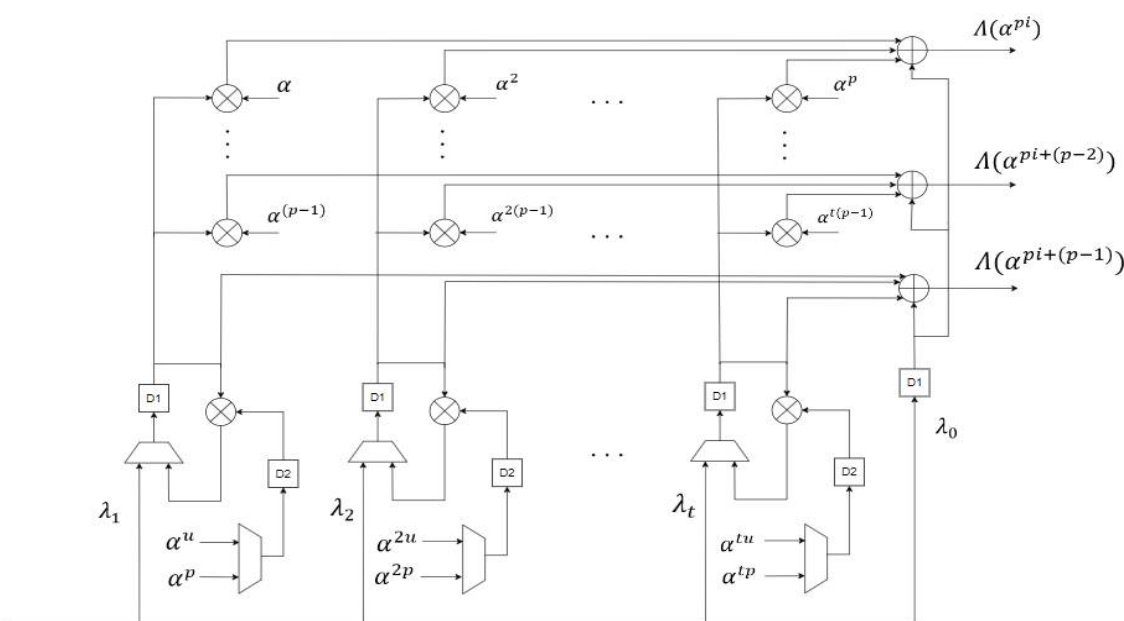


Рис. 1. Параллельная схема поиска Ченя

Оптимизация прямого поиска Ченя

В статье [6] предлагается оптимизация блока поиска Ченя. Предложенная в статье схема представлена на рисунке 2. Основное улучшение заключается в избавлении от константных умножителей поля Галуа в параллельных ветвях расчета. Вместо умножения используются операции сдвига и последующего суммирования сдвинутых значений в поле Галуа. Результаты сложения поступают на специализированные умножители поля Галуа, где умножаются на матрицы $R_i(\alpha)$, где i – номер ветви.

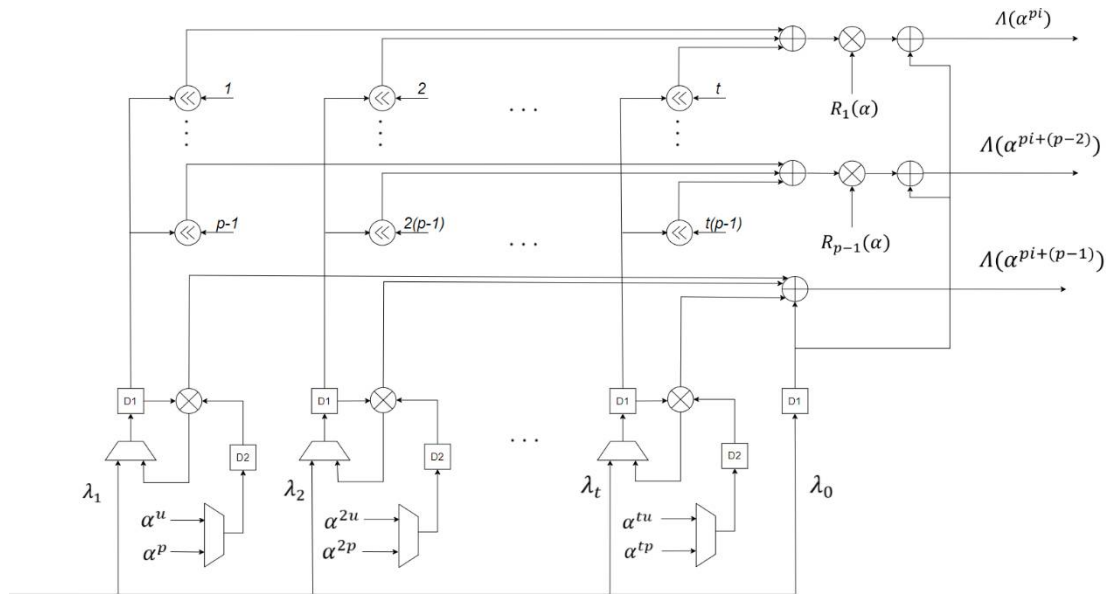


Рис. 2. Оптимизированная схема параллельного поиска Ченя

Основным достоинством схемы на рисунке 2 является избавление от дорогостоящих блоков умножителей поля Галуа. Операции сдвигов с последующим сложением являются намного проще с точки зрения ресурсов. В то же время, данная схема приводит к дополнительным затратам при реализации специализированных умножителей поля Галуа, требующих хранения дополнительных матриц. Стоит учитывать, что матрицы $R_i(\alpha)$ для каждой параллельной ветви при $i \leq t$ имеют размерность $m * (m + (t - 1) * i)$. Однако, когда $i > t$, специализированные умножители поля Галуа будут иметь матрицы одинакового размера, не зависимо от i , то есть размер матриц будет равен $m * m * t$. Если рассматривать стандартные константные умножители поля Галуа, то в них хранится матрица размером $m * m$. Так как количество константных умножителей поля Галуа в схеме на рисунке 1 равно t , то общий размер матрицы для t константных умножителей также равен $m * m * t$. В результате, можно сделать вывод, что схема на рисунке 2 будет эффективнее схемы на рисунке 1 при коэффициенте распараллеливания $p \leq t$ за счет меньшего суммарного размера матриц. Однако при $p > t$, ресурсы на параллельную ветвь в схеме на рисунке 2 могут быть соизмеримы с затратами на параллельную ветвь в схеме на рисунке 1. Оценить выигрыш можно только путем расчета плотности матриц, то есть отношения количества 1 в матрице к общему количеству элементов матрицы.

Результаты синтеза

Для оценки оптимизированной схемы блока поиска Ченя было реализовано два блока в соответствии со схемами, изображенными на рисунках 1 и 2. Указанные блоки были реализованы под стандарт DVB-S2X, то есть поддерживают 55 режимов работы. При изменении режима работы происходит выбор соответствующих наборов константных значений. В стандарте DVB-S2X используется три поля Галуа $GF(2^{14})$, $GF(2^{15})$, $GF(2^{16})$. Соответственно максимальная степень поля Галуа равна 16. Каждый из реализованных блоков является параметризуемым. В качестве параметра задается степень распараллеливания, что позволяет выбрать оптимальное соотношение между пропускной способностью блока и занимаемыми ресурсами. Было произведено несколько этапов синтеза разработанных блоков с различными коэффициентами распараллеливания. В качестве кристалла была выбрана ПЛИС от фирмы Xilinx xc7k325tffg900-2. Рабочая частота на которой будут синтезироваться блоки, была вы-

брана равной 167 МГц, для которой период тактового сигнала равен 6 нс. Результаты синтеза представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты синтеза разработанных модулей

Коэффициент рас- параллеливания	Схема поиска Ченя				Выигрыш оптимиза- ции, %	
	Традиционная		Оптимизированная			
	LUT	FF	LUT	FF	LUT	FF
2	2691	1362	2471	1183	8	13
4	3925	1730	2805	1301	29	25
8	6329	2474	4106	1646	35	34
9	6874	2648	4540	1757	34	34
10	8198	2886	5081	1876	38	35
11	8728	3079	5872	1971	33	36
12	9440	3269	6547	2066	31	37
16	12497	4050	8967	2343	28	42
32	24058	7118	20521	2645	15	63
64	47112	13258	44379	3505	6	74
70	51426	14421	48434	3670	6	75
128	103715	26438	103638	5813	0	78

Как можно видеть из таблицы 1, для коэффициентов распараллеливания от 2 до 10, выигрыш по ресурсам LUT (Look-Up-Table) от использования оптимизированной схемы постепенно увеличивается и достигает своего максимума при коэффициенте равном 10, при котором использование оптимизированной схемы блока поиска Ченя позволяет сократить затраты LUT на 38%. При последующем увеличении коэффициента распараллеливания, выигрыш начинает уменьшаться. Это происходит из-за рассмотренной в предыдущем пункте особенности оптимизации. Однако, по предположению, при коэффициенте распараллеливания равном 16, ресурсы LUT, затрачиваемые на традиционную схему и оптимизированную, должны быть соизмеримы. Этого может не происходить из-за разной плотности матриц в разработанных блоках поиска Ченя. Однако с увеличением коэффициента распараллеливания количество матриц, используемых в умножителях, увеличивается и плотность матриц для традиционной и оптимизированной схемы перестает играть значительную роль. Это подтверждается результатами синтеза. Так, например, для коэффициента распараллеливания равного 64 выигрыш от использования оптимизированной схемы составляет всего лишь 6%, а для коэффициента 128 выигрыш отсутствует.

Для ресурсов FF (Flip-Flop) ситуация другая. При увеличении коэффициента распараллеливания, выигрыш по FF, от использования оптимизированной схемы, только увеличивается. FF представляют собой D-триггеры, то есть регистры. Они, как правило, используются для повышения рабочей частоты блока. При необходимости, можно уменьшить количество ресурсов FF, затрачиваемых на традиционную схему поиска Ченя, однако это может привести к понижению рабочей частоты блока. На практике, наиболее ценными являются ресурсы LUT.

Была проведена оценка максимальной рабочей частоты реализованных блоков поиска Ченя. Для коэффициента распараллеливания равного 8, традиционная схема блока поиска Ченя имеет максимальную рабочую частоту 625 МГц, а оптимизированная схема – 370 МГц. Таким образом, при коэффициенте равном 8, максимальная пропускная способность традиционной схемы поиска Ченя равна 5 Гб/с, а оптимизированной схемы – 3 Гб/с.

Таким образом, по итогам синтеза разработанных модулей с различными коэффициентами распараллеливания, можно сделать вывод, что для коэффициентов распараллеливания $p < t$ гораздо эффективнее использовать оптимизированную схему. Однако, для $p > t$, с

увеличением p выигрыш от оптимизации будет постепенно снижаться. Одновременно с этим пропускную способность блока поиска Ченя можно повысить за счет правильного использования ресурсов FF, тем самым повысив рабочую частоту модуля.

Библиографический список

1. ETSI EN 302 307-1: "Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part 1: DVB-S2".
2. ETSI EN 302 307-2: "Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part 2: DVB-S2 Extensions (DVB-S2X)".
3. Zhou Chen, Yulong Zhang, Yan Ying, Chuan Wu, & Xiaoyang Zeng. (2009). An area-efficient and degree-computationless BCH decoder for DVB-S2. 2009 IEEE 8th International Conference on ASIC. doi:10.1109/asicon.2009.5351625
4. Yanni Chen, & Parhi, K. K. (n.d.). Area efficient parallel decoder architecture for long BCH codes. 2004 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. doi:10.1109/icassp.2004.1327050
5. Wu, T. (2014). Efficient Recording of Parallel Chien Search Results of BCH Code by Three-Staged and Group-Sorted Circuit. 2014 IEEE 17th International Conference on Computational Science and Engineering. doi:10.1109/cse.2014.329
6. Junho Cho, & Wonyong Sung. (2008). Strength-Reduced Parallel Chien Search Architecture for Strong BCH Codes. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, 55(5), 427–431. doi:10.1109/tcsii.2007.914898

УДК 004.942; ГРНТИ 28.17.19

ИССЛЕДОВАНИЕ БЛОКОВ ГЕНЕРИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ И СРЕДСТВ АНАЛИЗА СИГНАЛОВ В СРЕДЕ SIMINTECH ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ МОДЕЛЕЙ ТКС

В.А. Волченков, А.Г. Лункин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, alex.lunkin2015@yandex.ru*

Аннотация. SimInTech предоставляет удобные инструменты для моделирования и симуляции систем автоматического управления, что делает ее перспективным выбором для разработки моделей ТКС. Данное исследование посвящено анализу блоков генерирования сигналов и средств анализа сигналов в программной среде SimInTech с целью оценки возможности создания моделей телекоммуникационных систем, а также провести сравнение среды SimInTech с Simulink.

Ключевые слова: блоки генерирования сигналов, средств анализа сигналов, Simulink, SimInTech.

INVESTIGATION OF SIGNAL GENERATION UNITS AND SIGNAL ANALYSIS TOOLS IN THE SIMINTech ENVIRONMENT TO ASSESS THE POSSIBILITY OF CREATING TCS MODELS

V.A. Volchenkov, A.G. Lunkin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, alex.lunkin2015@yandex.ru*

Abstract. SimInTech provides convenient tools for modeling and simulation of automatic control systems, which makes it a promising choice for the development of TCS models. This study is devoted to the analysis of signal generation units and signal analysis tools in the SimInTech software environment in order to assess the possibility of creating models of telecommunications systems, as well as to compare the SimInTech environment with Simulink.

Keywords: blocks of signal generation, signal analysis tools, Simulink, SimInTech.

Цифровая обработка сигналов (ЦОС) и математическое моделирование играют неотъемлемую роль в современном технологическом прогрессе, оказывая значительное влияние на различные области человеческой деятельности. Объединение этих двух областей, особенно в контексте сред разработки математических моделей, таких как SimInTech, Simulink и др. приобретает стратегическое значение в решении множества инженерных задач. Цифровая обработка сигналов и математическое моделирование играют важную роль в различных областях, таких как телекоммуникации, медицина, авиация, робототехника, энергетика и многие другие. В свете невозможности продления лицензии для MATLAB/Simulink, отличной заменой для выполнения аналогичных задач является SimInTech, предоставляя сравнимые возможности и инструменты для эффективного моделирования и анализа систем автоматического управления.

В сфере телекоммуникаций, где передача данных является ключевым элементом, эффективные методы ЦОС в среде SimInTech обеспечивают стабильность передачи сигналов, снижают уровень шума и позволяют создавать передовые системы связи. Развитие новых алгоритмов и моделей в данной области способствует созданию высокопроизводительных и надежных телекоммуникационных средств.

Быстрое развитие технологий требует инновационных решений и высокоточных алгоритмов обработки сигналов. Применение среды SimInTech в области ЦОС не только обеспечивают разработку новых технологических решений, но и повышают эффективность различных технических систем, улучшая их производительность и надежность.

SimInTech - мощная программная среда, разработанная для моделирования и симуляции систем автоматического управления. Ее удобный интерфейс обеспечивает простоту в использовании, делая её доступной для широкого круга пользователей. Основное направление SimInTech – моделирование систем управления. В сотрудничестве с университетами, включая Рязанский государственный радиотехнический университет, SimInTech прекрасно интегрируется в образовательную среду, что делает его отличным инструментом для студентов и преподавателей, упрощая процесс обучения и исследований в области систем автоматического управления и цифровой обработки сигналов. Дополнительные ресурсы, такие как статьи и учебные пособия, укрепляют позиции SimInTech как удобного инструмента для инженеров, заинтересованных в моделировании систем управления и обработке сигналов.

Так в г. Рязань в компании "Лаборатория сфера" [1] совместно с преподавательским составом кафедры Телекоммуникаций и основ радиотехники Рязанского государственного радиотехнического университета им. В.Ф. Уткина [2] было разработано приложение для разработки цифровых фильтров. Программа называется "Проектирование и анализ цифровых фильтров" и доступна в разделе "Инструменты" среды SimInTech, которую можно загрузить с официального сайта разработчика [3]. Подробный обзор возможностей приложения для проектирования цифровых фильтров в среде SimInTech представлен в статье "Введение в проектирование и анализ цифровых фильтров в среде SimInTech" [4]. Эта публикация, вышедшая в четвёртом номере журнала "Цифровая обработка сигналов" в 2023 году, предоставляет описание функционала программы. Рассмотрены основные инструменты, блоки и возможности приложения, позволяя читателям подробно ознакомиться с методами проектирования, анализа и настройки цифровых фильтров в SimInTech. Кроме того, в августе 2023 года вышло учебное пособие под названием "Цифровая обработка сигналов". Это издание представляет собой детальное руководство по проектированию цифровых КИХ- и БИХ-фильтров в среде SimInTech, охватывающее основы цифровой обработки сигналов и моделирование прохождения сигналов через цифровые фильтры. Пособие содержит теоретический материал, практические примеры и задачи [5].

В рамках поставленной задачи на научно-исследовательскую работу в первом семестре магистратуры были исследованы и описаны две библиотеки блоков среды SimInTech, применяемые для моделирования телекоммуникационных систем:

- 1) в библиотеке "Источники" содержатся различные блоки для генерации сигналов, такие как часы, константа, линейный источник, ступенька, парабола, полином, синусоида, экспонента, гипербола, нормальный шум, равномерный шум, пила, обратная пила, кусочно-линейная функция, кусочно-постоянная функция, треугольный сигнал, меандр, генератор единичных импульсов, циклограмма и блок "из файла";
- 2) в библиотеке "Вывод данных" содержатся множество средств для анализа сигналов, такие как временной график, график Y от X, фазовый портрет, трёхмерный график и блок "в файл".

Для сравнения со средой SimInTech была выбрана среда Simulink, как наиболее распространённая среда для моделирования телекоммуникационных систем (ТКС). Далее приводится пример подготовки описания одного из блоков - блока синусоиды.

Пример: Описание блока синусоиды в средах Simulink и SimInTech.

Блок векторизован, формирует синусоидальный выходной сигнал:

$$y(t) = a \times \sin(\omega t + f)$$

где a – амплитуда;

ω – круговая частота, рад/с;

f – фаза, рад;

t – текущее модельное время в секундах [6].

Окно параметров и генерируемый сигнал блока синусоиды (Sine Wave) в Simulink приведены на рисунке 1 [7]. Описание параметров блока Sine Wave приведено в таблицах 1–3.

Таблица 1. Набор параметров блока Sine Wave в Simulink

Обозначение	Параметр
Sine type	• Time based – аналоговая; • Sample based – дискретная
Time (t)	Время T
Amplitude	Амплитуда A
Bias	Смещение bias (постоянная составляющая)
Sample time	Интервал времени между соседними значениями сигнала в процессе моделирования
Interpret vector parameters as 1-D	Флаг интерпретации вектора параметров

Таблица 2. Параметры для аналоговой синусоиды в Simulink (Sine type: Time based)

Обозначение	Параметр
Frequency (rad/sec)	Частота ω в рад/с
Phase (rad)	Фаза в рад

Таблица 3. Параметры для дискретной синусоиды в Simulink (Sine type: Sample based)

Обозначение	Параметр
Samples per period	Количество отсчетов на периоде
Number of offset samples	Задержка сигнала в количестве отсчетов

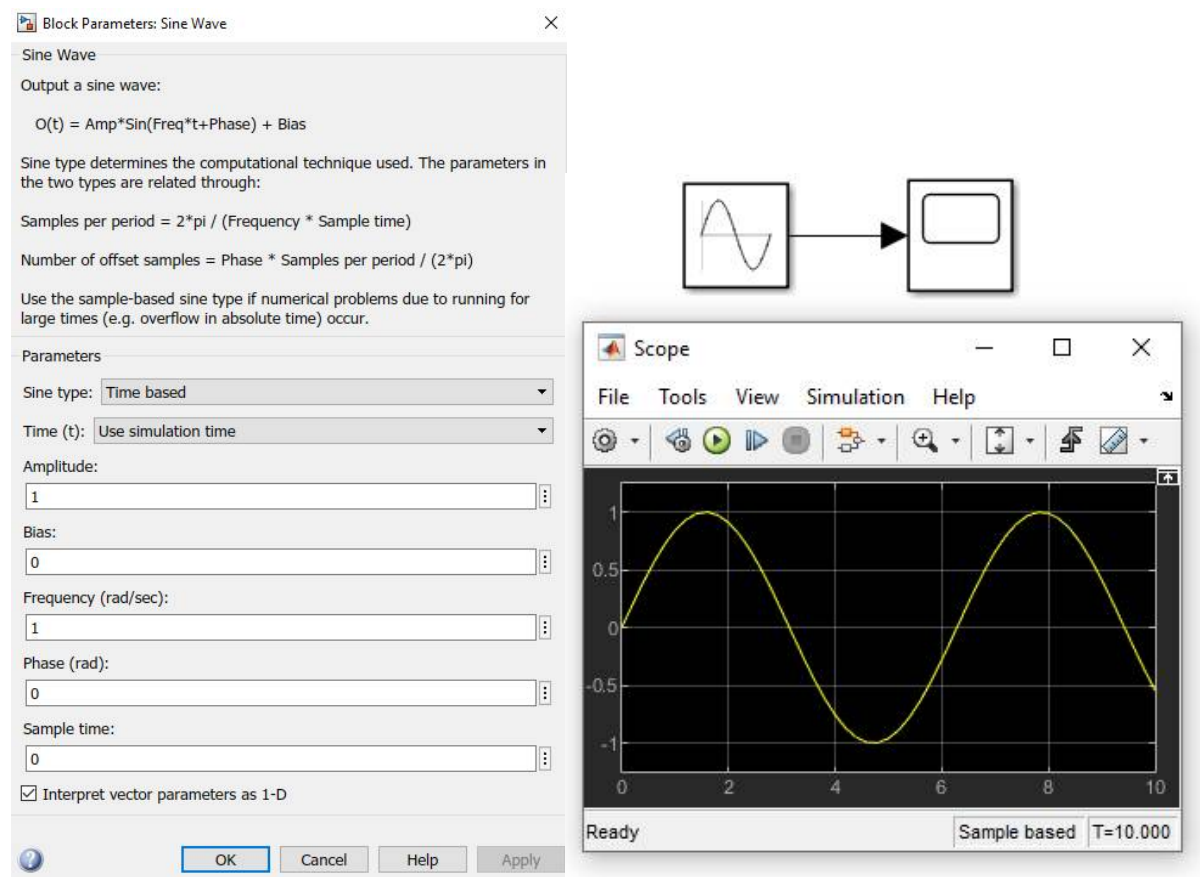


Рис. 1. Окно параметров и генерируемый сигнал блока Sine Wave

Обозначение блока синусоида в SimInTech приведено на рисунке 2. Окно параметров и генерируемый сигнал блока синусоиды в SimInTech приведены на рисунке 3. Описание параметров блока синусоиды в SimInTech приведено в таблице 4.

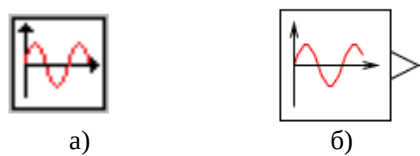


Рис. 2. Обозначение блока синусоиды в SimInTech: а) в палитре; б) на схеме

Таблица 4. Набор параметров блока синусоиды в SimInTech

Параметр	Обозначение
Амплитуда	Коэффициент a
Частота	Коэффициент ω
Фаза	Коэффициент f

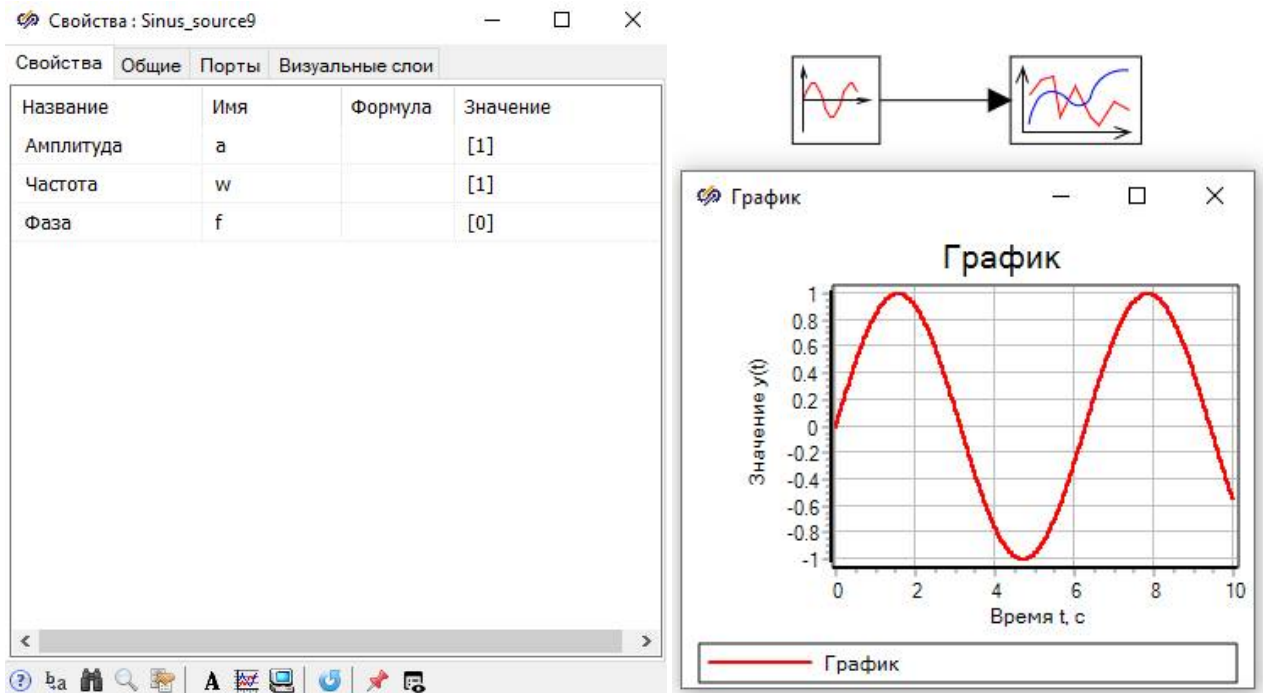


Рис. 3. Окно параметров и генерируемый сигнал блока синусоиды в SimInTech

В данной статье приведен отчет о проделанном исследовании в рамках научно-исследовательской работы в первом семестре магистратуры. В рамках проведенной работы были произведены поиск и изучение литературы по теме «Исследование методов цифровой обработки сигналов в среде разработки математических моделей SimInTech», описано обоснование актуальности темы и постановка задачи. Для сравнения со средой SimInTech для разработки математических моделей была выбрана среда Simulink. Было приведено исследование блоков генерирования сигналов и средств анализа сигналов в SimInTech.

В рамках следующего этапа работы планируется проведение исследования математических преобразований и средств управления сигналами в SimInTech.

Библиографический список

1. Официальный сайт ООО «Лаборатория Сфера»: [сайт]. URL: <https://labsphera.ru/>.
2. Страница кафедры Телекоммуникаций и основ радиотехники РГРТУ на официальном сайте ФГБОУ ВО «РГРТУ»: [сайт]. URL: <https://rsreu.ru/faculties/frt/kafedri/tor/>.
3. Среда динамического моделирования SimInTech: [сайт]. URL: <https://simintech.ru/>.
4. В.В. Витязев, В.А. Волченков, А.А. Овинников, Е.А. Лихобабин. Введение в проектирование и анализ цифровых фильтров в среде SimInTech // Цифровая обработка сигналов. 2023. №4. С. 79-84.
5. Цифровая обработка сигналов. Учебное пособие для вузов / В.В. Витязев, В.А. Волченков, А.А. Овинников и др. – М.: Горячая линия – Телеком, 2023. – 188 с.: ил.
6. Справочная система SimInTech (v30.12.2023): [сайт]. URL: https://help.simintech.ru/#o_simintech/browsers.html.
7. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в Simulink. Учебное пособие / А.И. Солонина — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 432 с.: ил.

УДК 621.391.8; ГРНТИ 47.05.17

ПРИМЕНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ АВТОРЕГРЕССИОННЫХ МЕТОДОВ СПЕКТРАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧЕНИЯ БЛИЗКОРАСПОЛОЖЕННЫХ ПО ЧАСТОТЕ РАДИОСИГНАЛОВ

В.А. Волченков, А.Р. Колягин

Рязанский государственный радиотехнический университет

Ryazan, kolyagin.2001@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассмотрено применение некоторых авторегрессионных параметрических методов для спектрального анализа близкорасположенных сигналов. Приведено сравнение эффективности данных методов.

Ключевые слова: спектральный анализ, параметрические методы

APPLICATION OF SOME AUTOREGRESSIVE SPECTRAL ESTIMATION METHODS TO DISTINGUISH RADIO SIGNALS CLOSELY SPACED IN FREQUENCY

V.A. Volchenkov, A.R. Kolyagin

Ryazan State Radio Engineering University

Ryazan, kolyagin.2001@mail.ru

Abstract. In this paper, the application of some autoregressive parametric methods for spectral analysis of closely spaced signals is considered. A comparison of the effectiveness of these methods is given.

Keywords: spectral analysis, parametric methods

Введение

В рамках предлагаемого исследования рассматриваются некоторые авторегрессионные параметрические методы спектрального анализа, а именно: ковариационный, модифицированный ковариационный и Юла – Уокера. Проводится сравнение их эффективности.

Экспериментальные исследования

В экспериментальных исследованиях за основу была взята модель авторегрессии и соответствующие ей методы: Юла – Уокера, ковариационный и модифицированный ковариационный.

Были проведены следующие эксперименты.

Эксперимент № 1. Определение уровня различения исследуемыми методами при заданном фиксированном порядке модели при уменьшении диапазона частот между сигналами и определение уровня различения исследуемыми методами при заданном фиксированном диапазоне частот при изменении порядка исследуемых моделей.

Эксперимент № 2. Определение предельного диапазона частот, при котором составляющие тестового сигнала становятся невозможно различить, и определение предельного уровня ОСШ, при котором составляющие тестового сигнала становятся невозможно различить, при заданном оптимальном порядке.

Эксперимент № 3. Определение способности выделения спектральных составляющих короткого по времени сигнала.

Эксперимент № 1.

Первый тестовый сигнал представлял собой сумму двух синусоид на фоне белого гауссовского шума с частотами $f_1 = 50\text{--}110$ Гц и $f_2 = 140\text{--}200$ Гц. Частота дискретизации была 1000 Гц. Отношение сигнал/шум на уровне 10 дБ.

В результате сближения по частоте двух сигналов проводился поиск предельного диапазона частот между сигналами, при котором данные сигналы уже невозможно было различить. Порядок моделей при этом составлял 15.

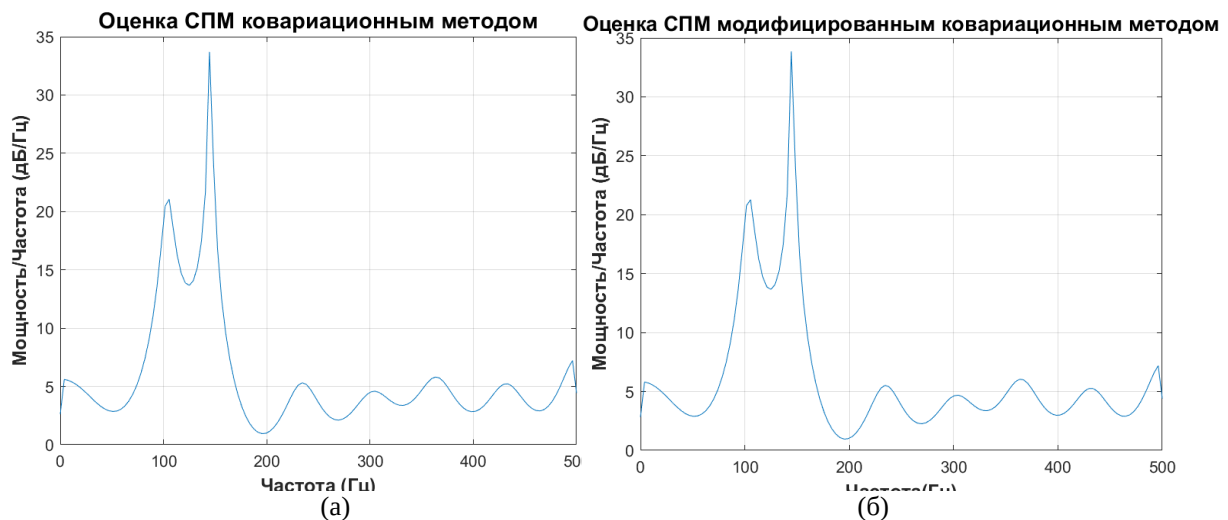
В таблице 1 представлен уровень различения в дБ, как разница уровня мощности наименьшего по мощности спектра сигнала и уровня мощности «провала» между спектрами двух сигналов, в зависимости от сближения сигналов по частоте. Согласно критерию, если это значение будет меньше 3 дБ, можно считать пик неразличимым. В данном случае диапазон частот $\Delta f = 30$ Гц ($f_1 = 110$ Гц и $f_2 = 140$ Гц) был зафиксирован как предельный.

Таблица 1. Определение уровня различения исследуемыми методами при заданном фиксированном порядке модели при уменьшении диапазона частот между сигналами

Δf , Гц	Уровень различения в дБ		
	Ковариационный	Мод. ковариационный	Юла - Уокера
150	22.11	22.13	22.81
70	21.93	21.98	20.20
40	8.22	8.25	6.92
30	2.23	2.22	1.31

После выставления значений найденных частот, варьировался порядок модели от установленного ранее значения 15 в сторону увеличения и уменьшения. Критерием выбора оптимального числа являлось незначительное увеличение побочных составляющих при выставлении порядка модели и достаточное разрешение пиков основных спектральных составляющих друг от друга. В таблице 2 приведен уровень различения в дБ в зависимости от выбранного порядка моделей.

Результаты расчёта СПМ на частотах $f_1 = 105$ Гц и $f_2 = 145$ Гц приведены на рисунке 1.



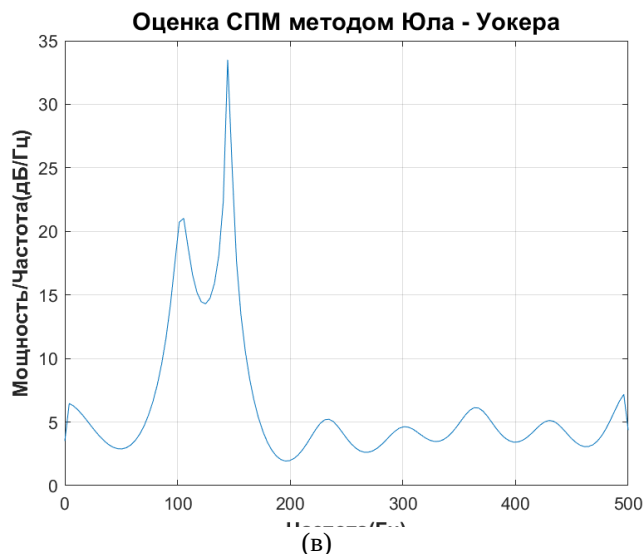


Рис. 1. СПМ: а) при обработке ковариационным методом,
б) при обработке модифицированным ковариационным методом,
в) при обработке методом Юла - Уокера

Эксперимент № 2.

Второй тестовый сигнал состоял из суммы двух синусоид с шумом с частотами $f_1 = 50$ Гц и $f_2 = 56\text{--}60$ Гц. ОСШ варьировалась от 5 до 25 дБ. Частота дискретизации была 1000 Гц.

Порядок моделей был выставлен равным 20 на основании определения оптимального порядка для трёх исследуемых параметрических методов на основе эксперимента, проведённого в предыдущей части работы.

Таблица 2. Определение уровня различения исследуемыми методами при заданном фиксированном диапазоне частот при изменении порядка исследуемых моделей

p	Уровень различения в дБ		
	Ковариационный	Мод. ковариационный	Юла - Уокера
10	0	0	0
15	2.21	2.22	1.31
18	5.11	5.21	4.42
20	13.69	13.77	8.82
25	17.59	18	16

Первая часть моделирования проводилась при постоянных значениях отношения сигнал/шум и частоты первого сигнала $f_1 = 50$ Гц. Частота второго сигнала уменьшалась с 60 Гц с шагом 1 Гц для определения предела различения двух сигналов. В таблице 3 представлено определение предельного диапазона частот, при котором составляющие тестового сигнала становится невозможно различить.

Таблица 3. Определение предельного диапазона частот, при котором составляющие тестового сигнала становится невозможно различить

Δf , Гц	Ковариационный	Мод. Ковариационный	Юла - Уокера
10	Различены	Различены	Различены
9	Различены	Различены	Различены
8	Различены	Различены	Не различены
7	Различены	Не различены	Не различены
6	Не различены	Не различены	Не различены

Во второй части изменялось отношение сигнал/шум от 10 до 25 дБ при постоянных частотах сигнала, которые были определены из первой части эксперимента № 2 для определения влияния ОСШ на различение двух близкорасположенных сигналов исследуемыми методами. Исходя из таблицы 3, был выбран частотный интервал между сигналами 8 Гц. Результаты приведены в таблице № 4.

Таблица 4. Определение предельного уровня ОСШ, при котором составляющие тестового сигнала становится невозможно различить

ОСШ, дБ	Ковариационный	Мод. Ковариационный	Юла - Уокера
10	Не различены	Не различены	Не различены
15	Не различены	Не различены	Не различены
20	Различены	Различены	Не различены
25	Различены	Различены	Различены

Эксперимент № 3.

Третий тестовый сигнал содержит в себе сумму четырёх синусоид на фоне окрашенного шума. Он состоял из суммы из четырёх синусоид на фоне окрашенного шума с относительными частотами $f_1 = -0,1$; $f_2 = 0,1$; $f_3 = 0,2$; $f_4 = 0,21$ [1-3]. Частота дискретизации была 1000 Гц. Длительность сигнала – 64 отсчёта. На рисунке 2 [1] представлен график истинного спектра тест последовательности.

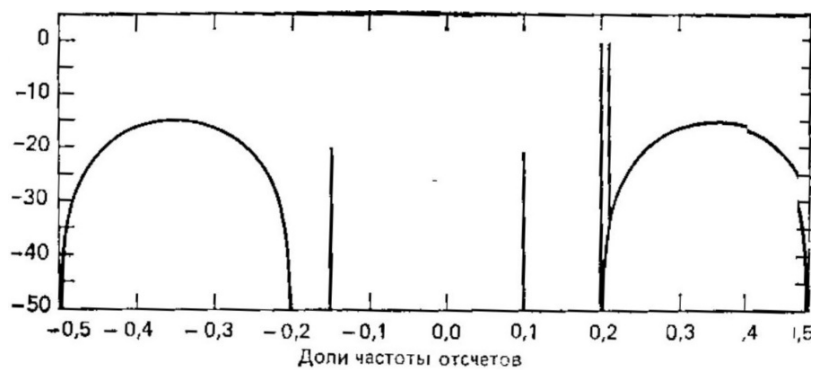


Рис. 2. График СПМ для третьего тестового сигнала

Исследование проводилось для определения способности выделения спектральных составляющих короткого по времени сигнала ковариационным и модифицированным ковариационным методами при их оптимальных параметрах, которые были исследованы ранее в работе, на фоне окрашенного шума.

Спектрограмма сигнала, рассчитанная через БПФ представлена на рисунке 3.

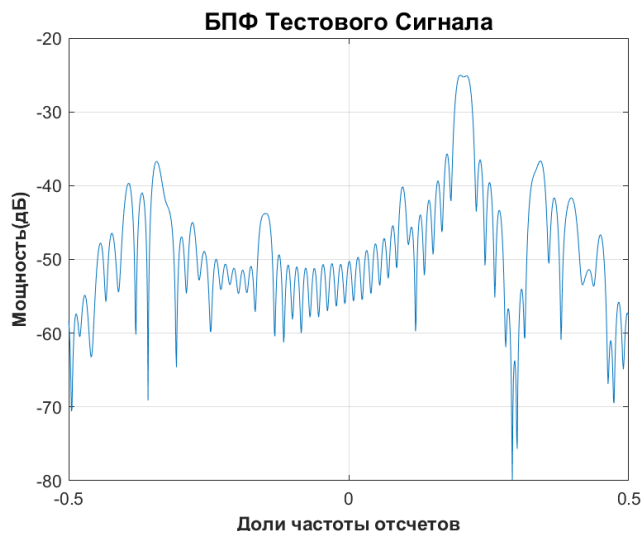


Рис. 3. СПМ, построенная по отсчетам БПФ сигнала

На рисунке 4 показаны результаты расчёта СПМ тестового сигнала ковариационным и модифицированным ковариационным методами.

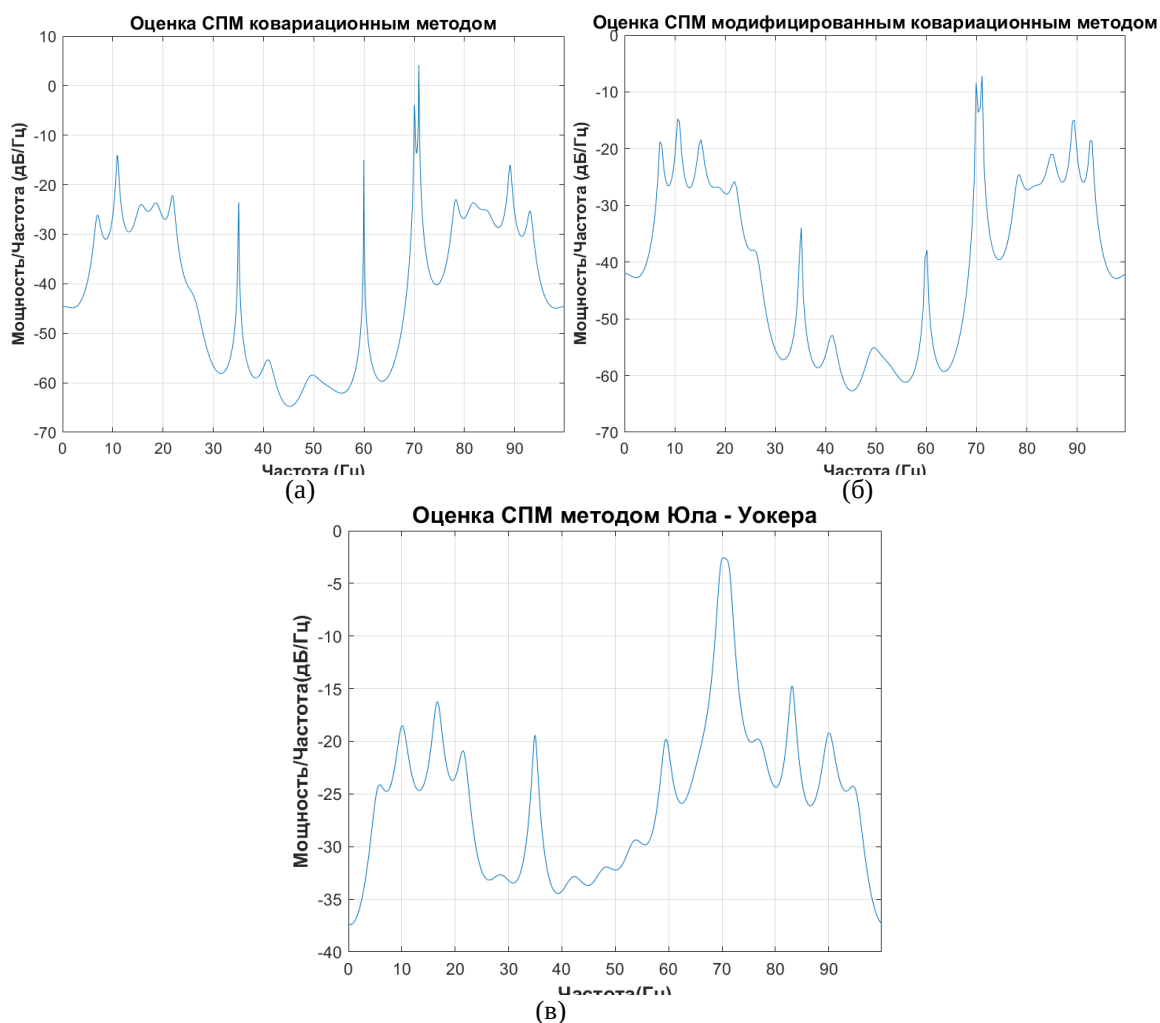


Рис. 4. Графики СПМ просчитанные по методу: а) ковариационный, б) модифицированный ковариационный, в) методу Юла - Уокера

Выводы

В рамках экспериментов был проведен поиск оптимальных параметров для оценки исследуемых методов.

При рассмотрении различимости двух близкорасположенных сигналов можно отметить, что ковариационный метод справился с задачей лучше, его частотное разрешение – 7 Гц, модифицированного ковариационного – 8 Гц, Юла – Уокера – 9 Гц. Стоит отметить, что при уменьшении ОСШ становится сложно различить близкорасположенные по частоте сигналы.

В последнем эксперименте с коротким по времени сигналом ни один из методов не смог в точности отобразить истинный спектр. Из рассмотренных авторегрессионных методов метод Юла – Уокера показал наименьшую точность, т.к. он не смог различить близкорасположенные по частоте синусоиды, а также не смог точно отобразить окрашенный шум. Ковариационный метод лучше отобразил синусоиды, все четыре пика хорошо видно, они удовлетворяют условиям различимости и близки к заданной амплитуде. Модифицированный ковариационный метод лучше смог отобразить окрашенный шум, третья и четвертая синусоиды сливаются, амплитуды синусоид занижены. Стоит отметить, что все методы намного лучше отображают спектр, в отличие от СПМ, построенной по отсчетам БПФ.

Библиографический список

1. Марпл–мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. 584 с.
2. Попов О.Б., Рихтер С.Г. Цифровая обработка сигналов в трактах звукового вещания. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 341 с.
3. Витязев В.В. Применение метода спектрального оценивания MUSIC для анализа коротких последовательностей радиосигнала / В.В. Витязев, В.А. Волченков, Д.В. Кубышкин // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: Материалы 17-ой Международной науч.-техн. конф. / Рязань: РГРТУ, 2012. С. 47 – 49.

УДК 621.372.542 ; ГРНТИ 47.51.29

ФИЛЬТРОВАННАЯ ОРТОГОНАЛЬНАЯ ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ (F-OFDM) В СИСТЕМАХ ШИРОКОПОЛОСНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

А.В. Гринина, П.Б. Никишкин

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, SchuricGrinina@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматривается технология передачи данных с помощью фильтрованных OFDM каналов. Приводятся основные принципы построения технологии, ее достоинства и недостатки. Рассмотрены реализации передачи и приема и структурные схемы передатчика и приемника.

Ключевые слова: мультиплексирование с ортогональным частотным разделением (OFDM), F-OFDM, фильтр, защитный интервал, интерференция, асинхронная передача

FILTERED ORTHOGONAL MODULATION FREQUENCY (F-OFDM) IN BROADBAND DATA TRANSMISSION SYSTEMS

A.V. Grinina, P.B. Nikishkin

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, SchuricGrinina@yandex.ru

Annotation. The paper discusses the technology of data transmission using filtered OFDM channels. The basic principles of constructing the technology, its advantages and disadvantages are given. Implementations of transmission and reception and structural diagrams of the transmitter and receiver are considered.

Keywords: orthogonal frequency division multiplexing (OFDM), F-OFDM, filter, guard interval, interference, asynchronous transmission

Для эффективного использования радиоресурса была создана технология мультиплексирования с ортогональным частотным разделением (OFDM) [1]. Данная технология осуществляет параллельную передачу сигналов по каналу, разделенному на перекрывающиеся подканалы. Данная технология обладает хорошей устойчивостью к различным видам интерференции, высокой помехоустойчивостью. OFDM достаточно просто реализовать с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ).

К недостаткам технологии можно отнести: чувствительность системы к Доплеровскому сдвигу; сложность высокой синхронизации по частоте и по времени; снижение эффективности передачи данных по частоте из-за использования пик-фактора и защитных интервалов.

Для частичного устранения этих недостатков были предложены способы фильтрации OFDM- сигналов. Одним из таких подходов является технология Filtered OFDM (F-OFDM).

Система на основе F-OFDM включает в себя фильтрацию независимых OFDM-символов после разделения сигнала на субполосы. Это позволяет упростить синхронизацию системы и с помощью фильтра подавляется внеполосное излучение, что позволяет значительно минимизировать защитный интервал в частотной области [3].

К преимуществам технологии так же можно отнести улучшение эффективности используемого спектра, гибкое частотно-временное распределение, включение различных форм сигнала, совместимость с технологией OFDM и сохранение всех ее преимуществ. Недостатки заключаются в усложнении структуры передатчика и приемника.

Реализация передачи

Технология F-OFDM основана на OFDM. Данная технология сохраняет основные этапы преобразования сигнала (см. рисунок 1).

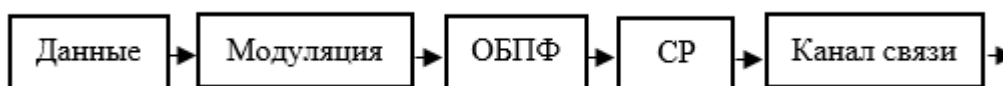


Рис. 1. Структурная схема OFDM передатчика

Технология F-OFDM делит всю полосу пропускания на независимые поддиапазоны (субполосы). Все параметры такого поддиапазона можно установить в соответствии с характеристиками канала. По каждой субполосе передаются OFDM-символы, которые обрабатываются с помощью фильтра (рисунок 2).

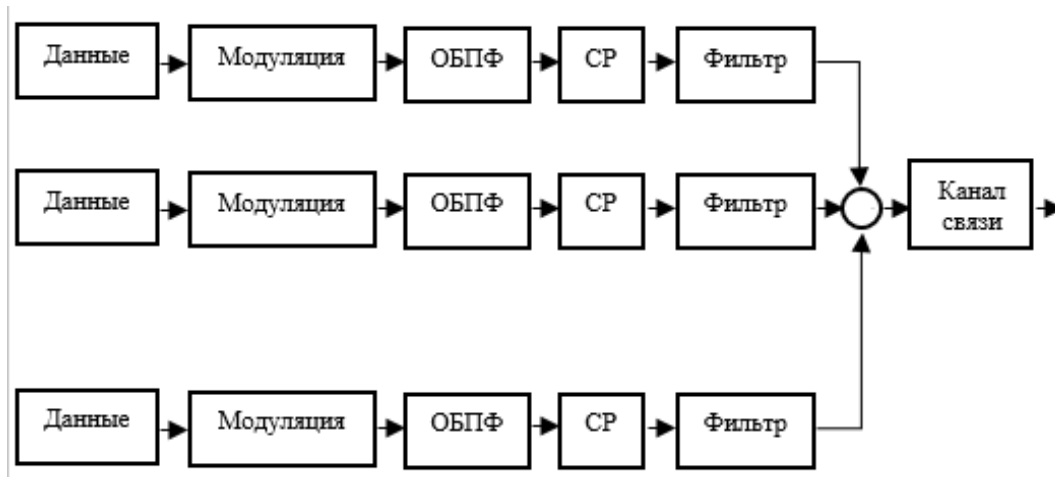


Рис. 2. Структурная схема F-OFDM передатчика

Входной поток данных разделяется на подканалы, количество которых определяется требованиями и возможностями системы. Блок данных отображает каждый поддиапазон отдельно, а защитные поднесущие в данном случае должны быть зарезервированы между разными поддиапазонами.

На следующем этапе выполняется модуляция для каждого поддиапазона отдельно. Вид модуляции выбирается на основании параметров системы. Так же есть возможность адаптивного выбора параметров и подстройки для каждой субполосы своего вида модуляции.

Блок ОБПФ выполняет обратное быстрое преобразование Фурье. Формирует необходимое количество параллельных поднесущих и переносит сигнал из частотной области во временную.

Для защиты от межсимвольной интерференции к основному символу необходимо добавить циклический префикс (CP).

Использование блока Фильтр в каждом субканале позволяет уйти от межканальных помех. В ходе фильтрации может отсутствовать ортогональность между субканалами, что приводит к возможности использования асинхронной передачи. Кроме того, уменьшается защитная полоса, что приводит к более эффективному использованию спектра. Одной из важных и сложных проблем является подбор параметров фильтра для устранения межполосных помех.

Реализация приема

Как показано на рисунке 3 на приемной стороне удаляются отсчеты, полученные в результате переходных процессов фильтра. Далее происходит повторная фильтрация для подавления внеполосного излучения и уменьшения влияния шумов в канале связи. После чего повторно удаляются дополнительные отсчеты. Далее происходят обратные преобразования принятого сигнала по схеме классического OFDM приемника.

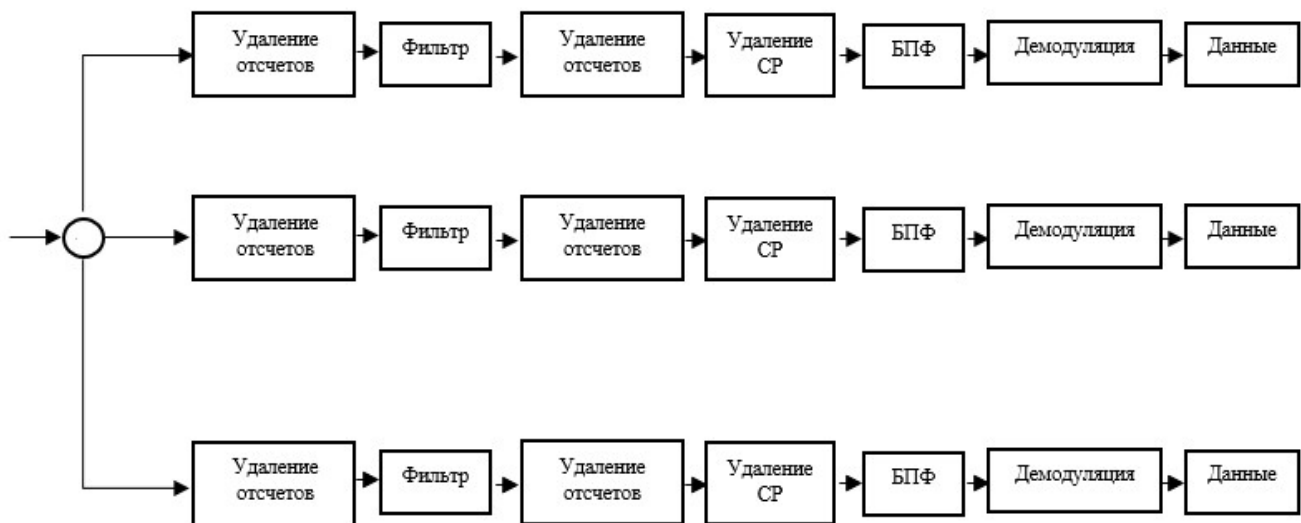


Рис. 3. Структурная схема F-OFDM приемника

Образование F-OFDM-сигнала

Как было сказано выше технология F-OFDM базируется на классической OFDM. На рисунке 4 показан OFDM-сигнал в классическом виде.

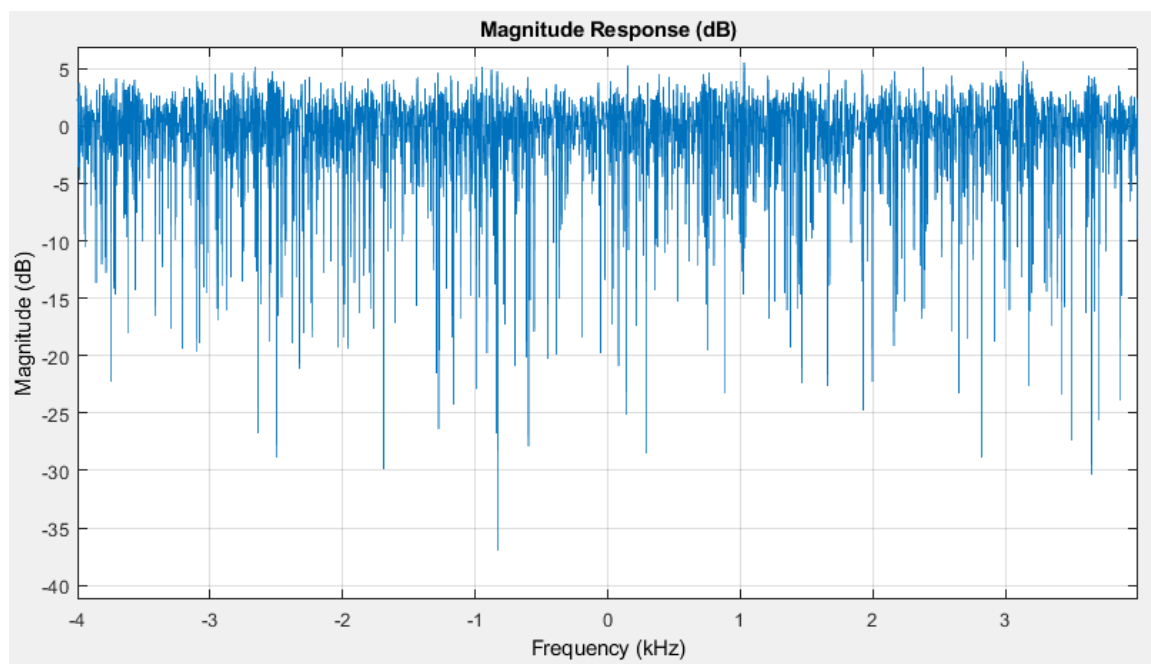


Рис. 4. OFDM-сигнал

Полученные OFDM-символы обрабатываются фильтром, который будет определять дальнейшие параметры сигнала. Оконные фильтры позволяют хорошо бороться с межсимвольной интерференцией. На рисунке 5 в качестве примера приведено окно Хэмминга.

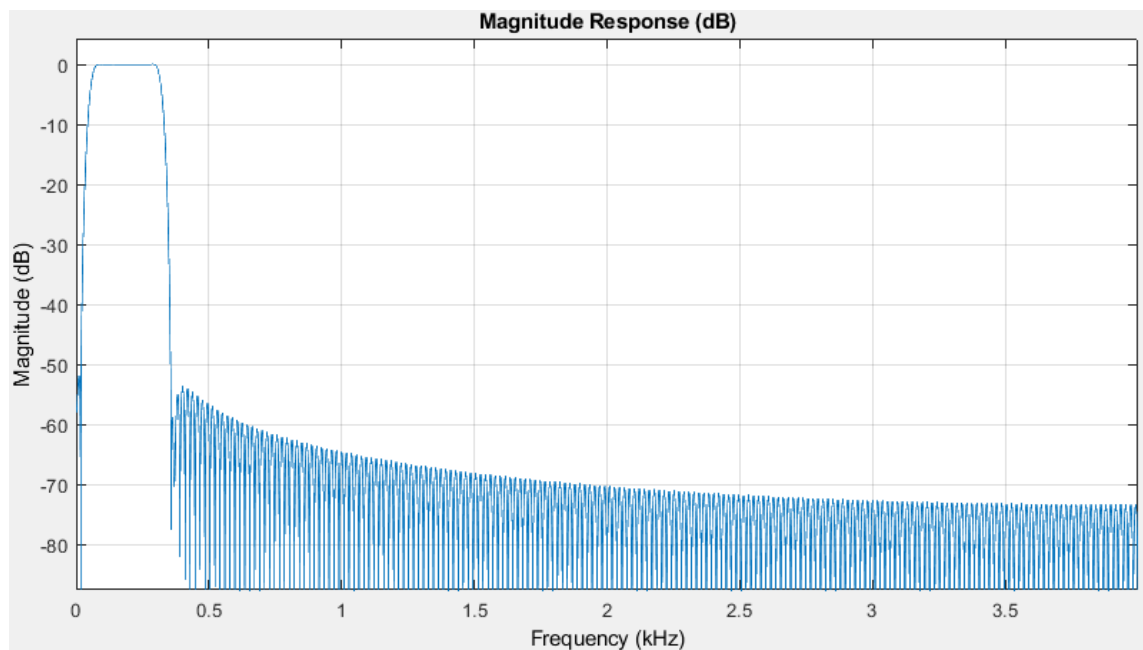


Рис. 5. АЧХ фильтра

После фильтрации на амплитудно-частотной характеристике сигнала можно увидеть резкую переходную, что позволяет снизить защитные полосы (рисунок 6).

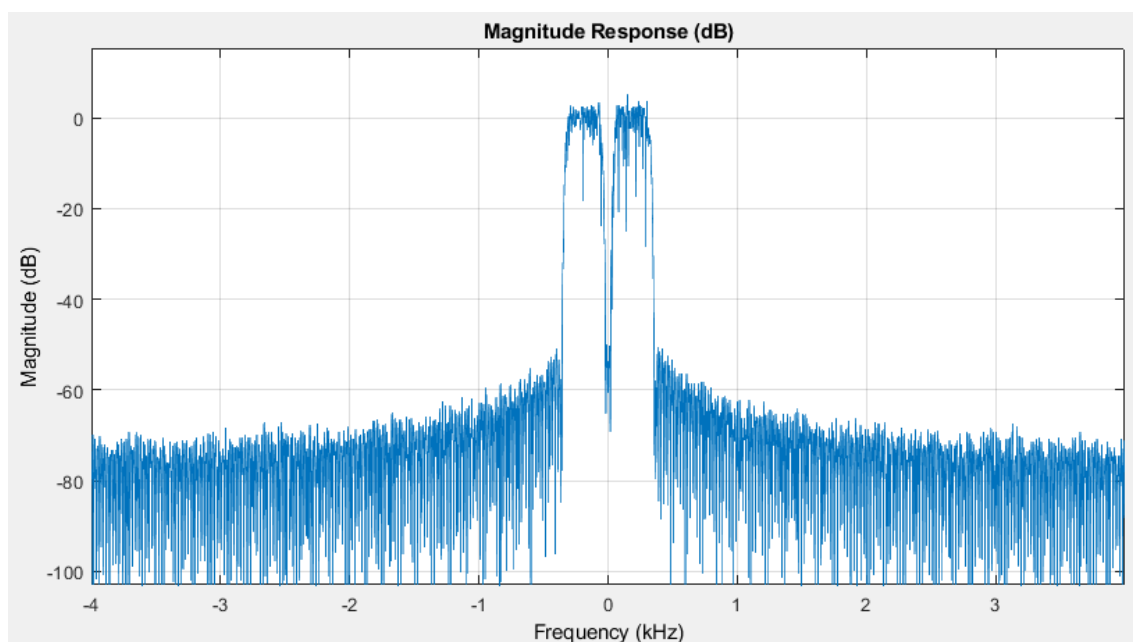


Рис. 6. F-OFDM-сигнал

Библиографический список

1. М. Г. Бакулин, В. Б. Крейделин, А. М. Шлома, А. П. Шумов, Технология OFDM. – Издательство «Горячая линия-Телеком», 2018.
2. П.Б. Никишкин «Методы и алгоритмы широкополосной передачи данных с использованием многоскоростной обработки сигналов»
3. <https://www.mathworks.com/help/comm/ug/f-ofdm-vs-ofdm-modulation.html>

УДК 621.391; ГРНТИ 47.47.29

РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНОЙ УЗКОПОЛОСНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ

А.А. Овинников, Р.В. Игнатьев

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, honor324@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматривается создание системы имитации работы сети IoT, в которой существует только один передатчик, создающий множество частотно-модулированных сигналов по заданной структуре, позволяющий “нагрузить” радиоканал большим числом пакетов и проверять предельную нагрузку, которую выдерживают аппаратные приемники.

Ключевые слова: Интернет вещей, моделирование, шумоподобные сигналы.

DEVELOPMENT OF A MULTICHANNEL NARROW BAND SYSTEM FOR TRANSMISSION OF NOISE-LIKE SIGNALS

A.A. Ovinnikov, R.V. Ignatiev

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin.
Russian Federation, Ryazan, Honor324@gmail.com*

Annotation. In the work of creating a system for simulating the operation of an IoT network, in which there is only one transmitter, creating many signals at a given stage, allowing you to “load” the radio channel with a large number of packets and the control load that you support hardware receivers.

Keywords: Internet of things, modeling, noise-like signals.

Введение

Проектирование системы передачи узкополосного сигнала осуществляется на основе модельно-ориентированного подхода, который позволяет разрабатывать и отлаживать модели передачи данных в графическом среде MATLAB Simulink, без написания программного кода.

Интернет вещей (IoT) – это концепция, которая предполагает соединение различных устройств и систем в единую сеть, обеспечивающую обмен данными и контроль за устройствами без прямого участия человека. В настоящее время IoT имеет огромный потенциал для создания новых сервисов и улучшения существующих процессов. Системы IoT могут использоваться для мониторинга и управления промышленными процессами, управления транспортными потоками, сбора информации о состоянии окружающей среды и многого другого.

Частотная модуляция

Модуляция – это процесс изменения одного или нескольких параметров сигнала (называемого “несущим сигналом”) в соответствии с передаваемой информацией. Модуляция используется для передачи сигнала на большие расстояния с помощью электромагнитных волн, таких как радиоволны, световые волны и другие. В результате модуляции несущий сигнал приобретает изменения, которые соответствуют информации, передаваемой в модулирующем сигнале, и может быть восстановлен на приемной стороне для извлечения переданной информации. Существует множество различных типов модуляции, таких как амплитудная модуляция (AM), частотная модуляция (FM), фазовая модуляция (PM).

Частотная модуляция бывает двух видов:

- Некогерентная модуляция FSK или ЧМ с разрывом фазы. Относится к классу нелинейной модуляции без памяти.
- Когерентная частотная модуляция CPFSK или ЧМ с непрерывной фазой. Относится к классу нелинейной модуляции с памятью [1-2].

те. «Bernoulli Binary Generator» генерирует случайные двоичные числа с помощью распределения Бернулли. Выходы этих трех блоков подключены к мультиплексору, который объединяет бинарную последовательность в пакет передачи данных, описанный выше. Параметры блоков подобраны таким образом, чтобы обеспечить скорость передачи 100 бит/с.

Далее пакет данных попадает на связку из трех блоков «Frame Conversion» и одного блока «Unbuffer». Они осуществляют преобразование векторного сигнала в последовательность дискретных отсчетов.

Затем последовательность дискретных отсчетов поступает на двоичный частотный модулятор, где происходит модуляция сигнала в области нулевой частоты (без переноса в высокочастотную область). Параметры модулятора подобраны таким образом, чтобы обеспечить заданную полосу 150 Гц.

На выходе модулятора были установлены блоки «Frame Conversion» и «Unbuffer» для преобразования векторного сигнала в последовательность дискретных отсчетов. Далее происходит умножение модулированного сигнала на синусоидальные колебания, полученные при помощи разработанного генератора, блоки которого объединены в подсистему, а также суммирование для переноса на частоты от 2 до 28 кГц. Структура генератора представлена на рисунке 3.

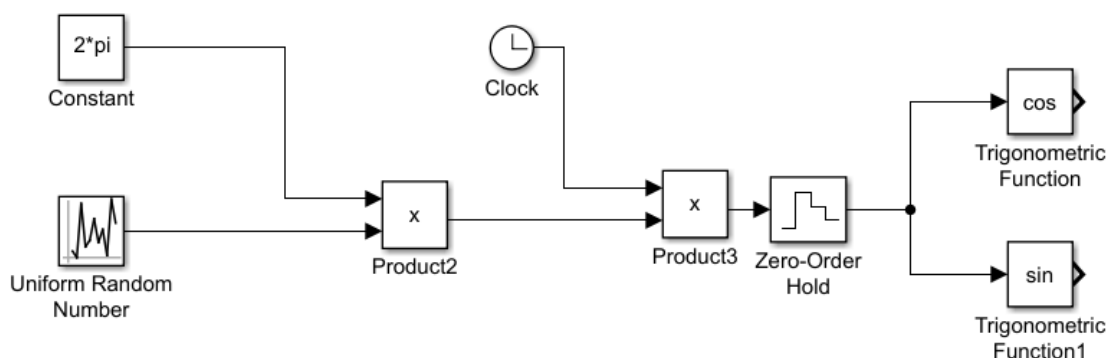


Рис. 3. Схема генерации синусоидальных сигналов

Здесь блок «Uniform Random Number» каждую секунду генерирует сигнал со случайным значением частоты в пределах полосы от 2 до 28 кГц. Далее происходит умножение на константу $2 * \pi$ для преобразования частоты в угловую. Затем сигнал умножается на выход блока «Clock», который выводит текущее время симуляции в соответствии с максимальной частотой дискретизации в модели, которую задает блок «Zero-Order-Hold». Потом блоки тригонометрических функций формируют синусоидальное колебание с заданной фазой.

Также в основную модель был добавлен блок передатчика ADALM-PLUTO, для переноса на несущую частоту 433,9 МГц и передачи сигнала в эфир. После сумматора установлен блок «Complex to Real-Imag» для подачи на спектральный анализатор только действительной части сигнала. Спектр в случайный момент времени представлен на рисунке 4.

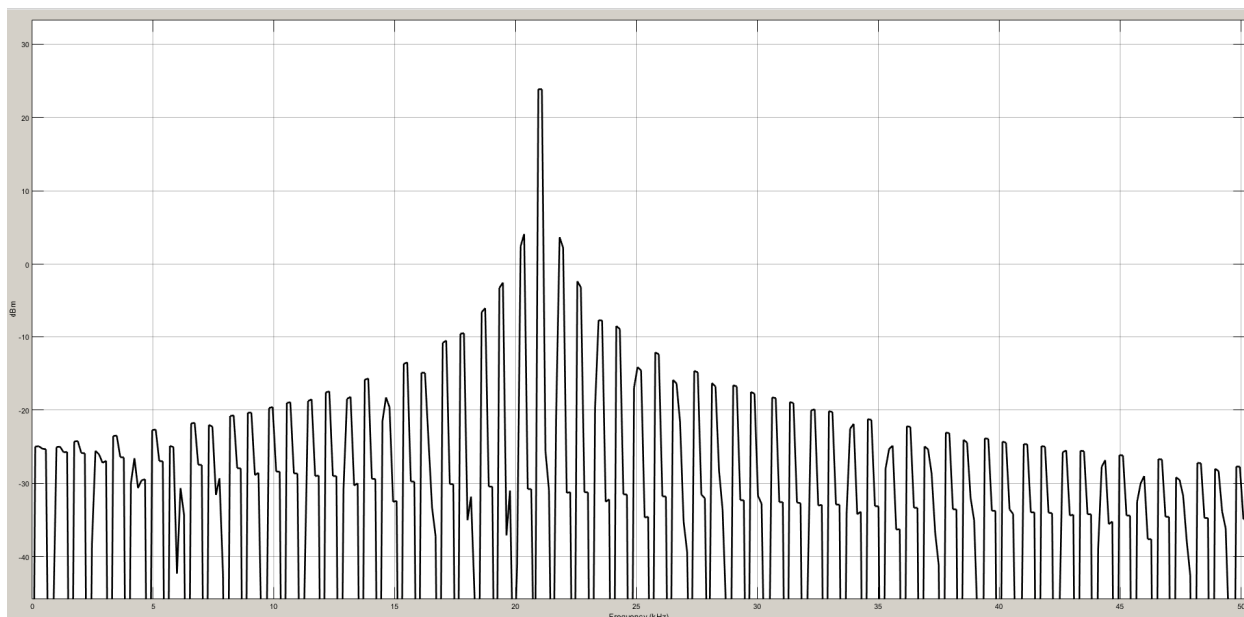


Рис. 4. Спектр сигнала на 10-ой секунде моделирования

Разработка подсистемы группирования узкополосных сигналов.

Для того, чтобы имитировать реальную работу канала связи необходимо организовать передачу данных в каждом канале в случайные моменты времени. Для этого нужно объединить блоки модели передачи узкополосного сигнала в управляемую подсистему, которая будет включаться и выключаться в зависимости от поступающего сигнала.

Управляющий сигнал был реализован двумя блоками и также объединен в подсистему (рисунок 5).



Рис. 5. Модель генерации управляющего сигнала

Рандомайзер генерирует случайные значения в пределах от 0 до 1. Далее блок «Compare To Constant» сравнивает поступающие числа с константой 0.5. Если значение константы выше 0.5, то блок выдает «1» и подсистема включается, если ниже, то выдает «0» и подсистема выключается.

Для проведения дальнейшей экспериментальной оценки возможности разработанной модели по блокированию работы приемника узкополосного интернета вещей добавим еще 11 подобных систем, а также 4 канала с синусоидальными помеховыми сигналами. Итоговая модель представлена на рисунке 6.

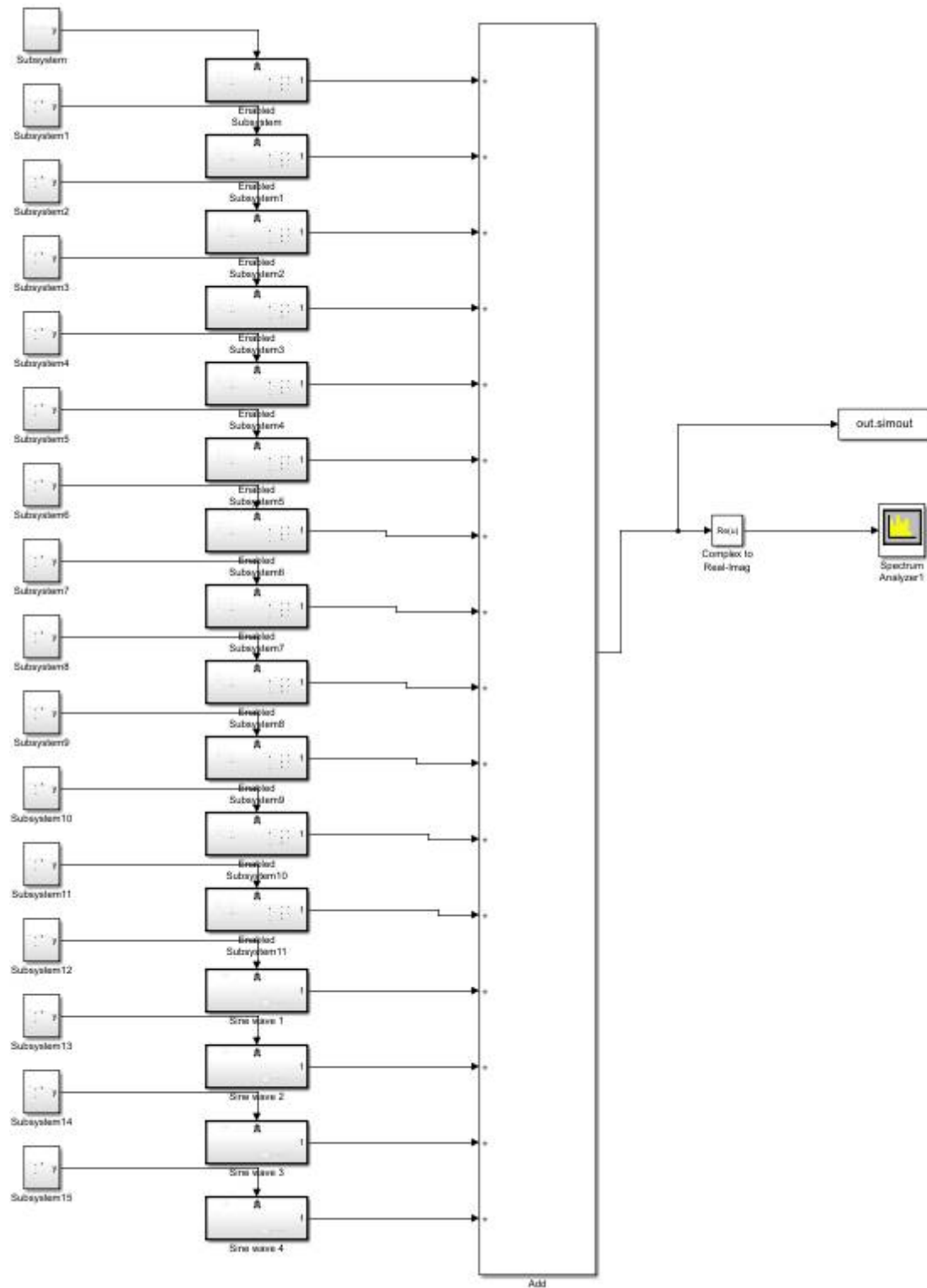


Рис. 6. Итоговая модель

При запуске модели каждую секунду происходит случайное включение и выключение каналов, работающих на случайных частотах в пределах полосы от 2 до 28 кГц, а также каналов с синусоидальными сигналами.

Спектр группового сигнала в случайный момент времени представлен на рисунке 7.

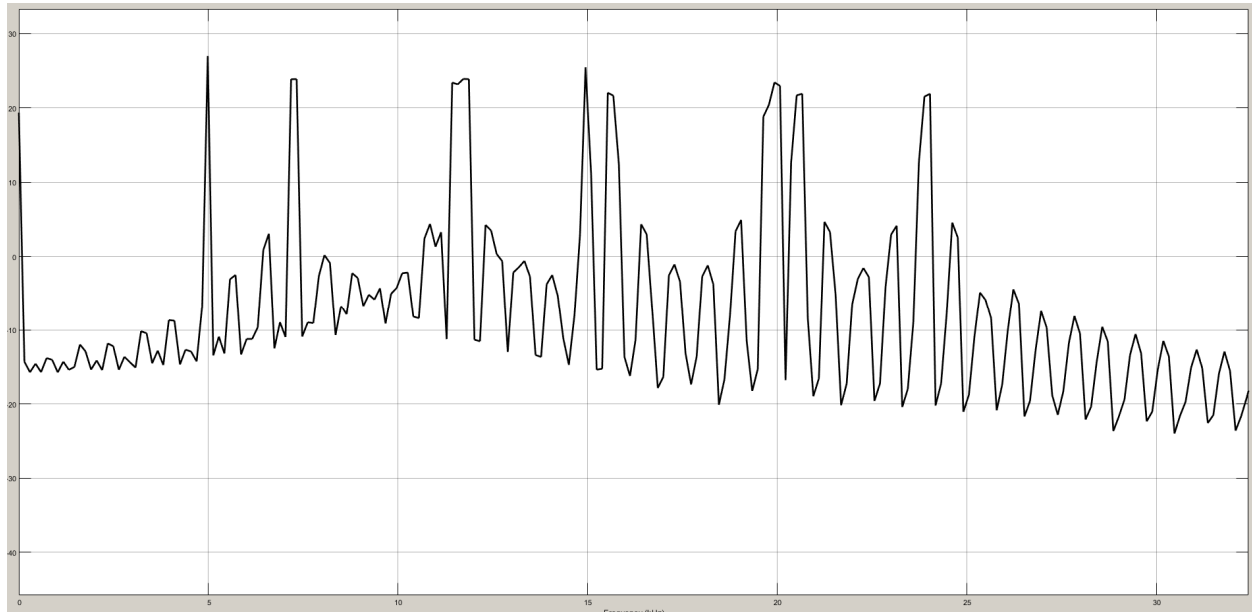


Рис. 7. Спектрограмма группового сигнала в случайный момент времени

На рисунке видны составляющие узкополосных сигналов и характерные составляющие гармонических сигналов на частотах 5 и 15 кГц. Также видно наложение сигнала одного из узкополосных каналов на синусоидальный сигнал на частоте 20 кГц.

Модификация модели с целью работы в реальном масштабе времени

Как оказалось, процессы моделирования и передачи сигнала в эфир не могут выполняться одновременно с необходимой скоростью. В связи с этим было принято решение о записи сигнала в файл с последующей передачей через SDR при помощи MATLAB. Для этого был написан скрипт, представленный на рисунке 8.

```
%% Hardware Parameters
Mode='transmitRepeat'; % Select Mode
tx_object = sdrx('Pluto', ...
    'CenterFrequency', 433e6, ...
    'BasebandSampleRate', 20e6, ... % Bandwidth
    'Gain', -10, ...
    'ChannelMapping', 1);
% 'EnableBurstMode', 1, ...

%% Button Setting
figure('Name','TX','NumberTitle','off');
TransmittingDisplay = uicontrol('Style','text','Position',[55,150,155,35],'String','Transmitting','FontSize',20,'HorizontalAlignment','left','BackgroundColor',[0.937 0.867 0.867]);
button = uicontrol('Style','push','Position',[80 50 100 60]); % Add "Stop !" text
set(button,'String','Stop !','Position',[80 50 100 60]); % Add "Stop !" text
set(gcf,'Units','centimeters','position',[3 3 7 6]); % Set the position of GUI

%% TX Load
load('TX_signal'); % [1x972]
% transmitRepeat Mode
TX_Hardware = TX_signal; % Transmit Data must be >= 4096 % [4860x1]
state = 1;

%% Main
switch Mode
case 'step'
    while(state == 1)
        step(tx_object,TX_Hardware);
        % ---- Button Behavior ----%
        set(button,'Callback','setstate_TX'); % Set the reaction of pushing button
        drawnow;
    end
    release(tx_object);

case 'transmitRepeat'
    transmitRepeat(tx_object,TX_Hardware);
    % ---- Button Behavior ----%
    set(button,'Callback','setstate_TX'); % Set the reaction of pushing button
end
```

Рис. 8. Скрипт для передачи записанного сигнала в эфир

Код скрипта условно поделен на 4 части:

– “Hardware Parameters” содержит параметры SDR Adalm-Pluto необходимые для передачи сигнала.

- “Button Setting” реализует кнопку завершения передачи.
- “TX Load” отвечает за загрузку файла с заранее записанным сигналом.
- “Main” осуществляет передачу в эфир.

Библиографический список

1. Скляр, Бернард. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2003 – 1104 с.
2. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь. Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия–Телеком, 2012 – 592 с.

УДК 612.171.1; ГРНТИ 76.13.15

ОБРАБОТКА СИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ СЕРДЦЕБИЕНИЯ

Ю.И. Долматов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, dolmatovu123@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматривается обработка сигнала для выделения частоты сердцебиения. Разработан алгоритм основанный на вейвлет-преобразовании. Приводится описание и причины использования вейвлет-преобразования. Рассматривается реализация данного алгоритма в среде Matlab. Представлены графики исходного сигнала и сигналов после вейвлет-преобразования. Представлены результаты нахождения частоты сердечных сокращений.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, частота сердечных сокращений(ЧСС), фаза, быстрое преобразование Фурье(БПФ).

SIGNAL PROCESSING USING A WAVELET TRANSFORM TO ISOLATE THE HEART RATE

Yu.I. Dolmatov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, dolmatovu123@gmail.com*

The summary. The paper considers signal processing to isolate the heart rate. An algorithm based on the wavelet transform has been developed. The description and reasons for using the wavelet transform are given. The implementation of this algorithm in the Matlab environment is considered. Graphs of the initial signal and the signals after the wavelet transform are presented. The results of finding the heart rate are presented.

Keywords: wavelet transform, heart rate(HR), phase, fast Fourier transform(FFT).

Одной из проблем обработки отраженного от грудной клетки сигнала является выделение частоты сердечных сокращений на фоне мешающей составляющей дыхания. Это связано с тем что дыхание по сравнению с сердцебиением имеет меньшую частоту и значительно наибольшую амплитуду. Поэтому составляющую сердцебиения практически не видно при совместном рассмотрении с дыханием. Для решения данной проблемы необходим алгоритм разделения этих составляющих. Мной был выбран вариант с применением вейвлет-преобразования. Собственно вейвлет-преобразования - это метод анализа сигналов и изображений, который использует вейвлеты для представления данных на различных масштабах [1]. Он позволяет разбить сигнал на его составляющие части, что помогает выделить как общие, так и детализированные особенности сигнала.

Ключевую роль в анализе сигналов в рамках вейвлет-преобразования играют вейвлет-функция ($\psi(t)$) и масштабирующая функция ($\phi(t)$) [2].

Вейвлет-функция представляет собой краткое колебание, которое может быть сжато, сдвинуто и масштабировано для анализа сигналов на различных уровнях детализации. Основная идея вейвлет-функции заключается в том, что она помогает выделять и анализировать местные особенности сигнала во времени. При разложении сигнала, вейвлет-функция используется для извлечения деталей сигнала на более высоких частотах.

Масштабирующая функция служит для аппроксимации сигнала на более низких частотах, представляя его общие характеристики. Используется для гладкой аппроксимации сигнала на более низких уровнях разложения. Масштабирующая функция помогает улавливать общие закономерности в сигнале и представлять его основные компоненты.

Также важно что вейвлет-функция и масштабирующая функция являются частью базиса для пространства сигналов. Выбор конкретных вейвлетов и масштабирующих функций может влиять на эффективность и способность вейвлет-разложения выделять конкретные характеристики сигнала.

С математической точки вейвлет-разложение можно представить следующим образом:

Пусть у нас есть сигнал $x(t)$, который мы хотим разложить с использованием вейвлет-функции $\psi(t)$ и масштабирующей функции $\phi(t)$. Тогда вейвлет-разложение может быть записано следующим образом:

$$x(t) = \sum_k c_0(k) * \phi_{(0,k)}(t) + \sum_{(j=1)}^J \sum_k d_j(k) * \psi_{(j,k)}(t) \quad (1)$$

где $c_0(k)$ – коэффициенты аппроксимации на нулевом уровне разложения;

$d_j(k)$ – коэффициенты детализации на уровне разложения j ;

$\phi_{(0,k)}(t)$ – масштабирующая функция на нулевом уровне разложения;

$\psi_{(j,k)}(t)$ – вейвлет-функция на уровне разложения j .

В рамках решаемой задачи был разработан алгоритм, который выглядит следующим образом:

1. Берется сигнал представляющий распакованную фазу.

$$signal = s(t) \quad (2)$$

2. Вейвлет-преобразование.

Пусть вейвлет задается как $\psi(t)$, например, Добеши (Daubechies) вейвлет с порядком 15: $\psi(t; db15)$.

Тогда вейвлет-преобразование выполняется следующим образом:

$$C_k^j = (s(t), \psi_{(j,k)}(t)) = \int s(t) * \psi_{(j,k)}(t) dt \quad (3)$$

где C_k^j – коэффициенты вейвлет-преобразования на уровне j и позиции k .

3. Аппроксимационные и детальные коэффициенты.

Аппроксимационные коэффициенты на уровне j :

$$A_j = \sum_k C_k^j * \phi_{(j,k)}(t) \quad (4)$$

Детальные коэффициенты на уровне j :

$$D_j = \sum_k C_k^j * \psi_{(j,k)}(t) \quad (5)$$

Аппроксимационные коэффициенты отражают общие (низкочастотные) характеристики сигнала на данном уровне декомпозиции. Они представляют аппроксимированное или сглаженное представление исходного сигнала на данном уровне разложения. Важно отметить, что более высокие уровни аппроксимации обычно содержат более низкочастотные компоненты сигнала.

Детальные коэффициенты отражают детали (высокочастотные компоненты) сигнала на данном уровне декомпозиции. Они представляют различия между исходным сигналом и его аппроксимированным представлением на данном уровне разложения. Более высокие уровни детализации могут содержать высокочастотные компоненты, такие как края и текстуры в сигнале.

4. Далее производится построение сигналов на основе аппроксимационных и детальных коэффициентов.

Аппроксимационный сигнал *approx_signal* на уровне j можно восстановить следующим образом:

$$approx_signal[n] = \sum_k A_j(k) * \phi_{(j,n)}(k) \quad (6)$$

где A_j – аппроксимационные коэффициенты на уровне j ;

$\phi_{(j,n)}$ – аппроксимирующий вейвлет на уровне j .

Аппроксимирующий вейвлет $\phi_{(j,n)}$ обычно вычисляется как взвешенная сумма преобразованных вейвлет-функций на уровне j .

5. Детальный сигнал:

Детальный сигнал *detail_signal* на уровне j может быть восстановлен по формуле:

$$detail_signal[n] = \sum_k D_j(k) * \psi_{(j,n)}(k) \quad (7)$$

где D_j – детальные коэффициенты на уровне j ;

$\psi_{(j,n)}$ – детализирующий вейвлет на уровне j .

Детализирующий вейвлет $\psi_{(j,n)}$ строится аналогично аппроксимирующему вейвлету, но для детальных коэффициентов.

Далее рассматривается реализация этого алгоритма в среде Matlab.

На рисунке 1 представлен сигнал фазы после предварительной обработки. На нем сложно заметить высокочастотную составляющую сердцебиения из-за сильного воздействия дыхания.

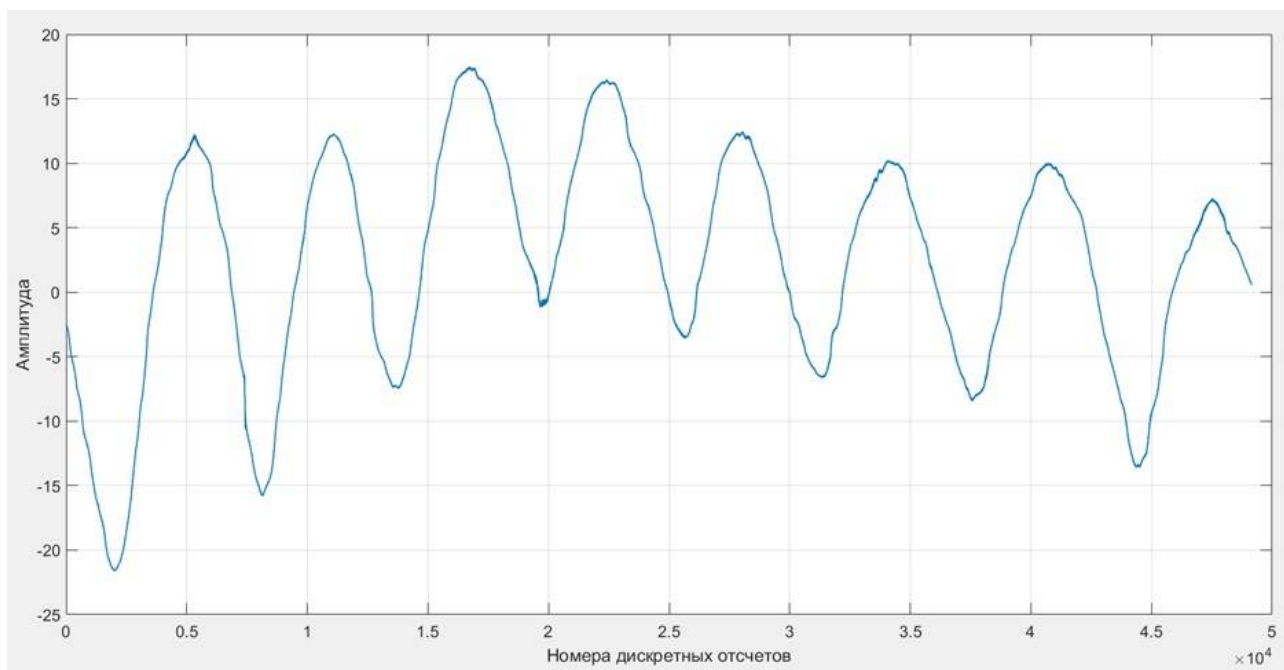


Рис. 1. Исходный сигнал

Далее на рисунках 2 и 3 представлены отдельно составляющие дыхания и сердцебиения после применения вейвлет-разложения. Здесь уже хорошо видны все изменения фазы сердцебиения.

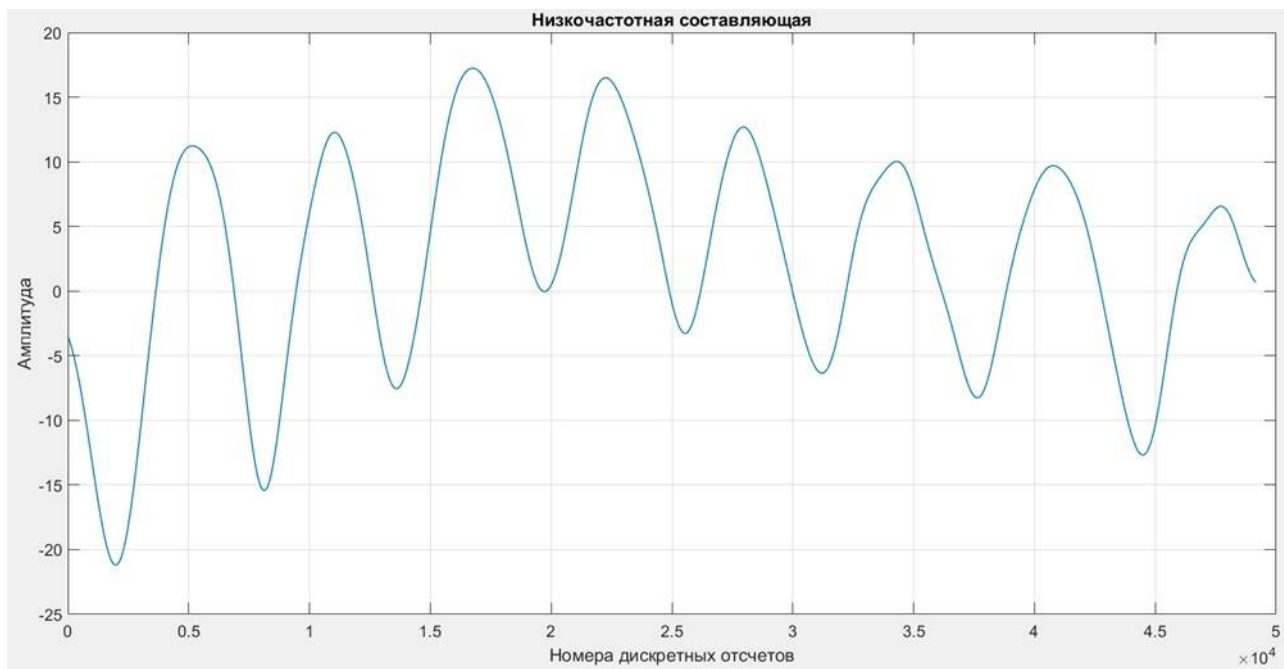


Рис. 2. Изменение фазы дыхания

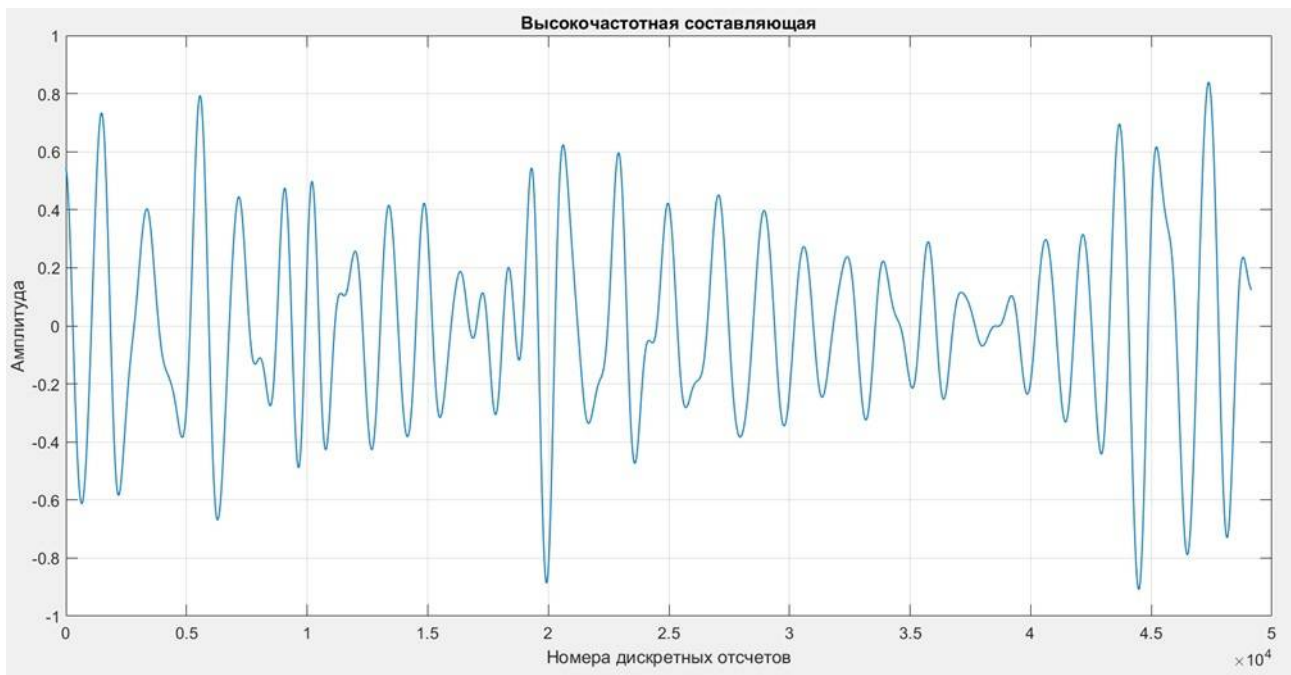


Рис. 3. Изменение фазы сердцебиения

Для дальнейшего анализа берется график изменения сердцебиения. К нему применяется быстрое преобразование Фурье (БПФ), результат которого представлен на рисунке 4. Это необходимо для нахождения частоты сердцебиения.

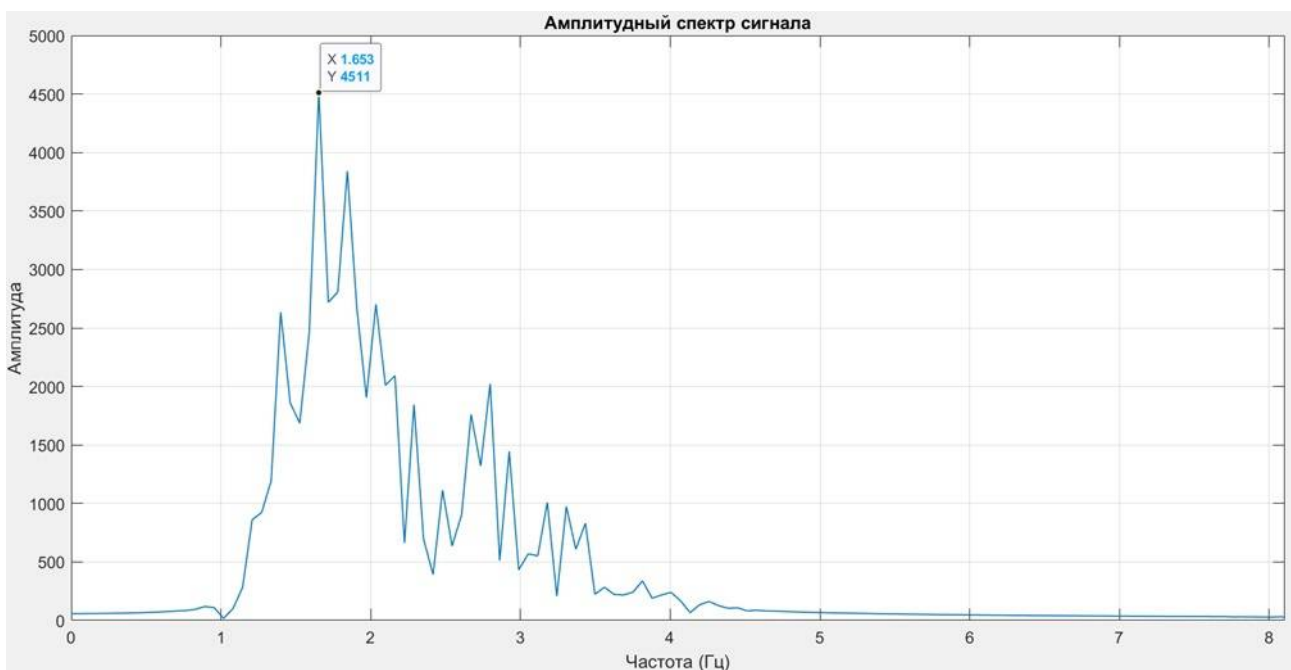


Рис. 4. Спектр сигнала после БПФ

Из рисунка 4 следует что $f = 1.653$ Гц. Это значение можно перевести в более удобный для восприятия вид сделав пересчет в удары в минуту (уд/мин).

В этом случае получается: $1.653 \text{ Гц} \cdot 60 = 99.18 \text{ (уд/мин)}$.

Вывод: способ вейвлет-разложения показал свою эффективность в разделении сигнала на несколько частотных составляющих. Он позволил выделить изменение фазы сердечных сокращений необходимое для определения ЧСС. Полученное после вычислений значение ЧСС полностью соответствует реальному и это позволяет сказать, что данный алгоритм является рабочим и может использоваться для определения частоты сердечных сокращений.

Библиографический список

1. Введение в вейвлет-анализ: Учеб.-практическое пособие. М.Н.Юдин, Ю.А.Фарков, Д.М.Филатов. Моск. геологоразв. акад. М., 2001. 72 с. URL: <https://vm-rggru.narod.ru/Teach/MN/wavelet.pdf>
2. А.В. Давыдов. Вейвлетные преобразования сигналов. 2005. URL: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-veyvletnyepreobrazovaniya.pdf>

УДК 621.371; ГРНТИ 47.49.27

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВРАЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ВАЛА НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА

Д.В. Валуйский, С.В. Витязев

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
valuyskiy.d.v@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается задача удаленного мониторинга состояния промышленного вращающегося вала с помощью радиолокационной системы миллиметрового диапазона. В рамках проведенных исследований разработан испытательный стенд на базе токарного станка и записан набор тестовых сигналов. Предложен подход к анализу записанных сигналов с использованием цифровой обработки на основе вейвлета Морле и нейронной сети глубокого обучения.

Ключевые слова: radar, monitoring of industrial equipment, FMCW radar, digital signal processing, wavelet transform, Morlet wavelet.

QUALITY OF THE INDUSTRIAL ROLLER ROTATION EVALUATION BASED ON THE WAVELET TRANSFORM OF THE RADAR SIGNAL

D.V. Valuyskiy, S.V. Vityazev

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin,
valuyskiy.d.v@mail.ru

Abstract. The article considers the problem of remote monitoring of the state of an industrial rotating shaft using a millimeter-wave radar system. As part of the research, a test bench based on a lathe was developed and a set of test signals was recorded. An approach to the analysis of recorded signals using digital processing based on the Morlet wavelet and a deep learning neural network is proposed.

Keywords: simulation, signal fading, interference, signal reflection, multipath, millimeter waves.

Введение

В современном индустриальном мире вращающиеся валы являются важными компонентами промышленных машин и оборудования. Качество вращения влияет на качество продукции и эксплуатационные расходы. Износ вращающихся деталей станков и промышленных аппаратов может приводить к возникновению неравномерности вращения, что может вести приводит к повреждениям оборудования, дополнительным расходам и угрозам безопасности обслуживающего персонала. Поэтому крайне важно постоянно и точно контролировать состояние вращающихся валов в промышленных машинах. Мониторинг состояния оборудования является важнейшим компонентом программ профилактического техническо-

го обслуживания, однако как правило он проводится периодически и на остановленном оборудовании. Непрерывный контроль качества вращения валов позволит максимально оперативно выявлять неполадки, заблаговременно планировать техническое обслуживание, а также минимизировать риски критических поломок за счет выявления проблем с оборудованием на ранних стадиях.

Для оценки качества вращения промышленных валов могут использоваться различные методы, такие как радиолокационные датчики, датчики вибрации или инструменты оптического анализа, такие как камеры и лидары. В промышленных условиях радары предоставляют более широкие возможности мониторинга за счет их способности функционировать в условиях низкой освещенности, запыленности или загрязнения. Кроме того, в отличие от вибрационных датчиков, радары не требуют непосредственного контакта с оборудованием [1-2].

Теоретические предпосылки

Классический алгоритм оценки качества вращения вала предполагает использование быстрого преобразования Фурье для получения спектра вибрационного или оптического сигнала. Изменения на частотах спектра, кратно отстоящих от главной компоненты, позволят выявить отклонения в вращении вала. Оценка этих изменений может быть осуществлена различными способами, например, с помощью алгоритмов скользящего среднего, автокорреляции или линейного дискриминантного анализа [3-5, 18].

Алгоритм быстрого преобразования Фурье может быть применен и к радиолокационному сигналу. В настоящее время наибольший исследовательский интерес представляют как раз методы, направленные на анализ радиолокационных сигналов, отраженных от вращающихся валов. В частности, широко исследуются возможности применения радиолокационных станций миллиметрового диапазона на базе FMCW сигнала, позволяющих обеспечить достаточно высокое разрешение по дальности и скорости [6-8].

В то же время, использование быстрого преобразования Фурье накладывает ряд ограничений, связанных, например, с усреднением данных на временном окне. Использование вейвлет-преобразования вместо преобразования Фурье может позволить обойти данное ограничение и получить развернутую картину состояния радиолокационного сигнала по времени и частоте [9-16]. Анализ такой картины может дать больше возможностей для детектирования даже минимальных отклонений вала от нормального вращения, которые не могли быть обнаружены на усредненных данных. Кроме того, большой интерес представляет возможность применения нейронных сетей глубокого обучения для анализа полученной частотно-временной картины радиолокационного сигнала [10-11, 17].

Предлагаемый в данном исследовании подход к анализу качества вращения валов заключается в замене преобразования Фурье на вейвлет-преобразование, что позволит получить частотно-временную картину Доплеровского сигнала.

В рамках проводимого исследования в качестве материнского вейвлета был выбран вейвлет Морле (1). Среди классических вейвлетов он является наиболее близким по форме к отраженному от вала Доплеровскому сигналу, что позволяет достичь более высокого разрешения в частотно-временной области.

$$\psi_{\sigma}(t) = c_{\sigma} \pi^{-\frac{1}{4}} e^{-\frac{1}{2}t^2} (e^{i\sigma t} - k_{\sigma}) , \quad (1)$$

Экспериментальный стенд

Тестовый стенд для проводимых экспериментов представлен на рисунке 1 и состоит из следующих частей. В качестве основного радиолокационного модуля используется радиолокационная система на базе FMCW-сигнала AWR1642. Сигналы детектируются с вращающегося токарного станка с зафиксированным металлическим стержнем. Сам по себе токарный станок способен обеспечить равномерное вращение стержня, однако неисправности моделируются с помощью изменения соосности вращающегося металлического стержня.



Рис. 2. Экспериментальный стенд на базе токарного станка

Сигналы для различных скоростей вращения вала и различной степени нарушения соосности вращения записываются на персональный компьютер с помощью платы DCA1000 и затем обрабатываются с помощью реализованного нами софта, имплементирующего описанный выше алгоритм анализа качества вращения вала с помощью вейвлет-преобразования на базе материнского вейвлета Морле.

Анализ экспериментальных сигналов

Отраженный от вращающегося вала сигнал во временной области представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Сигналы во временной области

Следует отметить, что уже на временном представлении сигналов можно увидеть заметную разницу между сигналом, отраженным от ровно вращающегося вала, и сигналом, отраженным от "поврежденного" вала. Сигнал, отраженный от поврежденного вала, имеет периодические "выбросы" на временной оси, полностью отсутствующие для сигнала, отраженного от неповрежденного вала.

В дальнейшем полученные сигналы обрабатываются посредством применения вейвлет-преобразования с вейвлетом Морле в качестве материнского. Полученная частотно-временная картина может быть проанализирована различными способами для выявления обозначенных ранее "биений" сигнала для поврежденного вала.

Пример частотно-временных картин для поврежденного и неповрежденного валов представлен на рисунке 3.

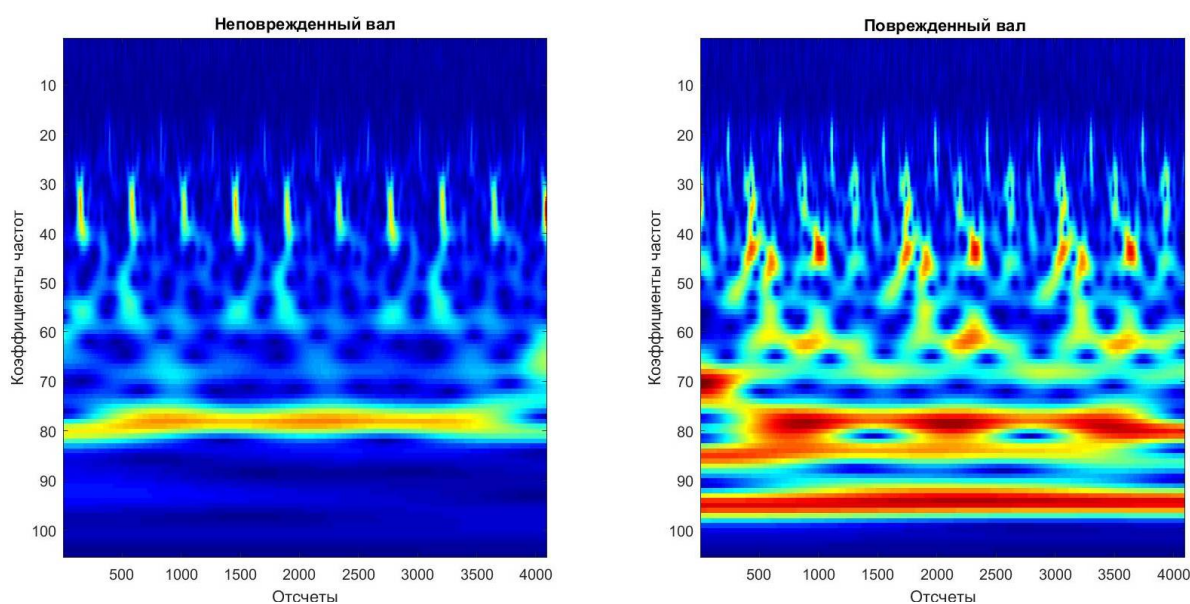


Рис. 3. Частотно-временная карта сигнала после вейвлет-преобразования

Предлагаемый подход к оценке качества вращения промышленного вала предполагает разносторонний анализ получаемых частотно-временных карт отраженных сигналов. Следует учитывать как динамику сигнала внутри одного оборота вала, так и более общую динамику изменения картины частоты на большом интервале наблюдения, затрагивающем несколько оборотов вала.

Результаты анализа экспериментальных данных показывают, что сигнал, отраженный от неповрежденного промышленного вала, имеет одинаковую частотно-временную картину как в рамках одного оборота вала, так и при рассмотрении нескольких последовательных оборотов. Повторяются только некоторые высокочастотные компоненты, причем это повторение является равномерным как внутри одного оборота вала, так и на протяжении более длительного времени наблюдения. В то же время, если рассмотреть сигнал от поврежденного вала на нескольких оборотах вращения вала, можно увидеть низкочастотные компоненты, повторяющиеся лишь однажды в рамках одного оборота вала, а иногда и еще реже. Кроме того, яркость этих компонент в частотной области существенно выше яркости высокочастотных компонент неповрежденного вала. Именно эти низкочастотные "биения" и должны быть предметом наблюдения и поиска при осуществлении мониторинга качества вращения промышленного вала.

Заключение

В рамках проведенного исследования были рассмотрены различные способы оценки качества вращения промышленных валов и выявления их повреждений. Предложен вариант

мониторинга качества вращения вала с использованием радиолокационной системы на базе FMCW-сигнала миллиметрового диапазона. В качестве способа извлечения данных из сигнала предлагается использовать вейвлет-преобразование с материнским вейвлетом Морле.

Построен тестовый стенд на базе токарного станка с вращающимся металлическим стержнем для записи и анализа радиолокационных сигналов, отраженных от поврежденных и неповрежденных валов. Повреждение вала моделируется нарушением соосности вращения стержня. Записан и проанализирован набор тестовых сигналов, сделаны выводы о возможности выявления ярких низкочастотных компонент в сигналах, отраженных от поврежденного вала.

Показано, что за счет получения подробной частотно-временной картины сигнала в пределах как одного оборота вала, так и нескольких, становится возможным при использовании вейвлет-преобразования с базовым вейвлетом Морле четко и однозначно выявить даже минимальные отклонения в вращении промышленного вала.

Предметом будущих исследований является применение нейронной сети глубокого обучения для оценки и классификации качества вращения промышленного вала на основе записанного ранее набора экспериментальных радиолокационных сигналов.

Библиографический список

1. Radar Systems for Modern Civilian Applications: Part 1. IEEE Signal Processing Magazine, vol. 36, num. 4, (2019).
2. Radar Systems for Modern Civilian Applications: Part 2. IEEE Signal Processing Magazine, vol. 36, num. 5, (2019).
3. Gradzki R., Kulesza Z., Bartoszewiczoster B.: Method of shaft crack detection based on squared gain of vibration amplitude. *Nonlinear Dyn* 98, 671–690 (2019).
4. Ma, H., Zhao, Q., Han, Q., Wen, B.: Dynamic characteristics analysis of a rotor–stator system under different rubbing forms. *Appl. Math. Model.* 39, 2392–2408 (2015).
5. Patel, T.H., Darpe, A.K.: Vibration response of misaligned rotors. *J. Sound Vib.* 325, 609–628 (2009).
6. Bharadwaj R., et al.: Condition Monitoring Using Standoff Vibration Sensing Radar. AHS Airworthiness, CBM, and HUMS Specialists' Meeting, Huntsville, AL. (2013).
7. Ciattaglia G., et al.: Performance Evaluation of Vibrational Measurements through mmWave Automotive Radars. *Remote Sensing* 13.1, (2021).
8. AWR1642 Evaluation Module (AWR1642BOOST) Single-Chip mmWave Sensing Solution User's Guide, Texas Instruments, (2020).
9. Vityazev S., Valuyskiy D. Experimental Study Of The Industrial Shaft Uneven Rotation Influence On The Characteristics Of Probing Radar Signals. 2023 25th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA).
10. P. K. Sahu, R. N. Rai. Effect of Time-Frequency Representations for Fault Classification of Rolling Bearing in Noisy Conditions Using Deep Learning. 2023 25th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA).
11. Brian Russell and Jiajun Han. Jean Morlet and the Continuous Wavelet Transform. CREWES Research Report — Volume 28 (2016).
12. Zeintl C., Eibensteiner F., Langer J.: Evaluation of FMCW radar for vibration sensing in industrial environments. In 29th International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA). IEEE, (2019).
13. Khablov, D.: Signal Processing of Doppler Microwave Vibration Sensors with Quadrature Transformation. In 23rd International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA). IEEE, (2021).
14. S. M. Patole, M. Torlak, D. Wang, M. Ali, "Automotive radars: A review of signal processing techniques," *Signal Processing Magazine*, vol. 34, issue 2, 2017, pp. 22-35.
15. Merrill Skolnik, *Radar Handbook*, 3rd ed. McGraw Hill Companies, 2008.
16. M. Orkisz and A. Szweczuk, "Spectrum Shape Based Roller Bearing Fault Detection and Identification," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 59, no. 2, pp. 1547-1556, March-April 2023.
17. E. Landi et al., "A MobileNet Neural Network Model for Fault Diagnosis in Roller Bearings," 2023 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), Kuala Lumpur, Malaysia, 2023.
18. L. Tang, X. Wu, D. Wang and X. Liu, "A Comparative Experimental Study of Vibration and Acoustic Emission on Fault Diagnosis of Low-Speed Bearing," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 72, pp. 1-11, 2023.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.05.09

МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ КОДОВ РИДА-МАЛЛЕРА ПУТЁМ РАСШИРЕНИЯ КОДОВ ХЭММИНГА

А.А. Захаркин, А.А. Овинников

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, zakharkin_anton@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается способ получения генераторной матрицы для помехоустойчивых кодов Рида-Маллера через преобразование кодов Хэмминга. Рассмотрен пример работы способа на основе расширения (7,4)-кода Хэмминга. Кратко описан принцип работы мажоритарного кодирования.

Ключевые слова: код Хэмминга, код Рида-Маллера, помехоустойчивое кодирование (FEC), мажоритарное кодирование.

OBTAINING REED-MULLER CODES BY EXTENDING HAMMING CODES

A.A. Zakharkin, A.A. Ovinnikov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, zakharkin_anton@mail.ru

The summary. The paper considers a method for obtaining a generator matrix for noise-tolerant Reed-Muller codes through the transformation of Hamming codes. An example of the operation of the method based on the extension of the Hamming (7,4)-code is considered. The principle of majority logic decoding is briefly described.

Keywords: Hamming Code, Reed-Muller Code, Forward-Error coding (FEC), Majority logic decoding.

Коды Хэмминга представляют собой семейство совершенных линейных блочных кодов с параметрами (n, k) вида $(2^p - 1, 2^p - 1 - p)$, где $p = n - k$ [1].

Проверочная матрица (7,4)-кода Хэмминга в систематической форме имеет вид (1):

$$H_{\text{Ham} 3 \times 7}^{7,4 \text{ sys}} = (P_{3 \times 4}^T \quad I_{3 \times 3}) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Расширяя коды Хэмминга определённым способом, о котором речь пойдёт дальше, можно получить класс других линейных блочных кодов – кодов Рида-Маллера. Параметры (n, k, d) этого класса кодов определяются выражениями (2) – (4) [2]:

$$n = 2^m; \quad (1)$$

$$k = \sum_{i=0}^r \binom{m}{i}; \quad (3)$$

$$d = 2^{m-r}. \quad (4)$$

Расширение проверочной матрицы производится путём добавления проверки на чётность. Для этого добавляется первая строка, все элементы которой равны единице, и первый столбец, элементы в котором равны нулю все, кроме первого.

Требуется получить код Рида-Маллера порядка $r = 1$ и $m = 3$. Тогда параметры (n, k, d) этого кода будут равны $n_{R-M} = 8$, $k_{R-M} = 4$, $d_{R-M} = 4$. С учётом этого, расширяемым кодом будет (7, 4)-код Хэмминга. Процедура расширения будет иметь вид (5):

Здесь проверяется наличие ошибки в пятом блоке задержки. Если ошибка присутствует, то блоки двоичной арифметики, расположенные ниже линии задержек, выдадут на своём выходе логическую единицу, которая через четыре такта сложится с ошибочным битом из пятого блока задержки, тем самым компенсируя эту задержку.

Ключи в этой структуре реализуют сброс значений в элементах задержки после прохождения блоковых слов. Это сделано для исключения возможности влияния одного кодового слова на другое, что может приводить к ошибкам в декодировании, и, как следствие, потери информации.

Структура из блоков двоичной арифметики повторяет три ортогональных линейно-независимых синдромных уравнения для этого кода. Сами синдромные уравнения получаются из строк проверочной матрицы для порождающей матрицы (6).

В реально существующих системах связи с мажоритарным кодированием и декодированием информации проверяется каждый элемент задержки на наличие ошибок, а не только один из них как в представленном примере.

Библиографический список

1. Кларк Дж., мл., Кейн Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1987. – 392 с.
2. Р. Морелос-Сарагоса. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. – Москва: Техносфера, 2006. – 320 с.

УДК 621.391; ГРНТИ 47.47.29

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КАНАЛОВ МЕЖПРОЦЕССОРНОГО ОБМЕНА МОДУЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НА БАЗЕ ПЦОС 1967ВН028

Г.И. Токарева

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, g.drannikova@yandex.ru*

Аннотация. В статье проведен анализ пропускной способности многопроцессорного модуля в зависимости от конфигураций межпроцессорного обмена процессора цифровой обработки сигналов.

Ключевые слова: процессор, кластерная шина, пропускная способность, многопроцессорные системы, память, приоритетный доступ ядра, высокоприоритетный канал DMA, передача данных.

STUDY OF THE CAPACITY OF INTERPROCESSOR EXCHANGE CHANNELS OF A SIGNAL PROCESSING MODULE BASED ON DSP 1967VN028

G.I. Tokareva

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, g.drannikova@yandex.ru*

The summary. The article analyzes the throughput of a multiprocessor module depending on the configurations of interprocessor communication of a digital signal processor.

Keywords: processor, cluster bus, bandwidth, multiprocessor systems, memory, kernel priority access, high-priority DMA channel, data transfer.

Введение

В настоящее время развитие вычислительных и многопроцессорных систем достигло колоссальных показателей. Стремительное развитие кластерных систем создает условия для применения многопроцессорной техники практически во всех сферах деятельности человека.

Важнейшей характеристикой многопроцессорных систем, наряду с характеристиками производительности составляющих ее процессоров, является производительность среды, их объединяющей. В большинстве практических задач, требующих для своего решения мощные кластеры, в которых происходят интенсивные обмены данными, именно скорость этих обменов является фактором, определяющим производительность всей кластерной системы в целом. Поэтому исследование и анализ пропускной способности каналов межпроцессорного обмена является одной из важнейших работ по развитию многопроцессорных систем.

На сегодняшний день, особенно актуальным является вопрос разработки и внедрения аппаратуры на основе отечественной элементной базы. Компания АО ПКК «Миландр» разработала процессор цифровой обработки сигнала 1967BH028, применяемый для проектирования систем с многопроцессорной архитектурой. Он является аналогом зарубежного процессора ADSP-TS201S фирмы Analog Devices [1].

Целью статьи является исследование зависимости пропускной способности многопроцессорного модуля от конфигурации межпроцессорного обмена отечественного процессора цифровой обработки сигналов (ПЦОС) 1967BH028.

Состав отладочного модуля

Исследуемыми объектами отладочного модуля, используемого для проведения экспериментальных исследований, являются два ПЦОС 1967BH028, внутренняя память процессора и внешняя память SDRAM, а также шина кластера. Рассмотрим подробнее состав и принцип работы каждого из них.

Процессор 1967BH028 представляет собой высокопроизводительный сигнальный процессор со статической суперскалярной архитектурой, имеет тактовую частоту 450 МГц, ядро, встроенную оперативную память SRAM, два вычислительных блока, каждый из которых содержит арифметико-логическое устройство, умножитель, сдвигатель и коммуникационный блок. Система ввода-вывода включает 14-канальный контроллер DMA, внешний 64/32-разрядный порт, 4 высокоскоростных двунаправленных LVDS порта передачи данных, контроллер SDRAM, пользовательские линии ввода-вывода и внешний флаг переполнения таймера для синхронизации системы, а также порт доступа к интерфейсу JTAG [2].

Процессор имеет шесть внутренних блоков памяти. Существует четыре отдельных 128-битных внутренних шины, каждая из которых может получать доступ к блокам памяти. Контроллер прямого доступа в память (DMA) имеет свою собственную внутреннюю шину, так что он не соревнуется с ядром за использование внутренней шины, однако может разделять с ним внешнюю шину, а также порты внутренней памяти. Ядро процессора имеет три шины (I-шина, J-шина, и K-шина), каждая из которых соединена со всеми блоками внутренней памяти. Эти шины имеют ширину 128 бит для передачи до четырех команд или четырех слов данных в пределах одного цикла. Внешние по отношению к ядру устройства (DMA, хост-процессор, другие процессоры кластера) используют S-шину для доступа к памяти. В каждом цикле возможен только один доступ к каждому блоку памяти, т.е. если в течение одного такта мы имеем четыре запроса к различным модулям памяти, то все запросы будут обслужены без потери скорости [2].

Кластерная шина обслуживает группу взаимно соединенных процессоров, осуществляющих совместную работу и составляющих единую многопроцессорную систему. Шина имеет разрядность 64 бит и максимальную частоту 100 МГц. В данной работе рассмотрен процесс передачи данных посредством применения транзакций ядра и транзакций высокоприоритетного канала DMA. В многопроцессорной системе на роль ведущего устройства вправе претендовать сразу несколько процессоров. Для предотвращения конфликтов захвата шины системой процессоров 1967BH028 применяется циклический алгоритм захвата шины. Также основную роль при выборе мастера шины играет приоритет запроса. Так например,

сигнал приоритетного доступа ядра (nCPA) имеет более высокий приоритет, чем приоритетный доступ DMA по умолчанию, при этом возможна настройка приоритетов.

Описание экспериментов

Как отмечалось выше, в рассматриваемом модуле каждый процессор имеет внутреннюю память и подключается к общей шине, связывающей его с общей внешней памятью и другими процессорами. Для оценки эффективности передачи данных были рассмотрены различные сценарии передачи данных, включающие как транзакции чтения/записи одного процессора, так и одновременную работу двух процессоров многопроцессорной системы. В таблице 1 представлены результаты показателей рассмотренных конфигураций обмена данными исследуемого модуля.

Таблица 1. Результаты исследования пропускной способности многопроцессорной системы

Конфигурации обмена данными многопроцессорной системы	Количество тактов передачи	Объем передачи (слово)	Время передачи данных (мкс)	Скорость передачи данных (Мбит/с)
DSP0				
Внутренняя память $\xrightarrow{nCPA}$ Внешняя память	126044	3000	280	342
Внешняя память $\xrightarrow{nCPA}$ Внутренняя память	330287	3000	733	131
Внешняя память $\xrightarrow{nDMA}$ Внутренняя память	7499	3000	17	5647
Внутренняя память $\xrightarrow{nDMA}$ Внешняя память	7424	3000	17	5647
DSP1				
Внутренняя память $\xrightarrow{nCPA}$ Внешняя память	126044	3000	280	342
Внешняя память $\xrightarrow{nCPA}$ Внутренняя память	324999	3000	722	133
Внешняя память $\xrightarrow{nDMA}$ Внутренняя память	7592	3000	17	5647
Внутренняя память $\xrightarrow{nDMA}$ Внешняя память	7443	3000	17	5647
DSP0 и DSP1				
Внешняя память $\xrightarrow{nDMA}$ Внутренняя память (DSP1)	153642	3000	341	282
(DSP0) Внутренняя память $\xrightarrow{nCPA}$ Внешняя память	126072	3000	280	342
(DSP0) Внутренняя память $\xrightarrow{nDMA}$ Внутренняя память (DSP1)	6945	3000	15	6400
(DSP1) Внутренняя память $\xrightarrow{nCPA}$ Внешняя память	126026	3000	280	342
(DSP0) Внутренняя память $\xrightarrow{nDMA}$ Внутренняя память (DSP1)	6935	3000	15	6400
(DSP1) Внутренняя память $\xrightarrow{nDMA}$ Внутренняя память (DSP0)	3351	3000	7	13714
(DSP0) Внутренняя память $\xrightarrow{nCPA}$ Внешняя память	126054	3000	280	342
(DSP1) Внутренняя память $\xrightarrow{nCPA}$ Внешняя память	126054	3000	280	342

При проведении исследования были рассмотрены разные варианты передачи данных между двумя процессорами и внешней памятью при одинаковом количестве передаваемой информации (3000 слов). Для реализации различных конфигураций обмена данными использовалась интегрированная среда разработки CM-LYNX, предназначенная для разработки встраиваемого программного обеспечения высокопроизводительных ПЦОС серии 1967BH0XX [3].

Исходя из полученного значения количества тактов передачи, были рассчитаны показатели времени передачи и скорости передачи данных по формулам (1) и (2):

$$t = \frac{K}{F}, \quad (1)$$

где t – время передачи данных (мкс);
 K – количество тактов передачи
 F – тактовая частота процессора (МГц).

$$V = \frac{W}{t}, \quad (2)$$

где W – количество передаваемых данных (бит);
 V – скорость передачи данных (Мбит/с).

Анализ результатов экспериментов

Учитывая полученные значения времени и скорости передачи данных, можно сделать вывод, что скорость кластерной шины (6400 Мбит/с) проигрывает скорости внутренней шины (57600 Мбит/с). Это негативно отражается на пропускной способности при чтении данных с внешней памяти ядром процессора и не влияет на DMA транзакции. Кроме того, скорость передачи при транзакции ядром значительно меньше, чем при транзакции высокоприоритетного канала DMA, так как передача данных ядром процессора более трудоемкий и затратный процесс, нежели DMA транзакция. Пропускная способность при передаче данных с использованием прямого доступа к памяти достигает своих максимальных значений при считывании данных с внутренней памяти между двумя процессорами.

При одновременном чтении данных ядром с внешней памяти двумя процессорами значения пропускной способности не уменьшаются, при этом процессоры не создают помех друг другу во время выполнения заданной операции. Эксперимент, в котором двумя процессорами выполняются одновременные транзакции ядром и каналом DMA, показывает высокий приоритет доступа ядра и деактивацию канала DMA. После выполнения транзакции ядром, доступ к шине получает транзакция DMA, при этом прослеживается значительное уменьшение скорости передачи данных DMA каналом.

Заключение

В результате проведенного анализа были реализованы различные конфигурации межпроцессорного обмена многопроцессорной системы, а также рассчитана пропускная способность для каждой из них. Полученные результаты применимы для дальнейшего исследования межпроцессорного обмена данных через шину кластера модулей цифровой обработки сигнала, а также для разработки алгоритма оптимального распределения вычислительной нагрузки процессоров многопроцессорной системы.

Библиографический список

1. ADSP-TS201 TigerSHARC® Processor Hardware Reference 2004. [Электронный ресурс] URL: https://caxapa.ru/thumbs/270530/396096833ts_201_hwr.pdf (дата обращения: 05.02.2024).
2. Спецификация на микросхему 1967BH028. АО «ПМК Миландр». 2021. [Электронный ресурс] URL: https://ic.milandr.ru/upload/iblock/55_6/g5zyamzsnf6h8c1jmare6avuyds0ov2h/1967BH028.pdf (дата обращения: 10.02.2024).
3. CM-LYNX. Руководство пользователя. АО «ПМК Миландр». 2021. [Электронный ресурс] URL: https://support.milandr.ru/upload/iblock/f56/0f4d9qy6zcoyczpk85h2hyrx92kuftf/ML_%D0%A6%D0%9F%D0%9F%D0%9E_CMLYNX_%D0%A0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8F_R_V2.0.3.pdf (дата обращения: 11.02.2024).

УДК 621.396.969.1, ГРНТИ 47.49.31

АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛОВ В НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Д.О. Спицын, С.В. Витязев

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, daniilhc04@gmail.com*

Аннотация. В данной работе представлен алгоритм формирования радиолокационного изображения в навигационной системе мобильного робота. Алгоритм основан на частотном методе обработки сигнала и включает три основных этапа. Тестирование алгоритма проведено на реальных сигналах, полученных с помощью экспериментального стенда.

Ключевые слова: частотный метод обработки сигнала, радиолокационное изображение, мобильный робот.

ALGORITHMS FOR PROCESSING RADIO SIGNALS IN THE NAVIGATION SYSTEM OF A MOBILE ROBOT

D.O. Spitsyin, S.V. Vityazev

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, daniilhc04@gmail.com*

The summary. This paper presents an algorithm for generating a radar image in the navigation system of a mobile robot. The algorithm is based on the frequency method of signal processing and includes three main stages. The algorithm was tested on real signals obtained using an experimental stand.

Keywords: frequency signal processing method, radar image, mobile robot.

Введение

В настоящее время одной из активно развивающихся отраслей науки и техники является проектирование мобильных робототехнических платформ. С каждым годом функциональные возможности мобильных роботов непрерывно растут. Их практическое применение связано, в том числе, с условиями работы, непригодными для человека, например, на больших глубинах морей и океанов, во время стихийных бедствий, в ходе космических экспедиций, в зонах, опасных для пребывания человека. В таких экстремальных условиях мобильный робот обязан иметь возможность самостоятельно получать информацию об окружающей обстановке. Для этого применяются разнообразные приборы и физические принципы, такие как датчики давления, температуры, положения и другие. Для обеспечения возможности автономного функционирования роботам необходимы такие датчики информации, как видеокамеры и лидары. Дополнительные возможности ориентирования в окружающей среде дают радиолокационные датчики, компенсируя недостатки оптических приборов и расширяя области применения робототехники.

В данной работе решается задача разработки и моделирования типового алгоритма формирования радиолокационного изображения средствами, которые могут быть установлены на мобильную робототехническую платформу, обеспечивая ее дополнительной информацией для ориентирования в окружающем пространстве. В качестве аппаратной платформы для проведения экспериментальных исследований используется отладочный модуль AWR1642 Boost фирмы Texas Instruments.

Алгоритм обработки

Приемный тракт отладочного модуля AWR1642boost реализует частотный метод измерения дальности, оценивая приращения частоты линейно-частотно модулированного сигнала (ЛЧМ) за время его распространения до цели и обратно. Приём, усиление умножение на опорный ЛЧМ-сигнал и оцифровка квадратур выполняются аппаратно

радиочастотной подсистемой микросхемы AWR1642. В памяти процессора накапливаются отражения, принятые в l периодах повторения ЛЧМ-сигнала и в K приемных каналах (на модуле расположено k приемных антенн), каждые l периодов повторения объединяются в кадры, за всё время принимается f кадров. Частотный состав этих отражений несет информацию о дальностях объектов. Обозначим сигнал на входе цифровой системы обработки $s(n, l, k, f)$. Алгоритм обработки опишем в виде 3 этапов [2].

На первом этапе производится внутривысказочная обработка входного сигнала. Выполняется переход в частотную область с помощью преобразования Фурье. В результате получается спектр сигнала, частоты которого оказываются пропорциональными расстояниям до целей:

$$S(N, l, k, f) = \sum_{p=1}^n S(n, l, k, f) e^{j \frac{-2\pi \Lambda}{n}}$$

где N – номер канала дальности;

n – количество временных отсчётов в импульсе;

l – количество импульсов в кадре;

k – количество антенн;

f – количество кадров;

j – мнимая единица

На втором этапе производится межимпульсная обработка: отслеживается изменение отсчетов сигнала в отдельных каналах дальности от импульса к импульсу. Для этого также используется преобразование Фурье. В результате формируется информация о скоростях целей в отдельных каналах дальности:

$$S(N, L, k, f) = \sum_{p=1}^l S(N, l, k, f) e^{j \frac{-2\pi L}{l}},$$

где L – номер канала скорости.

На третьем этапе производится объединение информации с нескольких приёмных каналов: благодаря тому что сигнал принимают 8 антенн (с учетом комбинации 2 передающих и 4 приемных антенн), возможно определение направления на цель. В каждом канале дальности выполняются преобразование Фурье по отсчетам сигнала, принимаемым с k -ой антенны. Таким образом, на третьем этапе обработки становится возможным формирование РЛИ в координатах азимут-дальность, а также фиксируется информация о скоростях целей в выборочных каналах дальности:

$$S(N, L, K, f) = \sum_{p=1}^k S(N, L, k, f) e^{j \frac{-2\pi K}{k}},$$

где K – номер азимутального сектора

В работе данный алгоритм применяется для обработки реальных сигналов, регистрируемых с помощью экспериментального стенда.

Экспериментальный стенд

Основу стенда составляет отладочный модуль AWR1642boost рис. 1. Модуль включает антенную систему, процессор управления и обработки данных, дополнительные компоненты и позволяет проводить экспериментальные исследования в области автомобильных

радиолокационных систем содействия водителю и в смежных областях. Рабочая длина волны составляет около четырех миллиметров; зондирующий ЛЧМ-импульс с шириной полосы до 4 ГГц обеспечивает разрешение по дальности до 4 см; наличие 2 передающих и 4 принимающих антенн позволяет получить азимутальное разрешение до 15 градусов.

В ходе экспериментов использовались тестовые объекты в виде металлических цилиндров (рис. 1).

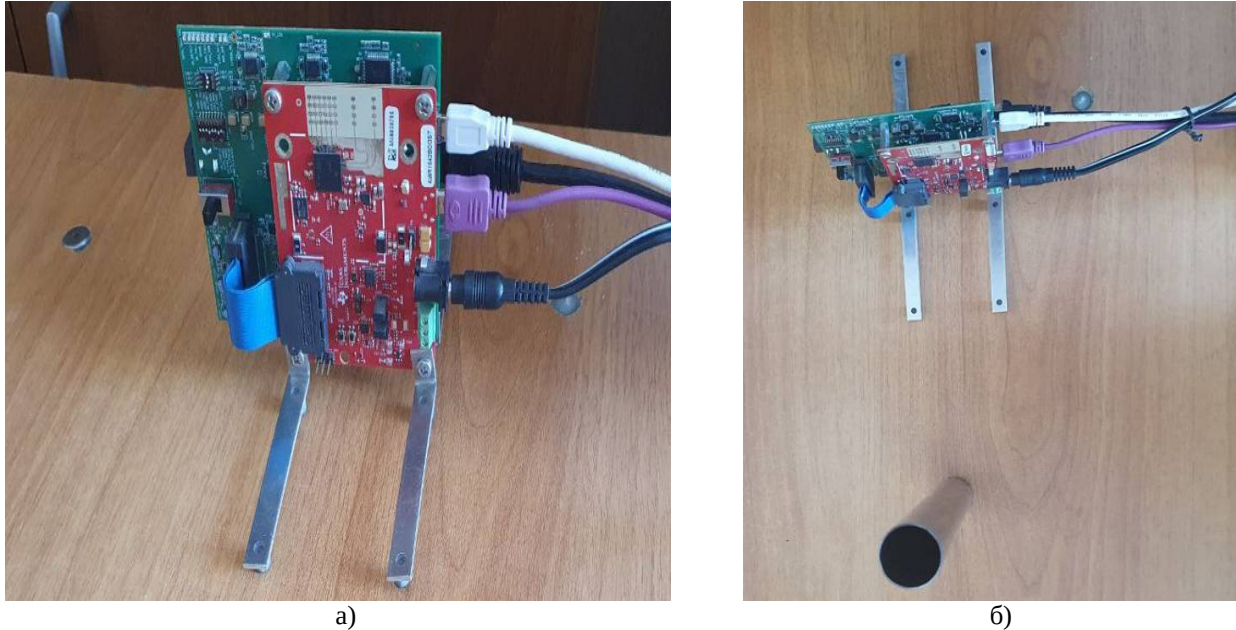


Рис. 1. Отладочный модуль AWR1642boost (а) и тестовый объект (б)

Параметры зондирования были выбраны так, что входной сигнал представлял собой последовательность из 64 кадров, в каждом из которых использовалось 128 импульсов длительностью 256 временных отсчётов, что наглядно показано на рисунке 2.

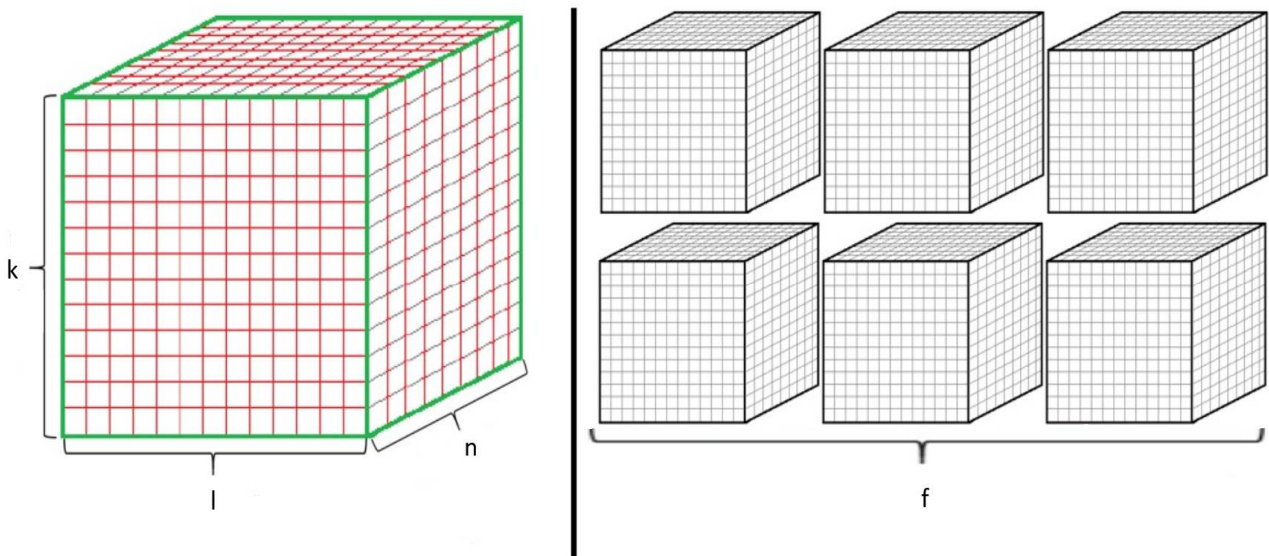


Рис. 2. Иллюстрация структуры данных

Был записан набор тестовых сигналов для различных конфигураций объектов с целью разработки и отладки программного обеспечения, реализующего выше описанный алгоритм формирования РЛИ.

Результаты обработки тестовых записей

На рисунке 3 изображены радиолокационные изображения с тестовых сцен. На рисунке а) представлена сцена, на которой изображена отдельная цель, находящаяся на расстоянии 20 см от радара. После перемещения данной цели на расстояние в 40 см наблюдается соответствующее изменение радиолокационного изображения, как показано на рисунке б). Заметное изменение направления на цель также происходит в предсказуемой форме, что иллюстрируется на рисунках в) и г).

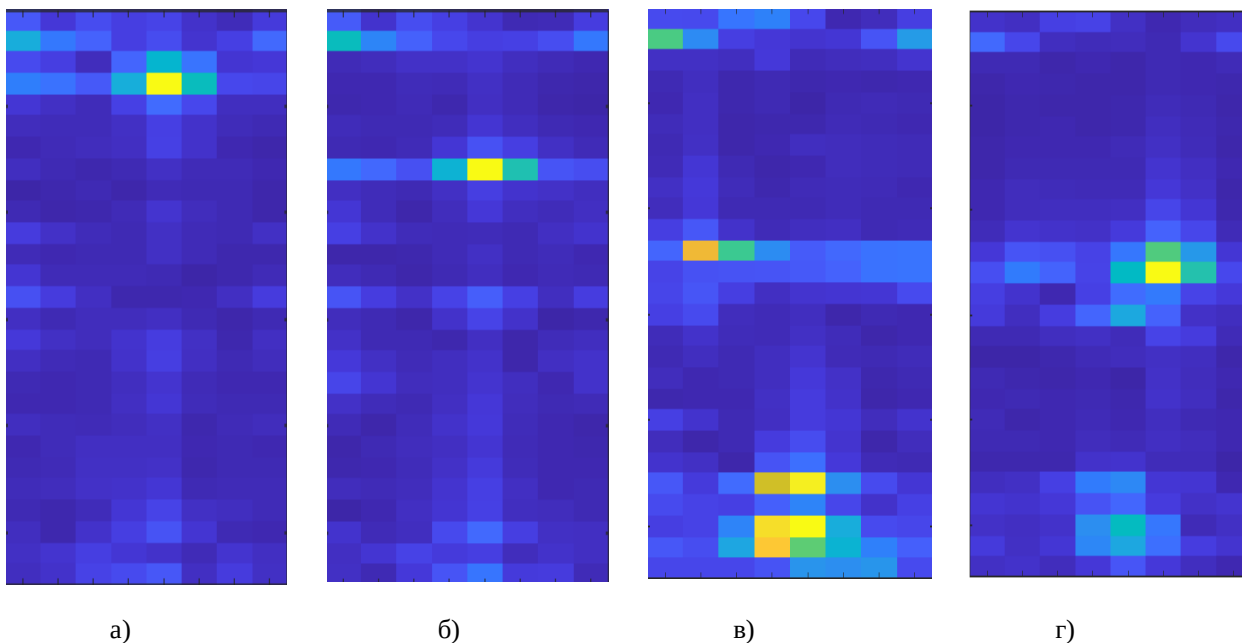


Рис. 3. Радиолокационные изображения с тестовых сцен:
а) – Одна цель на расстоянии 20 см; б) - Одна цель на расстоянии 40 см;
в) -Одна цель на расстоянии 80 см; г) - Одна цель на расстоянии 80 см

Заключение

В ходе исследования было продемонстрировано, что результаты работы алгоритма соответствуют заявленным ожиданиям. Полученное радиолокационное изображение оказалось достоверным и может служить важным инструментом для обеспечения мобильной робототехнической платформы дополнительной информацией для ориентирования в окружающем пространстве. Дальнейшие шаги в развитии данного исследования предполагают его оптимизацию с целью повышения эффективности работы программы и обработки радиолокационных изображений в режиме реального времени. В целом, результаты данного исследования могут быть использованы для улучшения навигационных возможностей мобильных роботов и повышения их автономности.

Библиографический список

1. Sujeet Patole, Murat Torlak, Dan Wang, and Murtaza Ali, Signal Processing for Smart Vehicle Technologies: Part 2. - Publisher: IEEE
2. Cesar Iovescu, Sandeep Rao, The fundamentals of millimeter wave sensors. - Texas Instruments
3. Mehrdad Nosrati, Negar Tavassolian, High-Accuracy Heart Rate Variability Monitoring Using Doppler Radar Based on Gaussian Pulse Train Modeling and FTFR Algorithm. - IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES

СЕКЦИЯ «АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ»

УДК 691.322:004.421

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ СТРУКТУР СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.В. Белов, М.А. Смирнов, П.В. Куляев

*Тверской государственный технический университет,
Россия, Тверь, vladim-bel@yandex.ru*

Аннотация. Изучение проблемы формирования прочности материалов как дисперсных структур на стыке таких фундаментальных наук, как физическая и коллоидная химия, механика сплошной среды и структурная теория разрушения дает возможность эффективного поиска оптимальных составов композитных материалов, построить модели структуры материала в объеме, применить физические законы и спрогнозировать изменение свойств материала в зависимости от внешних условий. Учет оптимального распределения структурных элементов в объеме строительного материала позволяет достаточно полно описать поведение материала и, в частности, существенно повысить прочность бетона и получить его новые перспективные виды.

Ключевые слова: математическое моделирование, структура материала, оптимальная рецептура, реконструкция пространственных свойств материала

METHODOLOGY FOR DESIGNING OPTIMAL STRUCTURES OF CONSTRUCTION MATERIALS

V.V. Belov, M.A. Smirnov, P.V. Kulyaev

*Tver State Technical University,
Russia, Tver, vladim-bel@yandex.ru*

Abstract. The study of the problem of forming the strength of materials as dispersed structures at the junction of such fundamental sciences as physical and colloidal chemistry, solid medium mechanics and structural theory of destruction makes it possible to effectively search for optimal compositions of composite materials, build models of the material structure in volume, apply physical laws and predict changes in material properties depending on external conditions. Taking into account the optimal distribution of structural elements in the volume of construction material makes it possible to fully describe the material management and, in particular, significantly increase the strength of concrete and obtain its new promising types.

Keywords: mathematical modeling, material structure, optimum composition, 3D material property reconstruction

Как известно, перспективными направлениями повышения прочности бетонов с возможностью получения новых видов бетона являются следующие:

- применение новых модификаторов структуры бетона;
- применения вяжущего на основе композитов;
- применение добавок тонкодисперсной структуры;
- применение волокнистых наполнителей [1, 2].

Сегодня в поле зрения науки и практики находится широкая номенклатура бетонов различного назначения и эксплуатационных свойств. По критерию предела прочности при сжатии их можно условно подразделить на 4 большие группы: I – рядовые бетоны (с прочностью до 40 МПа), имеющие самый массовый спрос и потребление на строительном рынке; II – высокопрочные бетоны (40–80 МПа), широко применяемые в строительстве высотных зданий и сооружений; III – особо высокопрочные бетоны (80–120 МПа) для конструкций зданий и сооружений повышенной ответственности и большого ресурса эксплуатации; IV – сверхвысокопрочные бетоны (более 120 МПа) уникального назначения.

Свойства бетона определяются его структурой. Совокупность возможных и необходимых механизмов формирования структуры для каждой группы бетонов систематизирована в [3]. Для получения высокопрочных бетонов II группы достаточно эффективны методы по-

вышения их плотности за счет оптимизации зернового состава крупного и мелкого заполнителей, а также за счет снижения В/Ц отношения. [3–7].

В проблеме формирования структуры высокопрочных бетонов очень важным моментом является их способность противостоять процессам возникновения и роста трещин под воздействием нагрузок. Для особо высокопрочных (III группа) и сверхвысокопрочных (IV группа) бетонов это актуально, так как при весьма высокой прочности на сжатии они имеют относительно малую прочность при растяжении и низкую трещиностойкость. Иерархия трещинообразования бетонов и совокупности трещин свидетельствуют о целесообразности и необходимости многоуровневого дисперсного армирования. При многоуровневом дисперсном армировании, когда рост субмикротрещин может сдерживаться выращенными в процессе гидратации (самоармирование) кристаллами этtringита, рост микротрещин – волокнами асбеста, а макротрещин – базальтовыми волокнами, достигается весьма эффективное торможение трещин, позволяющее повысить трещиностойкость бетона более чем в 4 раза [3, 8, 9].

При производстве высокопрочных бетонов важное значение имеет процентное соотношение воды и цемента – существенно меньшее 0,4. Это позволяет снизить пористость и, соответственно, повысить прочность матрицы цементного камня. Однако снижение водоцементного соотношения отрицательно влияет на удобство практической укладки бетона, что можно устранить только путем повышения содержания вяжущего с добавкой суперпластификаторов. Получение самоуплотняющихся высокопрочных бетонов с суперпластификаторами связано с преодолением трех противоречивых факторов – получением высокой текучести бетонной смеси с распылом конуса 55-70 см (осадка конуса более 20 см), исключением расслаиваемости ее и достижением высокой прочности бетона 100–150 МПа и более [5, 10].

Известно, что один и тот же цемент при твердении в прессованном виде и в виде суспензии (пасты) имеет отношение R_{28}/R_1 (где R_{28} и R_1 – пределы прочности на сжатие соответственно в возрасте 28 и 1 суток), отличающееся в несколько раз. Поэтому из приведенного анализа условий получения высокопрочных бетонов следует, что оптимальное водоцементное отношение (В/Ц) в бетонах незначительно превышает уровень нормальной густоты (НГ) цементного теста [11]. Это правило оценки водосодержания бетонной смеси должно быть выражено как $В/Ц = НГ/100$. Водоцементное отношение бетонной смеси для высокопрочного бетона можно выразить соотношением [11]:

$$В/Ц = K(НГ/100),$$

где K – коэффициент рецептурной эффективности состава бетона и реологической активности суперпластификатора.

На прочность цементного камня влияет соотношение между кристаллической и гелеобразной составляющими (при оптимальном соотношении достигается лучшая плотность контактов между элементами твердой фазы), наличие особо тонкозернистого микрозаполнителя и наноэлементов. Микрозаполнитель увеличивает плотность цементного камня, а наноэлементы упрочняют контактную зону. В.В. Тимашов [12] показал, что при уменьшении поперечного размера нитевидных кристаллов этtringита прочность их повышается. Реальный цемент является полиминеральным материалом. Структура затвердевшего цементного камня состоит из кристаллических элементов различных размеров и конфигурации. В соответствии с законами физики твердого тела и вероятностно-статистической теорией прочность подобных материалов зависит от размеров структурных элементов, характера пористости (применительно к цементному камню) и прочности контактов между элементами твердой фазы.

С помощью электронного сканирующего микроскопа и малоугловой рентгенографии авторами [13] было изучено влияние структуры цементного камня на его прочность и

энергию разрушения. Применение химических добавок и различных режимов твердения позволило в заметных пределах изменять размеры кристаллов и пор в цементном камне и соответственно его прочность. С уменьшением среднего размера кристаллов прочность цементного камня возрастает. Поэтому для получения высокопрочных бетонов особое значение имеет создание плотной тонкозернистой структуры цементного камня.

Повышения плотности и прочности бетона можно добиться скорректированным составом смеси, оптимальным количеством заполнителей, наполнителя и их плотной упаковкой [14]. Применение наполнителей различного происхождения в оптимальном количестве в бетонной смеси позволяет регулировать зерновой состав и достигать некоторых требуемых характеристик сырьевой смеси и бетона [15]. Наполнитель в составе смеси способен снизить пористость бетона и улучшить структурообразование. А также заменяя часть вяжущего вещества наполнителем можно улучшить коррозионную стойкость бетона, в частности карбонизационную. Причём глубина карбонизации будет зависеть от доли в смеси и удельной поверхности наполнителя [16].

Использование порошкообразных минеральных модификаторов (ПММ) [17], состоящих из микрокремнезёма, алюмосодержащей и карбонатсодержащей добавок в составе бетона позволяет получить камень с высокой контактной зоной, с минимальным содержанием пор и микротрещин. «Это объясняется спецификой структуры компонентов, обусловленной активно сформированной матрицей вяжущего за счёт использования запасённой в порах воды, а также микроструктурой контактных зон заполнителя и цементного камня» [17], то есть полезность действий микрочастиц в том, что они вбирают в себя воду и отдают при гидратации вяжущего для равномерного и полного формирования структуры бетона.

Заметное влияние на структуру и свойства бетона оказывает заполнитель. Как показал Б.Г. Скрамтаев на основе теории разрушения бетона, целесообразно, чтобы прочность крупного заполнителя была на 20 % выше прочности бетона [18]. Поэтому на известняковом заполнителе получают бетоны с максимальной прочностью 40–60 МПа, на гранитном – 80–120 МПа, на особо прочных горных породах (габбро-диабазе, базальте) – 150–180 МПа. Для получения более прочных материалов требуется переход на более мелкие и прочные заполнители, например, кварцевые пески из особопрочных горных пород, так как в более мелких зернах материала более однородна структура и меньше вероятность появления дефектов, снижающих прочность зерен. Введение заполнителя, особенно крупного, огрубляет структуру, возрастает вероятность появления крупных дефектов, в первую очередь в контактной зоне между заполнителем и цементным камнем и соответственно понижение прочности бетона [18].

Заполнитель заметно влияет на водопотребность бетонной смеси: с увеличением его содержания и уменьшением крупности возрастает водопотребность бетонной смеси. Дополнительная вода, вводимая в бетонную смесь для обеспечения ее заданной подвижности, уменьшает плотность бетона и понижает его прочность в результате образования капиллярной пористости. Введение суперпластификаторов или комплекса «суперпластификатор-микрокремнезем-активизирующий компонент» позволяет существенно снизить водопотребность бетонной смеси, существенно уплотнить и улучшить структуру бетона и соответственно повысить его прочность. В композиционных вяжущих веществах модификаторы, например, суперпластификаторы и активные минеральные компоненты вводятся непосредственно при помеле вяжущего. За счет этого удастся увеличить оптимальную дозировку суперпластификатора до 2–3 % (при введении в бетонную смесь 1–1,5 %) и получить вяжущее с повышенной удельной поверхностью (500–600 м²/кг), высокой однородностью и оптимальным для получения плотного цементного камня соотношением между различными элементами твердой фазы. В результате бетонная смесь может укладываться при предельно низких водоцементных отношениях ($V/C \approx 0,2$), в то время как для обычной доброкачественной бетонной смеси минимальные значения V/C составляют приблизительно 0,4, а для бетонной смеси с суперпластификатором – около 0,3. Бетоны на композиционном вяжущем обладают наивысшей плотностью структуры и прочностью.

Необходимо особо выделить тот момент, что за счет уменьшения соотношения воды и цемента в бетонной смеси происходит более быстрый набор прочности у высокопрочных бетонов. Скорость нарастания прочности бетона такова, что через 8–10 часов она может составлять 10–20 МПа, по истечении суток 30–100 МПа. При этом необходим достаточно высокий расход цемента. Экзотермический характер реакции гидратации цемента и ее интенсификация приводят к более высокому выделению тепловой энергии, что благотворно сказывается на технологии выполнении бетонных работ в зимний период: для их выполнения оказывается достаточным использовать подогретую смесь а традиционные мероприятия, применяемые при зимнем бетонировании, не требуются. Высокая скорость набора прочности бетона позволяет ускорить возведение монолитных конструкций и сооружений.

Наиболее эффективно применение в высокопрочных бетонах не отдельных модификаторов, а специально подобранных комплексов в зависимости от назначения бетона и предъявляемых к нему требований. Помимо суперпластификатора также вводятся антивоздухововлекающие или наоборот воздухововлекающие или микрогазообразующие добавки, добавки управляющие структурообразованием, в частности кинетикой схватывания и твердения, расширяющие добавки, активные минеральные компоненты и супертонкие наполнители, волокнистые добавки, наноэлементы и другие добавки. Состав комплекса должен соответствовать выбранной технологии и заданным свойствам бетона.

Одной из главных задач при производстве высокопрочных бетонных смесей является обеспечение достаточной удобоукладываемости бетонной смеси в течение периода, предусмотренного строительной практикой. Для этого необходимы:

- постоянный контроль влажности заполнителей;
- высокая точность дозировки;
- использование смесителей, отличающихся высокой интенсивностью смешивания;
- определение последовательности загрузки компонентов смеси и соответствующей

продолжительности смешивания;

- при работе с товарным бетоном необходимо учитывать время, необходимое для транспортировки и укладки бетона и соотнести его с началом твердения; при необходимости следует добавить замедлитель;

- определение правил дополнительной дозировки пластификатора на строительной площадке [19].

В сравнении с традиционными бетонами у высокопрочных проявляется один существенный недостаток, заключающийся в более интенсивной аутогенной усадке. Эти процессы приводят к возможности возникновения сильных напряжений на растяжение уже в первые дни после укладки бетона, которые, в свою очередь способствуют процессам дальнейшего трещинообразования. При этом за счет внешнего ухода уменьшения аутогенной усадки достичь нельзя. Для борьбы с возникновением трещин в высокопрочных бетонах вследствие аутогенной усадки необходимо наличие микровключений, содержащих свободную воду, равномерно распределенных по всему объему бетона. В качестве таких микровключений весьма эффективно применение полимеров SAP, которые имеют высокую абсорбирующую способность, что позволяет накапливать им молекулы воды и играть, таким образом, роль микронакопителей свободной воды. В процессе приготовления бетона полимеры SAP в виде порошков вводятся в смесь и поглощают при перемешивании бетонной смеси воду, формируя в результате микроскопические пористые включения со свободной водой, равномерно распределенные по всему объему [20].

Дальнейшее создание новых бетонов для строительства будет идти по пути использования теории и технологии композиционных материалов, причем изучение проблемы формирования прочности материалов как дисперсных структур базируется на стыке таких фундаментальных наук, как физическая и коллоидная химия, механика сплошной среды и структурная теория разрушения. При этом очевидно, что для понимания синтеза прочности и регулирования деформативности структур необходимо уделять должное внимание не только

химическим процессам, но и явлениям физического и физико-химического характера, в том числе на стадии приготовления сырьевых смесей.

Библиографический список

1. Машенко К.Г. Модификаторы - шаг к повышению качества бетонов и растворов // Строительные материалы. 2004. № 6. С. 62-63.
2. Каримов И.Ш. Тонкодисперсные минеральные наполнители в составах цементных композиций: автореф. Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / И.Ш. Каримов. – Спб., 1996. 22 с.
3. Влияние микронаполнителей на свойства мелкозернистых бетонов / Б.В. Гусев, Б.С. Дуамбеков, Ю.В. Чеховский, В.Н. Корегин // Изв. Вузов. Стр-во и архитектура. 1987. №10. С. 127-130.
4. Быховский И.И. Зависимость эффективной частоты вибрирования бетонной смеси от крупности заполнителя // Вибрационная техника. М.: НИИИнфстройдоркоммунмаш, 1966. С. 108-113.
5. Каприелов С.С. Влияние структуры цементного камня с добавкой микро-кремнезема и суперпластификатора на свойства бетона / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Ю.Р. Кривобородов // Бетон и железобетон. 1992. №7. С. 4-7.
6. Михайлов Н.В. Основные принципы новой технологии бетона и железобетона. М.: Госстройиздат, 1961. 53 с.
7. Кононова О.В. Разработка технологии бетона с минеральным наполнением с учётом дисперсности наполнителя и цемента: автореф. дис. ... канд. наук.: 05.23.05 / О.В. Кононова. М., 1989. 20 с.
8. Гусев Б.В. Основные направления развития вибрационного способа уплотнения бетонных смесей / Технология производства сборного железобетона в условиях низких температур: тр. ДИИТ. Днепропетровск, 1975. Вып. 175/2. С. 3-27.
9. Афанасьев А.А. Технология импульсного уплотнения бетонных смесей: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.08. М.: Стройиздат, 1987. 49 с.
10. Волженский А.В., Карпова Т.А. Влияние низких водоцементных отношений на свойства цементного камня при длительном хранении // Строительные материалы. 1980. № 7. С. 15-16.
11. Лесовик Р.В. Мелкозернистые бетоны на композиционных вяжущих и техногенных песках: дисс.. доктора технических наук: 05.23.05. Белгород, 2009. 496 с.
12. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Портландцемент. Минералогический и гранулометрический составы, процессы модифицирования и гидратации. М.: Стройиздат, 1974. 328 с.
13. Ярлушкина С.Х. Физико-химические процессы, их роль в формировании прочности цементного камня с заполнителями. Physico-chemical processes and their role in formation of strength of cement paste-aggregate contact zone // Структурообразование бетонов и физико-химические методы его исследования: Сб.тр. НИИЖБа. М., 1980. С. 60-69.
14. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Теоретические предпосылки создания цементных композитов повышенной непроницаемости // Вестник СибАДИ. 2016. Выпуск 1 (47). С. 65-72. <https://elibrary.ru/item.asp?id=25582773> (Дата обращения: 05.04.2023 г.).
15. Толстой А.Д. Долговечность многокомпонентного бетона в условиях действия агрессивных сред // Вестник ВСГУТУ. 2019. № 4 (75). С. 83-88. <https://elibrary.ru/item.asp?id=41580611> (Дата обращения: 05.04.2023 г.).
16. Хежев Т.А., Кажаров А.Р., Журтов А.В., Семенов Р.Н., Желоков Т.Х., Карданов А.А., Ногеров М.Б. Самоуплотняющиеся мелкозернистые фибробетоны с применением отходов камнедробления // Инженерный вестник Дона. 2017. № 1. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29751825> (Дата обращения: 05.04.2023 г.).
17. Белов В.В., Образцов И.В. Исследование закономерностей структурообразования строительных цементных композитов в целях получения оптимальных рецептур приготовления сырьевых смесей // Сборник научных трудов РААСН. 2017. Том 2. С. 85-94. <https://elibrary.ru/item.asp?id=41500761> (Дата обращения: 05.04.2023 г.).
18. Скрамтаев Б.Г. Теория и прочность бетонов. Новые виды бетонов. Харьков: Госнаучтехиздат, 1934. 236 с.
19. ГОСТ 12730.0.-2020 «Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водопроницаемости».
20. Федосов С.В., Акулова М.В. Плазменная металлизация бетонов. М.: АСВ, 2003. 122 с.

УДК 667.635; ГРНТИ 61.39

ОБЕЗВОЖИВАНИЕ СЫПУЧИХ ТЕРМОЛАБИЛЬНЫХ ПОЛУПРОДУКТОВ ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ

К.В. Брянкин, М.Ю. Субочева, А.К. Брянкина

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация, Тамбов, bryankinkv.tmb@gmail.com*

Аннотация. Исследованы конвективный и кондуктивный методы сушки сыпучих полупродуктов органических красителей: в вакуум-гребковой, вальце-ленточной сушилке и в виброкипящем слое, и представлена их сравнительная характеристика. Определены кинетические характеристики процесса сушки в виброаэрокипящем слое. Оценено влияние термолабильных свойств продуктов на выбор метода их сушки. Представлены результаты сравнительного анализа полученных данных экспериментальных исследований с данными, полученными другими авторами. Рассмотрены физическая и математическая модели процесса движения частиц сыпучих материалов на поверхности вибрирующей газораспределительной решетки. Предложен обобщенный алгоритм расчета аппаратов с виброкипящим слоем. *Ключевые слова:* термическая чувствительность, сушка, виброкипящий слой, кинетика процесса сушки, алгоритм расчета.

DEHYDRATION OF BULK THERMOLABILE SEMI-PRODUCTS OF ORGANIC DYES

K.V. Bryankin, M.Yu. Subocheva, A.K. Bryankina

*Tambov State Technical University,
Russian Federation, Tambov, bryankinkv.tmb@gmail.com*

The summary. Convective and conductive methods of drying bulk semi-products of organic dyes have been studied: in vacuum-raking, roller-belt dryers and in a vibrating fluidized bed, and their comparative characteristics are presented. The kinetic characteristics of the drying process in a vibro-aerofluidized bed have been determined. The influence of the thermolabile properties of products on the choice of drying method was assessed. The results of a comparative analysis of the experimental data obtained with data obtained by other authors are presented. Physical and mathematical models of the process of movement of particles of bulk materials on the surface of a vibrating gas distribution grid are considered. A generalized algorithm for calculating devices with a vibrofluidized bed is proposed.

Keywords: thermal sensitivity, drying, vibrating fluidized bed, kinetics of the drying process, calculation algorithm.

При производстве выпускных форм большинства дисперсных продуктов и полупродуктов органических красителей приходится обезвоживать их до низкой конечной влажности. Это обусловлено требованиями мировых стандартов на эти красители.

Сушка таких продуктов осложняется тем, что в основной своей массе, они являются мелкодисперсными, причем неоднородными по своему гранулометрическому составу. Кроме того, длительное ведение процесса сушки, даже при невысокой температуре, приводит к активизации процессов окисления и осмоления целевого вещества, что, в конечном итоге, включает получение продукции с высокой концентрацией. Так, применение методов сушки, традиционно используемых в химической промышленности: в вальце - ленточной (СВЛ) и вакуум-гребковой (ВГС) сушилке - не позволяет получить высокую концентрацию продукта. Например, при сушке пара-толил-3-метил-5-пиразолона (ПТМП) в ВГС процесс продолжается около 96 часов, максимально достигаемая при этом концентрация составляет около 98 %; при сушке анилида ацетоуксусной кислоты (АУК) в ВГС процесс идет порядка 8÷10 часов, концентрация продукта достигает 94÷95 %, в то время как необходимо получать продукт с концентрацией не менее 99 %.

Обеспечить необходимую концентрацию целевого продукта возможно при значительном сокращении времени процесса с использованием методов сушки с активным гидродинамическим режимом (сушкой во взвешенном состоянии).

С целью получения кинетических характеристик процесса сушки проводился эксперимент с использованием лабораторных аппаратов кипящего и виброкипящего слоя.

Анилид АУК и ПТМП представляют собой легкосыпучие мелкодисперсные продукты со средним размером частиц 0,4 мм и 0,35 мм, соответственно, с плотностью 850 кг/м³. Возможность применения аппаратов взвешенного слоя обусловлена также невысокой начальной влажностью продуктов ($\approx 17\%$ для анилида АУК и 25÷30 % для ПТМП).

Экспериментальные кривые 1 и 3 (рис. 1) были получены при сушке ПТМП и АУК в кипящем слое, при скорости воздуха, соответствующей теоретической скорости начала псевдооживления. Кривые 2 и 4 (рис. 1) соответствуют процессу сушки этих продуктов при той же скорости газа, но при наложении механических вибраций с параметрами: амплитуда - 3 мм, частота колебаний - 15 Гц.

Сопоставление кинетических закономерностей процесса сушки зернистых продуктов в производстве органических красителей, полученных нами при сушке анилида ацетоуксусной кислоты (АУК) и пара-толил-3-метил-5-пиразолона (ПТМП) дало возможность сделать вывод, что при скорости газа меньшей или равной теоретической скорости начала псевдооживления, сушка в виброкипящем слое идет интенсивнее.

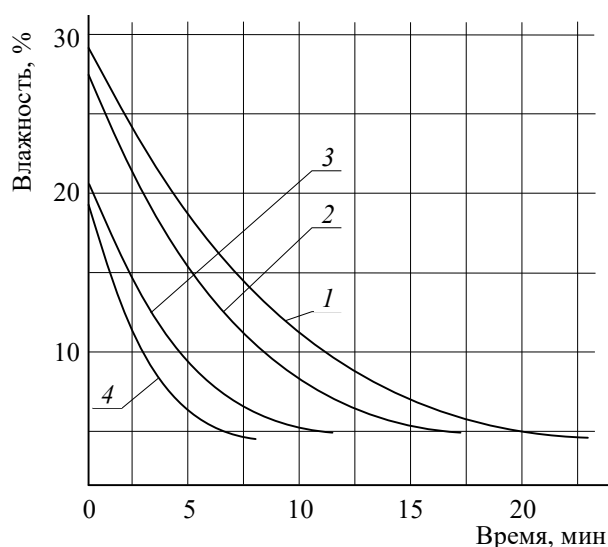


Рис. 1. Кинетические кривые процесса сушки:

- 1 – пара-толил-3-метил-5-пиразолона в псевдооживленном слое;
- 2 – пара-толил-3-метил-5-пиразолона в виброкипящем слое;
- 3 – анилида ацетоуксусной кислоты в псевдооживленном слое;
- 4 – анилида ацетоуксусной кислоты в виброкипящем слое

В подтверждение полученных нами результатов проводился сравнительный анализ данных, полученных другими авторами [1], [3].

Ускорение процесса сушки в виброкипящем слое по сравнению с сушкой в неподвижных слоях экспериментально и теоретически доказано в работах авторов [1].

В виброкипящем слое наряду с ускорением процесса внешнего тепло- и массообмена частиц со средой, наблюдается заметное ускорение и внутреннего переноса тепла и массы.

Ускорение миграции влаги внутри твердой фазы происходит в результате действия инерционных сил и возникающих импульсов разрежения газовой фазы слоя.

При сушке материалов дополнительные перемещения столбиков жидкости из центра к периферии частиц способствуют поступлению влаги в зону наиболее ее активного испарения. При обратном движении «остатков» жидкости внутрь частиц проникает паровоздушная смесь, способствуя прогреву твердой фазы и углублению зоны испарения [1].

Изучение механизма тепло- и массопереноса в твердой фазе, в условиях виброкипящего слоя позволит полнее выявить и сформулировать законы миграции жидкости в материале, рассчитать оптимальный режим технологического процесса.

Ускорение процесса сушки при наложении механических вибраций на слой материала, находящегося в состоянии неустойчивого псевдооживления (скорость газа равна теоретической скорости начала псевдооживления) обеспечивается, по нашему мнению, более организованной структурой слоя, лучшим перемешиванием материала.

Наряду с исследованием кинетики процесса сушки таких продуктов как анилид АУК и ПТМТ необходимо решить вопросы по определению скорости перемещения слоя материала в аппарате в зависимости от скорости продуваемого воздуха, параметров вибрации (амплитуды и частоты колебаний), углов наклона направления колебаний к решетке и решетки к горизонту.

В. Кроллем [1] была предложена феноменологическая модель, где слой материала рассматривается как поршень с вертикальным отверстием. В этой модели не учитывается продувка газа через слой и возможность применения ее для исследований ограничена.

Для математического описания движения сыпучего материала при плоском поступательном движении вибрационного аппарата предлагается применение уравнений Навье-Стокса [5].

Наиболее известно решение задачи виброперемещения, основанное на сведении данной проблемы к решению задачи взаимодействия вибрирующей плоскости с сыпучим материалом и средой [1]-[3].

Для частицы материала массой m и диаметром d , находящейся на перфорированной решетке, через которую продувают воздух, совершающей гармонические колебания по закону $S = A \sin(\omega t)$ ее движение в системе координат, связанной с решеткой (рис. 2), описывается уравнениями (1), (2):

$$m\ddot{x} = mA\omega^2 \cos\beta \sin\omega t + mg \sin\alpha - F_{\text{тр}} + F_{\text{сопр}} \cos\varphi, \quad (1)$$

$$m\ddot{y} = mA\omega^2 \sin\beta \sin\omega t - mg \cos\alpha + P_{\text{г/д}} + N - F_{\text{сопр}} \sin\varphi, \quad (2)$$

где $P_{\text{г/д}}$ – гидродинамическая сила потока, действующая на частицу;

$F_{\text{тр}}$ – сила трения частиц о решетку;

$F_{\text{сопр}}$ – сила сопротивления, учитывающая влияние «присоединенной массы» и сопротивление внутреннего трения материала;

φ – угол наклона результирующей относительно лотка.

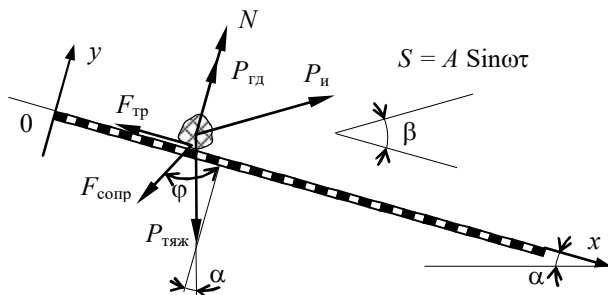


Рис. 2. Схема действия сил на частицу при вибрации

Аналитическое определение времени отрыва частицы от вибрирующей решетки в идеализированных условиях изложено в работе [1]:

$$\tau_{\text{отр}} = \frac{1}{\omega} \left[\arcsin \left(\frac{g \cos \alpha + \frac{F_{\text{сопр}} \sin \varphi}{m} - \frac{P_{\text{гд}}}{m}}{A \omega^2 \sin \beta} \right) \right]. \quad (3)$$

Для частиц в слое материала $F_{\text{сопр}}$ находится в сложной зависимости от амплитуды и частоты колебаний, диаметра и формы частиц, высоты и пористости слоя. Полностью их учесть по имеющимся в настоящее время экспериментальным данным практически невозможно.

Нами для математического описания движения частицы после отрыва ее от лотка (рис. 2) было сделано допущение, что сила сопротивления движению частицы в виброкипящем слое пропорциональна ее скорости, аналогично движению твердого тела в вязкой жидкости (закон Стокса):

$$R = 3\pi\mu_{\text{сл}} dv, \quad (4)$$

где $\mu_{\text{сл}} = f(A, \omega, U, H_{\text{сл}}, d)$ – сложная функция вязкости виброкипящего слоя в зависимости от параметров вибрации, скорости газа, высоты слоя и диаметра частиц.

Тогда уравнения движения частицы относительно лотка, после отрыва от него, запишутся в виде:

$$m\ddot{x} = mg \sin \alpha - 3\pi\mu dv_x, \quad (5)$$

$$m\ddot{y} = P_{\text{гд}} - mg \cos \alpha - 3\pi\mu dv_y. \quad (6)$$

Для единичной частички материала среднее время пребывания в аппарате можно определить как:

$$t_{\text{ср}} = \frac{L}{V_i}, \quad (7)$$

где L – длина аппарата;

V_i – скорость перемещения i -ой частицы, определяемое из соотношения:

$$V_i = \frac{S_i}{t_i}, \quad (8)$$

где t_i – время движения частицы до возвращения на лоток, которое можно найти из уравнения (5);

S_i – перемещение частицы вдоль направления лотка за время t_i определяется из уравнения (6).

С использованием уравнений (5)-(6), (1)-(2) нами предлагается следующий алгоритм расчета виброкипящего слоя, позволяющий рассчитать конструктивные параметры, гидродинамические характеристики и время проведения процесса.

1) на основе уравнений виброперемещений одной частицы с определенными диаметром и массой определяется скорость перемещения по лотку i -ой частицы V_i ;

2) по известной плотности распределения по размерам частиц строится плотность распределения по скоростям перемещения по лотку: $\varphi(d) \rightarrow \varphi(V)$;

3) на основе $\varphi(V)$ определяется средняя скорость перемещения материала по лотку $V_{\text{ср}}$;

4) задается (в первом приближении) время сушки (среднее время пребывания) $\tau_{\text{мо}}$;

5) Определяется длина аппарата (лотка): $L = V_{\text{ср}} \tau_{\text{мо}}$;

6) на основе $\varphi(V)$ и L определяется $b_n(\tau)$ – функция плотности распределения по времени пребывания частиц в аппарате;

7) из $b_n(\tau)$ и τ_{mo} определяется параметр n (целое число) ячеечной модели смешения - число аппаратов (последовательно соединенных), в которых осуществляется режим идеального перемешивания;

8) производится последовательный расчет потерь влаги из материала в каждой ячейке. На выходе определяется конечная влажность продукта $W_{кон}$.

9) если $W_{кон}$ больше $W_{кон}$ заданного, то необходимо увеличить время пребывания материала в аппарате: $\tau_{m1} = \tau_{mo} + \Delta\tau_m$;

10) расчет повторяется до достижения необходимой точности.

Проводились экспериментальные исследования процесса сушки анилида ацетоуксусной кислоты и пара-толил-3-метил-5-пиразолона на наклонном перфорированном лотке длиной 1200 мм и шириной 500 мм, с продувкой воздухом при температуре 35 °С (рис. 1). При заданных скорости подачи материала, скорости воздуха и параметрах вибрации определялась конечная влажность материала на выходе из сушилки. Результаты экспериментов хорошо согласуются с проведенными расчетами, а также результатами, полученными в работе других авторов [4].

Таким образом, в результате проведенной работы показана возможность применения метода сушки в виброкипящем слое для термолабильных сыпучих полупродуктов органических красителей. Предлагается обобщенный алгоритм расчета виброкипящего слоя, позволяющий рассчитать конструктивные параметры сушилки, гидродинамические характеристики и время проведения процесса.

Библиографический список

1. Членов, В.А. Виброкипящий слой / В.А. Членов, Н.В. Михайлов. – М.: Наука, 1972. – 340 с.
2. Леонтьева, А.И. Моделирование и расчет процесса сушки термолабильных материалов в виброаэрокипящем слое / А.И. Леонтьева, К.В. Брянкин, А.А. Дегтярев, В.С. Орехов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2011. – 80 с.
3. Брянкин, К.В. Подходы к описанию процесса сушки термолабильных материалов / К.В. Брянкин, А.А. Дегтярев // Химическая промышленность сегодня. – 2011. – № 4. – С. 41-43.
4. Borde I., Dukhovny M. and Elperin T. Heat and mass transfer in moving vibrofluidized bed // The 2nd Israel conference for conveying and handling of particulate solids / Jerusalem, 1997, - P. 12.39
5. Леонтьева, А.И. Оптимизация технологических режимов обезвоживания органических пигментов и красителей с учетом их термоустойчивости / А.И. Леонтьева, М.Ю. Субочева, К.В. Брянкин, А.Б. Рудакова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2019. – Т. 25. № 4. – С.603-611.

УДК 678.028: 53.08; ГРНТИ 61.61.81

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ И ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТВЕРЖДЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.С. Дмитриев^{1,2}, А.А. Барсуков¹, С.О. Дмитриев¹

¹Тамбовский государственный технический университет,
Россия, Тамбов, phys@tstu.ru,

²Российская академия естественных наук

Аннотация. Рассмотрен метод расчета кинетических характеристик отверждения полимерных композиционных материалов. Показаны графические зависимости мощности тепловыделений и кинетических характеристик. Получены оценки среднеквадратичных относительных погрешностей и проведен анализ источников погрешностей кинетических характеристик отверждения полимерных композитов. В рамках планирования эксперимента проведены оценки оптимальных условий проведения эксперимента для определения кинетических характеристик отверждения полимерных композиционных материалов.

Ключевые слова: кинетические характеристики, математические модели, оценки погрешностей, полимерные композиционные материалы.

STUDYING ERROR AND PLANNING AN EXPERIMENT TO DETERMINE THE KINETIC CHARACTERISTICS OF CURING POLYMER COMPOSITES

O.S. Dmitriev^{1,2}, A.A. Barsukov¹, S.O. Dmitriev¹

¹Tambov State Technical University, Russia, Tambov, phys@tstu.ru,

²Russian Academy of Natural Sciences

The summary. A method for calculating the kinetic characteristics of the curing of polymer composite materials is considered. Graphic dependences of the rate of evolved heat and kinetic characteristics are shown. Estimates of the root-mean-square relative errors were obtained and an analysis of the sources of errors in the kinetic characteristics of the polymer composites curing was carried out. As part of the experimental planning, the optimal experimental conditions were assessed to determine the kinetic characteristics of the curing of polymer composite materials.

Keywords: kinetic characteristics, mathematical models, error estimates, polymer composites.

Эффективность производства и качественные показатели изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) определяется производительностью оборудования и оптимальностью технологического процесса [1]. Современный подход расчета оптимального технологического процесса основан на использовании математических моделей, которые включают в себя уравнения теплопереноса и химической кинетики процесса отверждения [2, 3]. Параметрами модели являются теплофизические и кинетические характеристики [4, 5]. Решая уравнение теплопереноса с соответствующими теплофизическими характеристиками, математическая модель позволяет получать распределения температуры по толщине ПКМ. Для решения уравнения химической кинетики требуются соответствующие характеристики: кинетическая функция отверждения $\varphi(\beta)$ и энергия активации $E(\beta)$ процесса отверждения.

Модель кинетики процесса отверждения термореактивных полимерных композиционных материалов имеет вид уравнения Аррениуса:

$$\frac{d\beta}{dt} = \varphi(\beta) \exp\left(-\frac{E(\beta)}{R \cdot T(t)}\right), \quad \beta \equiv \beta(t), \quad 0 < t \leq t_k. \quad (1)$$

Представленная модель химической кинетики связана с тепловым процессом и зависит от температуры T , поэтому характеристики $\varphi(\beta)$ и $E(\beta)$, могут быть получены на основе экспериментально измеренных мощности тепловыделений W и теплового эффекта Q на образцах аналогичных по структуре и методу укладки промышленным изделиям.

Скорость протекания процесса отверждения связана с мощностью тепловыделений и полным тепловым эффектом следующим образом:

$$\frac{d\beta}{dt} = \frac{W(t)}{Q_n}, \quad 0 \leq \beta \leq 1, \quad (2)$$

где $\beta(t) = \frac{Q(t)}{Q_n}$ – степень отверждения;

$Q(t) = \int_0^t W(t) dt$ – тепловой эффект отверждения;

$Q_n = Q(t_n)$ – полный тепловой эффект;

t_n – время окончания процесса отверждения.

Прологарифмировав уравнение (1), с учетом временных зависимостей $\beta(t)$ и $T_{cp}(t)$ двух различных по скорости нагрева экспериментов, составим систему двух линейных ал-

гебраических уравнений относительно неизвестных $\ln\varphi(\beta)$ и $E(\beta)$, решая которую, находим кинетические характеристики процесса отверждения:

$$E(\beta) = R \frac{(\ln \beta'_2 - \ln \beta'_1) T_{cp1}(t(\beta)) T_{cp2}(t(\beta))}{T_{cp2}(t(\beta)) - T_{cp1}(t(\beta))}, \quad (3)$$

$$\varphi(\beta) = \exp \left[\frac{T_{cp2}(t(\beta)) \ln \beta'_2 - T_{cp1}(t(\beta)) \ln \beta'_1}{T_{cp2}(t(\beta)) - T_{cp1}(t(\beta))} \right], \quad (4)$$

где $\beta' \equiv \frac{d\beta}{dt}$ – скорость отверждения;

$T_{cp1}(t(\beta)), T_{cp2}(t(\beta))$ – среднеинтегральные температуры образцов при отверждении;

R – универсальная газовая постоянная.

Для получения исходной информации для расчета кинетических характеристик производится несколько экспериментов по отверждению нескольких образцов ПКМ с различными скоростями нагрева. Графическое представление мощности тепловыделения четырех экспериментов, выполненных при разных скоростях нагрева с помощью информационно-измерительной системы процесса отверждения ПКМ [6], показано на рисунке 1.

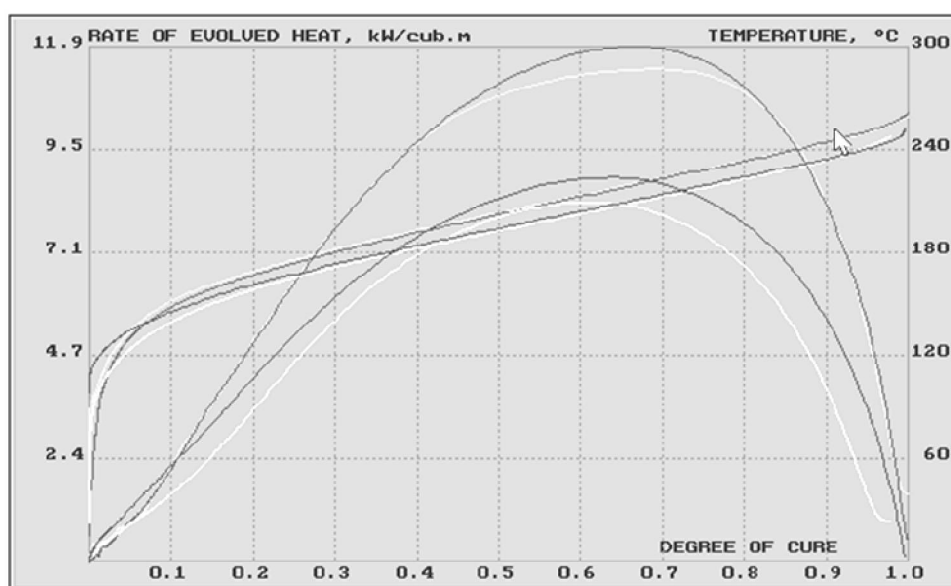


Рис. 1. Мощность тепловыделений W и температура T в зависимости от степени отверждения β

По результатам нескольких экспериментов определения мощности тепловыделений W , показанных на рис. 1 рассчитываются кинетические характеристики $E(\beta)$ и $\varphi(\beta)$, вид которых в зависимости от степени отверждения β представлен на рисунке 2.

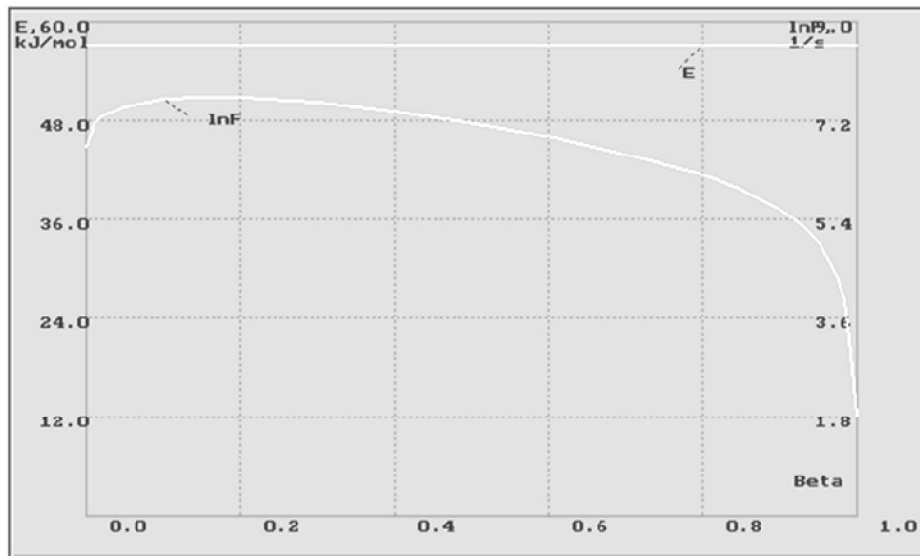


Рис. 2. Кинетические характеристики процесса отверждения ПКМ

Энергия активации процесса отверждения для большинства термореактивных материалов имеет зависимость от степени отверждения и определяется как функция $E(\beta)$. Для некоторых материалов в виду слабой зависимости от степени отверждения, находящейся в пределах погрешности измерения, энергия активации определяется как константа E . Кинетическая функция $\phi(\beta)$ в процессе отверждения изменяется на несколько порядков, например, с 10^{10} до 10^{-2} с^{-1} и поэтому на графике представляется в полулогарифмических координатах, как $\ln\phi(\beta)$.

На основе опыта исследований и анализа рисунка 2 видим, что функция $\phi(\beta)$ вычисляется с приемлемой погрешностью в пределах β от 0,2 до 0,9 и имеет большие погрешности и разброс на краях в пределах β от 0 до 0,2 и от 0,9 до 1. Это объясняется тем, что расчетные формулы (3), (4) для определения кинетических характеристик основаны на использовании двух температурно-временных режимов отверждения, а разность температур, как видим на рис. 1 и входящая в формулы расчета, в реальных экспериментах находится в пределах 3...10 К.

Поэтому рассмотрим погрешности определения $\phi(\beta)$ и $E(\beta)$ как косвенных измерений. На основе расчетных формул (3), (4) с применением методики теории погрешностей получены формулы для вычисления среднеквадратичных оценок относительных погрешностей δ_E , $\delta_{\ln\phi}$ определения энергии активации E и кинетической функции ϕ в виде:

$$\delta_E = \sqrt{\left(\frac{\Delta W_2}{W_2 \ln \frac{W_2}{W_1}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta W_1}{W_1 \ln \frac{W_2}{W_1}} \right)^2 + \left(\frac{T_1 \Delta T_2}{(T_2 - T_1) T_2} \right)^2 + \left(\frac{T_2 \Delta T_1}{(T_2 - T_1) T_1} \right)^2}, \quad (5)$$

$$\delta_{\ln\phi} = \sqrt{\left(\frac{\Delta W}{W} \right)^2 + \left(\frac{\Delta Q}{Q} \right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{RT} \right)^2 + \left(\frac{E \Delta T}{RT^2} \right)^2} \cdot \left(\ln \frac{W}{Q_n} + \frac{E}{RT} \right)^{-1}, \quad (6)$$

где ΔT , ΔW , ΔQ – абсолютные погрешности, W_1 , W_2 – мощности тепловыделений.

Погрешность определения ϕ по формуле (6) получена для натурального логарифма кинетической функции $\ln\phi$, т.к. кинетическая функция выражает экспоненциальную зависимость скорости химической реакции от степени отверждения β . Кроме того, кинетическая

функция φ получена в результате решения системы линейных уравнений в полулогарифмических координатах. Поэтому при оценке погрешностей определения кинетической функции φ необходимо исследовать влияние погрешностей исходных данных не на саму функцию φ , а на ее натуральный логарифм $\ln \varphi$.

Анализ формул (5), (6) позволяет сделать вывод, что относительная погрешность E существенно зависит от разности температур $T_2 - T_1$ и отношения мощностей тепловыделений W_2/W_1 . Причем этими параметрами можно управлять в процессе экспериментального исследования и планировать эксперименты так, чтобы минимизировать погрешность определения E при фиксированных погрешностях δ_T и δ_W . Поэтому исследуем влияние $T_2 - T_1$ и W_2/W_1 на δ_E раздельно.

График зависимости разности температур $T_2 - T_1$ на частную погрешность δ_{ET} представлен на рис. 3. Анализ графика показывает, что эксперименты для определения энергии активации E необходимо проводить так, чтобы разность температур $T_2 - T_1$ соотношения мощностей тепловыделений W_2 и W_1 к степени отверждения β в экспериментах была не менее 4 К, при которой частная погрешность δ_{ET} составляет 4,2 %.

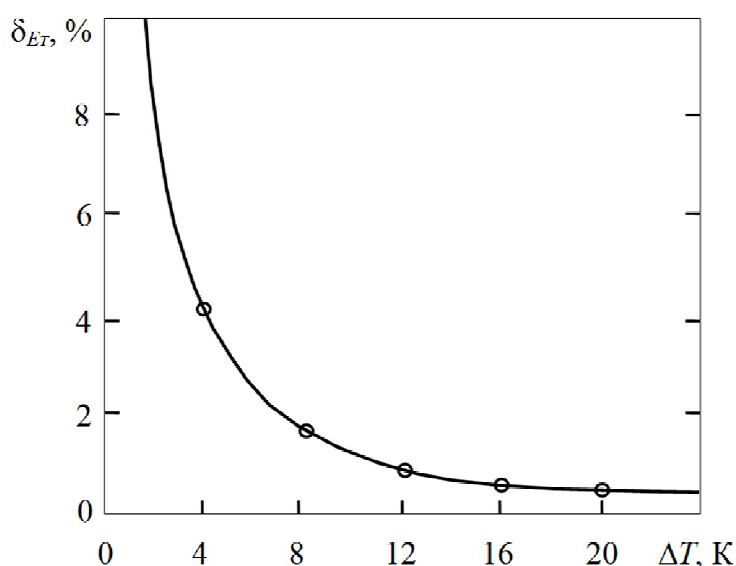


Рис. 3. Частная среднеквадратичная погрешность δ_{ET} в зависимости от разности температур $T_2 - T_1$

Частная δ_{EW} и суммарная δ_E погрешности в зависимости от отношения мощностей тепловыделений W_2/W_1 представлены на рис. 4. В предположении аддитивного и мультипликативного характера абсолютной погрешности ΔW мощности тепловыделений W получены две зависимости частной δ_{EW} и суммарной δ_E погрешности. При аддитивном характере погрешности ΔW погрешность определения энергии активации δ_E не превышает 16,5 % в том случае, если отношение мощностей тепловыделений лежит в пределах $2 < W_2/W_1 < 5$ при $\delta_W = 5\%$ и достигает минимума в 14,8% при $W_2/W_1 = 3$. В то же время, при мультипликативном характере погрешности ΔW , на основе графиков 1, 3 рис. 4, можно сделать вывод, что погрешность определения энергии активации E по формуле (3) не превышает 11% при отношении $W_2/W_1 = 2$ и становится менее 6% при отношении $W_2/W_1 > 5$. Таким образом, учитывая, что при измерениях обычно имеет место комбинация аддитивных и мультипликативных погрешностей со своими весовыми коэффициентами, оптимальной областью отношения мощностей тепловыделений является $2 < W_2/W_1 < 5$, в которой энергия активации E может быть определена с погрешностью не превышающей 7 %.

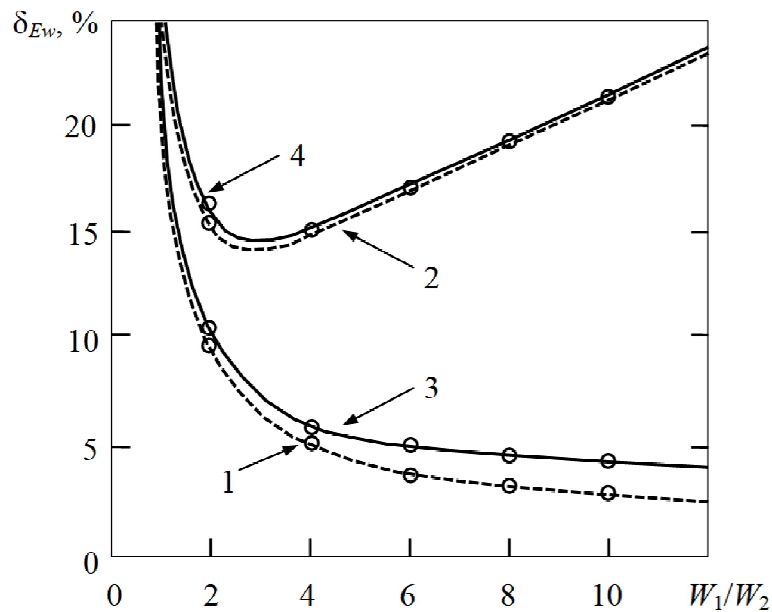


Рис. 4. Частная δ_{Ew} (1, 2) и суммарная погрешности δ_E (3, 4) в зависимости от отношения мощностей тепловыделений W_2/W_1 :
1, 3 – в предположении мультипликативного характера ΔW ;
2, 4 – в предположении аддитивного характера погрешности ΔW

Анализ частных погрешностей кинетической функции φ показал, что основным источником погрешностей является погрешность определения энергии активации δ_E , квадрат которой отличается от других частных погрешностей на два порядка и более. Поэтому относительную погрешность определения кинетической функции $\delta_{\ln\varphi}$ можно считать равной погрешности определения энергии активации δ_E , т.е. $\delta_{\ln\varphi} = \delta_E$ и все расчеты погрешностей определения энергии активации E справедливы и для погрешности определения кинетической функции $\delta_{\ln\varphi}$.

Таким образом, методом среднеквадратичных оценок исследованы погрешности δ_E определения энергии активации E и погрешности $\delta_{\ln\varphi}$ определения кинетической функции φ при отверждении ПКМ, которые в оптимальной области условий проведения экспериментов составляют: $\delta_E = 7\%$ и $\delta_{\ln\varphi} = 7\%$. Эксперименты отверждения двух и более исследуемых образцов для определения кинетических характеристик процесса отверждения ПКМ следует планировать так, чтобы для двух экспериментов разность температур $T_2 - T_1$ соотношения мощностей тепловыделений W_2 и W_1 к степени отверждения β была не менее 4 К, оптимально 4...8 К, а отношения мощностей тепловыделений в этих экспериментах было в пределах $2 < W_2/W_1 < 5$. Это возможно, если отношения скоростей нагрева образцов одинаковой толщины в экспериментах будут отличаться в 2...3 раза и, соответственно, тепловой поток q в экспериментах также будет отличаться в 2...3 раза. С другой стороны, необходимо следить, чтобы время отверждения не было слишком коротким, что может привести к смещению процесса отверждения в область высоких температур и достижения температуры деструкции связующего, и чтобы перепад температуры по толщине образца не нарушал однородность протекания процесса отверждения, т.е. должен не превышать 4...6 К. В этом случае кинетические характеристики процесса отверждения ПКМ будут определены с минимальной средней погрешностью во всем диапазоне β от 0 до 1. Следует отметить, что в пределах β от 0 до 0,2 и от 0,9 до 1 имеет место максимальная погрешность, увеличивающая общую оценку среднеквадратичной погрешности. В средней части изменения β от 0,2 до 0,9 погрешность определения кинетических характеристик существенно ниже полученных оценок. Значительно уменьшить среднюю в диапазоне β от 0 до 1 оценку среднеквадратичной погрешно-

сти определения кинетических характеристик и получить лучшие результаты на краях изменения β удастся при моделировании кинетических характеристик на основе нейронных сетей [5], что позволяет повысить точность расчета оптимальных технологических режимов отверждения изделий из ПКМ.

Библиографический список

1. Каблов, Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // Вестник Российской академии наук. – 2020. – Т. 90, № 4. – С. 331 - 334.
2. Дмитриев, О.С. Влияние режимов термообработки на геометрические и механические характеристики углепластиковых трубчатых элементов / О.С. Дмитриев, И.В. Малков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – Т. 22, № 3. – С. 427 - 438.
3. Dmitriev, O.S. Thermo-chemical analysis of the cure process of thick polymer composite structures for industrial applications / O.S. Dmitriev, A.A. Zhyvenkova, A.O. Dmitriev // Advanced Materials and Technologies. – 2016. – № 2. – P. 53 - 60.
4. Дмитриев, О.С. Численно-аналитическое решение нелинейной коэффициентной обратной задачи теплопроводности / О.С. Дмитриев, А.А. Живенкова // Инженерно-физический журнал. – 2018. – Т. 91, № 6. – С. 1426 - 1437.
5. Дмитриев, О.С. Моделирование кинетических характеристик процесса отверждения полимерных композитов на основе нейронной сети / О.С. Дмитриев, А.А. Барсуков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2021. – Т. 27, № 1. – С. 31 - 41.
6. Дмитриев, О.С. Интегрированная информационно-измерительная система исследования свойств и расчета режимов отверждения полимерных композитов / О.С. Дмитриев, С.В. Мищенко, А.О. Дмитриев, И.С. Касатонов, С.О. Дмитриев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2008. – Т. 14, № 2. – С. 230 - 240.

УДК 621.357.8; ГРНТИ 55.22

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО И КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ТРАВильНОГО РАСТВОРА ТИТАНА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА

Р.В. Бекташев, Е.В. Воробьева, Л.И. Лобанова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, bektashev99@mail.ru., vorobeva-70@bk.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются составы травильные растворы титана, приводится сравнительный анализ растворов травления.

Ключевые слова: травильные растворы, травление титана, гравиметрический метод.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF QUALITATIVE AND QUANTITATIVE COMPOSITION OF TITANIUM ETCHING SOLUTION ON THE EFFICIENCY OF THE PROCESS

R.V. Bektashev, E.V. Vorobyova; L.I. Lobanova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, bektashev99@mail.ru, vorobeva-70@bk.ru*

Annotation. The paper discusses the compositions of fluorinated etchants, and provides a comparative analysis of etching solutions.

Keywords: etching solutions, etching of titan, gravimetric method.

Титан – металл серебристо-белого цвета, принадлежащий к легким металлам. Он обладает высокой пластичностью, по своему внешнему виду напоминает сталь. Под обычными условиями поверхность титана покрыта тонкой оксидной пленкой, которая служит защитным барьером.

Основные характеристики титана: плотность – 4,50 г/см³, температура плавления – 1668 °С, температура кипения – 3330 °С. Титан обладает парамагнитными свойствами [1].

Одной из особенностей травления титана является необходимость удаления как оксидных отложений, так и газонасыщенных слоев. Процесс травления титана довольно сложен из-за крепкой связи оксидов с металлом, что делает их устойчивыми к агрессивным средам. При удалении оксидов с поверхности титана обычно происходит наводороживание поверхности, что приводит к повышению хрупкости металла.

Поэтому при кислотном травлении титана необходимо соблюдать определенные условия: раствор должен эффективно и равномерно растворять титан, удалять оксидные отложения и газонасыщенные слои с поверхности металла, не вызывая при этом излишнего наводороживания.

В качестве кислотных травителей титана применяют растворы минеральных кислот или их смеси. Травления титана и его сплавов производят в минеральных кислотах (HCl, H₂SO₄, HNO₃, H₃PO₄) при определенных концентрациях и температурах. В фторводородистой кислоте травление титана происходит при комнатной температуре. Растворение титана в неокислительных минеральных кислотах сопровождается выделением водорода, то есть происходит наводороживание поверхности металла. Титан поглощает водород, что приводит к его охрупчиванию. Поэтому необходим травитель, который будет выполнять функцию полирования, но при том не изменять механические свойства титана [2].

Этому условию удовлетворяют кислотные растворы, в которые добавляется фтористые соли такие, как NH₄F и NaF.

Целью данной работы является сравнение травильных растворов титана различного состава.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

- составить растворы травления нескольких разных составов и произвести травление образцов;

- произвести гравиметрический анализ и на его основе сравнить растворы травления.

Для сравнения были составлены растворы следующих составов:

1. Серная кислота в концентрации 7 моль/л и фтористый аммоний в концентрации 0,35 моль/л.

2. Серная кислота в концентрации 7 моль/л и фтористый натрий в концентрации 0,35 моль/л.

3. Азотная кислота в концентрации 7 моль/л и фтористый аммоний в концентрации 0,35 моль/л.

4. Азотная кислота в концентрации 7 моль/л и фтористый натрий в концентрации 0,35 моль/л.

5. Соляная кислота в концентрации 7 моль/л и фтористый аммоний в концентрации 0,35 моль/л.

6. Соляная кислота в концентрации 7 моль/л и фтористый натрий в концентрации 0,35 моль/л.

Каждый из растворов приготовлен в объеме равном 200 мл.

Навески для приготовления травильных растворов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Навески для приготовления растворов

Раствор H ₂ SO ₄ :NH ₄ F	98% серная кислота – 74,8 мл, аммоний фтористый – 2,6 грамма.
Раствор H ₂ SO ₄ :NaF	98% серная кислота – 74,8 мл, натрий фтористый – 2,94 грамма.
Раствор HNO ₃ :NH ₄ F	54% азотная кислота – 122 мл, аммоний фтористый – 2,6 грамма.
Раствор HNO ₃ :NaF	54% азотная кислота – 122 мл, натрий фтористый – 2,94 грамма.
Раствор HCl:NH ₄ F	36% соляная кислота – 120 мл, аммоний фтористый – 2,6 грамма.
Раствор HCl:NaF	36% соляная кислота – 120 мл, натрий фтористый – 2,94 грамма.

В качестве образцов применялись пластины титана размером 60x60x0,55 мм. Вид образцов представлен на рисунке 1.

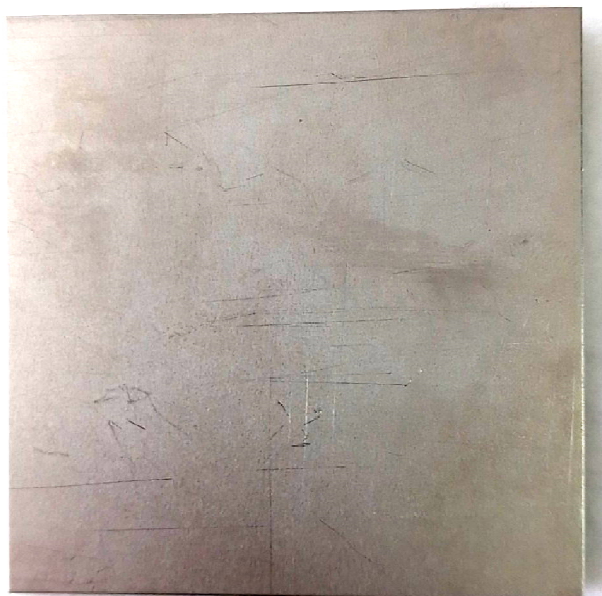


Рис. 1. Образец до травления

Перед травлением производилось обезжиривание образцов в 10%-ом растворе NaOH с последующей промывкой образцов дистиллированной водой. После этого проводилась сушка образцов и замер их массы перед травлением. Далее производилось травление образцов. Время травления составило 10 минут. После травления образцы были промыты дистиллированной водой, высушены и взвешены. Вид образца после травления представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Образец после травления

Сравнение травильных растворов производили с помощью гравиметрического метода по таким характеристикам, как степень травления, скорость травления и высота стравленного слоя [3].

Результаты гравиметрического анализа представлены в таблице 2:

Таблица 2. Сравнение травильных растворов

	H ₂ SO ₄ :NH ₄ F	H ₂ SO ₄ :NaF	HNO ₃ :NH ₄ F	HNO ₃ :NaF	HCl:NH ₄ F	HCl:NaF
Масса образца до травления, г	8,8960	8,9052	8,8756	8,8958	8,9073	8,9030
Масса образца после травления, г	8,5136	8,5936	8,8379	8,8685	8,3193	8,4234
Степень травления, г/см ²	0,0106	0,0087	0,0010	0,0008	0,0163	0,0133
Скорость травления, мкм/мин	2,1798	1,8970	0,2250	0,1662	3,5977	2,9247
Высота стравленного слоя, мкм	23,3970	19,0651	2,3067	1,6703	35,9765	29,3441

Анализ результатов, полученных в ходе исследования, позволяет сделать следующие выводы:

- растворы с фторидом аммония обладают более высокой скоростью травления в сравнении с растворами, содержащими фторид натрия;
- растворы с азотной кислотой обладают низким показателем скорости травления в сравнении с остальными;
- оптимальным по скорости травления является раствор с серной кислотой и фторидом аммония.

Библиографический список

1. Лебедев, В. А. Металлургия титана : учеб.пособие / В. А. Лебедев, Д. А. Рогожников – Екатеринбург : Издательство УМЦ УПИ, 2015. – 194 с..
2. Усова В.В., Плотникова Т.Н., Кушакевич С.А. Травление титана и его сплавов. М. : Металлургия, 2004. – 128 с..
3. Бекташев Р.В., Воробьева Е.В. Особенности травления во фторсодержащих средах // VI Международный научно-технический форум СТНО-2023. Сборник трудов. Том 3. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2023. – С. 58 – 60.

УДК 628.33; ГРНТИ 70.25.17

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД МАЛОРАСТВОРИМЫХ СОЕДИНЕНИЙ ХРОМА (III) МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИИ

Е.Р. Корнешова, А.В. Порхунова, Е.В. Воробьева

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, vorobeva-70@bk.ru*

Аннотация. В работе рассматривается метод очистки сточных вод от малорастворимых соединений хрома (III). Приводятся особенности очистки методом электрофлотации и его использования, а также данные полученные при исследовании.

Ключевые слова: сточные воды, экология, метод очистки, электрофлотационный метод, лабораторные испытания.

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF EXTRACTING POORLY SOLUBLE CHROMIUM (III) COMPOUNDS FROM WASTEWATER BY ELECTROFLOTATION METHOD

E.R. Korneshova, A.V. Porkhunova, E.V. Vorobyova

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, vorobeva-70@bk.ru

The summary. The paper considers a method for wastewater treatment from poorly soluble chromium (III) compounds. The features of purification by electroflotation and its use are given, as well as the data obtained during the study.

Keywords: wastewater, ecology, purification method, electroflotation method, laboratory tests.

В настоящее время всё большие требования предъявляются к очистке сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов, с целью исключить или минимизировать их негативное воздействие на окружающую среду. Требуются новые подходы, позволяющие повысить производительность и эффективность очистных сооружений без увеличения себестоимости очистки стоков.

Одним из применяемых методов очистки сточных вод электрохимического производства, является электрофлотация [1]. Очистка осуществляется за счет удаления загрязнений пузырьками газа, полученного в процессе электролиза. Необходимо отметить, что не всегда удается достичь должной степени очистки из-за присутствующих малорастворимых соединений хрома, обладающих гидрофильными свойствами. Это еще раз подчеркивает актуальность исследования возможности извлечения из сточных вод малорастворимых соединений хрома данным методом и выявления основных факторов, позволяющих повысить эффективность и скорость процесса [2].

Данное исследование велось по нескольким направлениям. Во-первых, изучалось влияние pH среды, ионного состава, присутствия ПАВ и флокулянтов. Во-вторых, определялись условия повышения эффективности процесса извлечения соединений хрома. В-третьих, рассматривались технологические решения интенсификации данного способа очистки.

Лабораторные исследования проводились на образцах, моделирующих промышленные аналоги, на сточных водах предприятия с использованием установок проточного и непроточного типа. Изучалось влияние величины pH, ионного состава, наличия поверхностно-активных веществ и флокулянтов, начального содержания ионов хрома, объемной плотности тока.

На рисунке 1 представлена схема установки для электрофлотации в непроточном режиме. Подготовленный образец воды помещали в колонну и включали источник тока, устанавливали требуемую величину тока, фиксировали время. Для оценки эффективности процесса отбирали пробы воды [3].

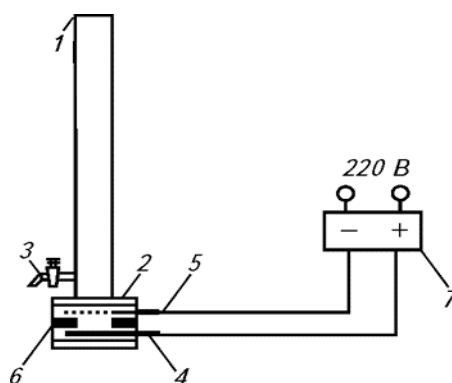


Рис. 1. Схема установки для электрофлотации в непроточном режиме: 1 – колонна, 2 – электродный блок; 3 – вентиль; 4 – анод; 5 – катод; 6 – прокладка; 7 – источник постоянного тока

На рисунке 2 представлена схема установки для электрофлотации в проточном режиме.

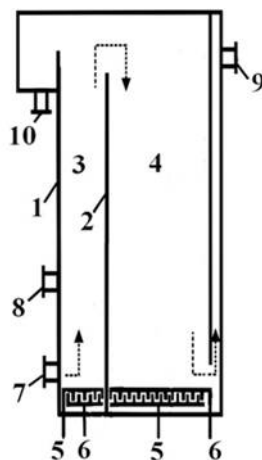


Рис. 2. Схема установки для электрофлотации в проточном режиме
1 – корпус; 2 – перегородка переливная; 3, 4 – флотокамеры; 5 – аноды; 6 – катоды;
7 – патрубок для ввода очищаемой воды; 8 – патрубок для ввода реагента;
9 – патрубок для отвода очищенной воды; 10 – патрубок для отвода флотошлама

Объектами исследования являлись коллоидно-дисперсные системы малорастворимых соединений хрома (III) в водных растворах, в присутствии анионов, катионов, поверхностно-активных веществ, флокулянтов и электролитов.

Для каждого эксперимента готовились образцы стоков. Модельные образцы готовились из стандартных растворов 1% концентрации. Для образования дисперсной фазы в рабочие растворы вводили 1 % раствор NaOH до необходимых значений pH. В таблице 1 представлены вещества, используемые для приготовления стандартных растворов [4].

Дисперсные системы готовили с помощью механической мешалки, со скоростью вращения перемешивающего устройства – 150 об/мин. При появлении частиц дисперсной фазы, скорость снижали до 50 об/мин, вводили флокулянт, продолжая перемешивать еще 5 минут.

Таблица 1. Перечень веществ для приготовления стандартных растворов

Ион металла	Наименование и химическая формула вещества
Хром (III)	Азотнокислый хром (III) 9-водный ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)
Алюминий	Сернокислый алюминий (III) 18-водный ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)
Железо (II)	Сернокислое железо (II) 7-водное ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
Железо (III)	Хлорид железа (III) 6-водный ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
Медь	Сернокислая медь (II) 5-водная ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
Никель	Сернокислый никель (II) 7-водный ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
Цинк	Сернокислый цинк (II) 6-водный ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
Сульфаты	Натрий сернокислый (Na_2SO_4)
Хлориды	Натрий хлористый (NaCl)
Нитраты	Натрий азотнокислый (NaNO_3)

После приготовления экспериментальных образцов исследовалось влияние pH среды на процесс электрофлотации соединений хрома (III). Путем введения кислотно-основных реагентов регулировали pH среды, что позволило извлечь из растворов малорастворимые соединения. Главным условием выбора pH среды в процессе электрофлотационной очистки являлась минимальная растворимость образующихся частиц дисперсной фазы, что способствовало полному извлечению ионов металлов из сточных вод.

Значение pH влияет на поверхностные характеристики частиц дисперсных соединений, включая размер, заряд и процесс электрофлотации, посредством двух основных факторов:

- 1) эффективность взаимодействия частиц с пузырьками электродного газа;
- 2) эффективность процессов коагуляции и образования стабильных флотационных комплексов.

Анализ данных показал, что во многих оксидах и гидроксидах в пределах pH 7-11 все противоионы расположены в адсорбционном слое. В этом случае наблюдается изоэлектрическая область, поскольку ζ -потенциал равен нулю, при данных условиях методом электрофлотации отмечается наиболее полное удаление частиц твердой фазы.

Анализа влияния растворимости, дисперсных характеристик и заряда частиц малорастворимых соединений хрома (III) на их электрофлотационную активность в водных растворах и определение факторов, оказывающих максимальное влияние на эффективность процесса электрофлотационной очистки показал следующие результаты представленные на рисунке 3.

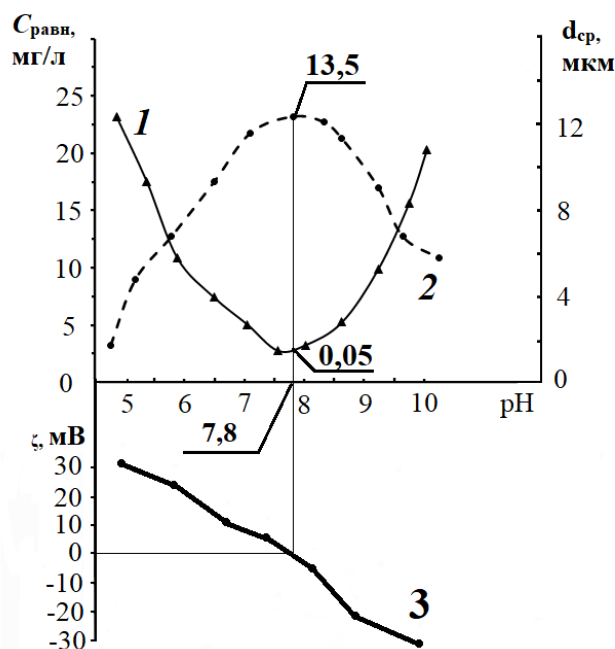


Рис. 3. Влияние pH на равновесную концентрацию ионов Cr^{3+} (1), средний размер (2) и ζ -потенциал (3) дисперсной фазы малорастворимых соединений хрома

На кривой 1 рисунка 3 видно, что при pH 7–8 более 95 % хрома (III) находилось в малорастворимом виде, что позволило проводить эффективную очистку методом электрофлотации. Наименьшая остаточная концентрация была достигнута при pH 7,8 и составила около 0,05 мг/л. При увеличении pH виден резкий скачок увеличения остаточной концентрации хрома (III) в фильтрате.

На кривой 2 рисунка 3 видно, как менялся размер частиц гидроксида хрома в зависимости от pH раствора. Результаты сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Зависимость среднего размера частиц и содержания мелкодисперсной фазы гидроксида хрома (III) от pH раствора

Показатель	pH						
	5	6	7	7,5	8	9	10
$d_{\text{ср}}$, мкм	7	11	13,5	13,5	13	9	5
$d < 10$ мкм, %	88	56	35	34	40	63	70

Из представленных данных в таблице 2 можно сделать вывод, что при повышении pH с 5 до 7,5 происходило увеличение среднего диаметра частиц. Содержание мелкодисперсной фазы с размером частиц менее 10 мкм уменьшалось с 88% до 34%. При повышении pH до 10 значение среднего диаметра уменьшилось до 5 мкм, а содержание мелкодисперсной фазы увеличилось до 70%.

Кривая 3 – зависимости ζ -pH на рисунке 3 пересекает ось абсцисс при pH ~ 7,8, что является изоэлектрической точкой, после которой поверхность частицы перезаряжается и знак заряда меняется с положительного на отрицательный. Это свидетельствует о резком снижении значений электрокинетических потенциалов: при увеличении pH раствора до 10 значение ζ -потенциала снижается до минус 28 мВ.

Таким образом, можно сделать вывод, что pH среды имеет большое значение для образования малорастворимых соединений хрома (III) и их дисперсность. Наиболее полное образование дисперсной фазы малорастворимых соединений хрома (III) отмечается при pH ~ 7,8, при котором ζ -потенциал поверхности частиц близок к нулю, а средний размер составляет 13,5 мкм.

Дальнейшие исследования были направлены на изучение поведения малорастворимых соединений хрома (III) при электрофлотации в зависимости от pH раствора и величины ζ -потенциала. На рисунках 4 и 5 показаны кинетические характеристики во всем диапазоне исследуемых значений pH и ζ -потенциала при $i_{\text{об}} = 0,2$ А/л.

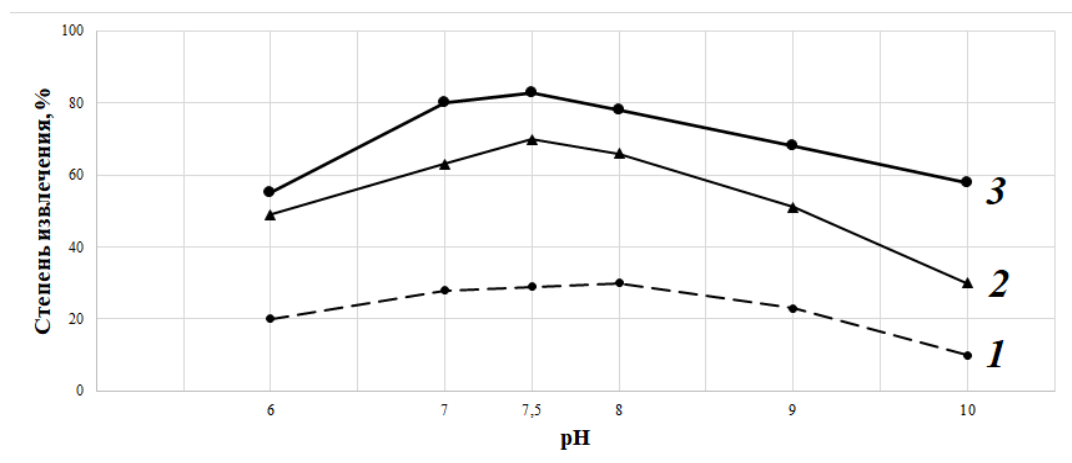


Рис. 4. Зависимость степени извлечения малорастворимых соединений хрома (III) от pH среды при $i_{\text{об}} = 0,2$ А/л и продолжительности процесса: 1 – 5 мин; 2 – 10 мин; 3 – 15 мин.

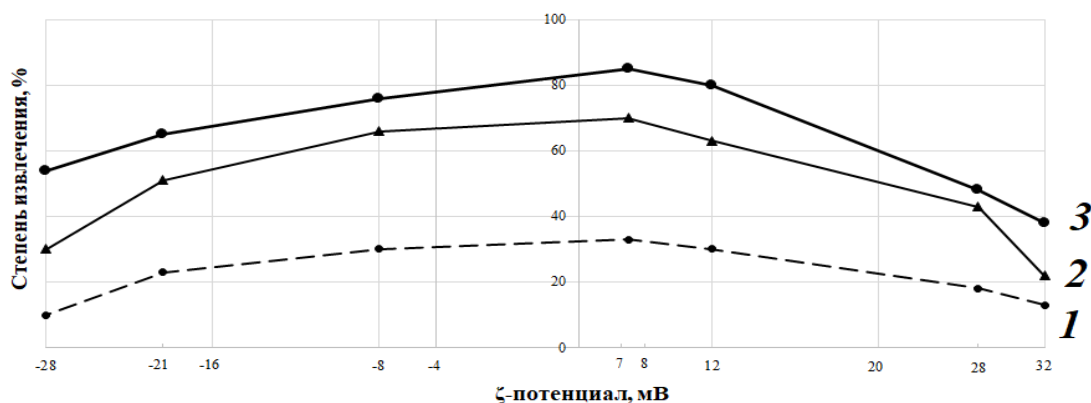


Рис. 5. Зависимость степени извлечения малорастворимых соединений хрома (III) от величины ζ -потенциала при $i_{об} = 0,2$ А/л и продолжительности процесса: 1 – 5 мин; 2 – 10 мин; 3 – 15 мин.

Представим все показатели влияния рН среды на поверхностные характеристики и степень извлечения малорастворимых соединений хрома (III) в соответствии с рисунками 4 и 5 в таблице 3.

Таблица 3. Влияние рН раствора на средний размер, ζ -потенциал и степень извлечения малорастворимых соединений хрома (III)

Показатель	рН					
	6	7	7,5	8	9	10
$d_{ср}$, мкм	11	13,5	13,5	13	9	5
$d < 10$ мкм, %	56	35	34	40	63	70
ζ , мВ	+28	+12	+7	-8	-21	-28
α , % при $\tau_{эф} = 5$ мин	20	28	29	30	23	10
α , % при $\tau_{эф} = 10$ мин	49	63	70	66	51	30
α , % при $\tau_{эф} = 15$ мин	55	80	83	76	65	54

– На основании экспериментальных исследований определены основные факторы повышения эффективности процесса электрофлотации для извлечения частиц малорастворимых соединений хрома (III) из водных растворов, а также степень их влияния.

– Определено влияние рН во взаимосвязи с дисперсностью извлекаемых соединений и технологическими параметрами электрофлотационного процесса.

– Определены оптимальные условия при электрофлотационном извлечении частиц малорастворимых соединений хрома (III) из водных растворов, при рН 7-8 и продолжительности процесса около 15 минут, остаточная концентрация уменьшается, а степень извлечения частиц увеличивается до 83%.

Библиографический список

- Халтурина Т.И. Очистка сточных вод промышленных предприятий. – Красноярск: СФУ, 2014. – 164 с.
- Жилинский, В. В. Электрохимическая очистка сточных вод и водоподготовка. – Минск: БГТУ, 2014. – 85 с.
- Колесников В.А. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий / В.А. Колесников, В.И. Ильин, Ю.И. Капустин и др. // М.: Химия. – 2007. – 304 с.
- Ильин В.И., Перфильева А.В. Очистка сточных вод от соединений хрома (III) с применением электрофлотации. – М.: Издательский центр РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2014. – 104 с.

УДК 004.94; ГРНТИ 28.17.33

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСЧЕТА ТОЛЩИНЫ ОБЕЧАЙКИ В МОДУЛЕ «СТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ» ПРОГРАММЫ T-FLEX

В.В. Коваленко, Н.Ю. Кулавина, Г.А. Шашкина, Е.А. Новикова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Россия, Рязань, xt-kontakt@mail.ru*

Аннотация. В данной работе рассматриваются результаты статического анализа 3D модели цилиндрической обечайки в модуле Анализ программы T-Flex.

Ключевые слова: T-Flex Анализ, метод конечных элементов, статическая нагрузка, толщина стенки обечайки.

SIMULATION CALCULATION OF SHELL THICKNESS IN THE «STATIC ANALYSIS» MODULE OF THE T-FLEX PROGRAM

V.V. Kovalenko, N.U. Kulavina, G.A. Shashkina, E.A. Novikova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, xt-kontakt@mail.ru*

Annotation. This paper discusses the results of static analysis of a 3D cylindrical shell model in the Analysis module of the T-Flex program.

Keywords: T-Flex Analysis, finite element method, static load, shell wall thickness.

В современном мире для успешного развития всех отраслей, связанных с химическими технологиями, необходимы специалисты, обладающие разносторонними знаниями и навыками в использовании возможностей компьютерных программ для решения самых различных химико-технологических задач – математических расчетов, моделирования химико-технологических процессов, создания и модификации схем, чертежей и 3D моделей конструкций аппаратов химической технологии, средствами анализа этих конструкций.

На сегодняшний день существуют средства анализа, которые позволяют использовать для расчетов форму конструкции, полученных с помощью 3D моделирования.

Средства анализа могут использоваться при проведении оценочных расчётов при моделировании поведения конструкции при статических, динамических, тепловых нагрузках [1].

Встроенный модуль **Анализ** программы T-Flex CAD позволяет проводить статический анализ 3D моделей. Расчет поведения 3D модели под действием приложенных к ней постоянных во времени нагрузок позволяет оценить прочность конструкции, определить ее наиболее уязвимые места.

Для цилиндрической обечайки диаметром 1500 мм и длиной 3000 мм из листового проката стали ВстЗпс при рабочем давлении 1,25 Мпа и температуре в аппарате 170°C расчетная толщина стенки обечайки составила 9 мм [2].

3D модель обечайки с заданными размерами, построенная в программе T-Flex, приведена на рисунке 1, а [3]. Материал модели выбирается из встроенных библиотек, которые содержат параметры, участвующие в статических расчетах для каждого материала. Библиотечные параметры могут изменяться с учетом условий задачи. Для создания нового материала, которого нет в библиотеке, необходимо ввести параметры: пределы прочности на разрыв и сжатие, предел текучести, модуль упругости, коэффициент Пуассона, модуль сдвига (рисунок 1, б).

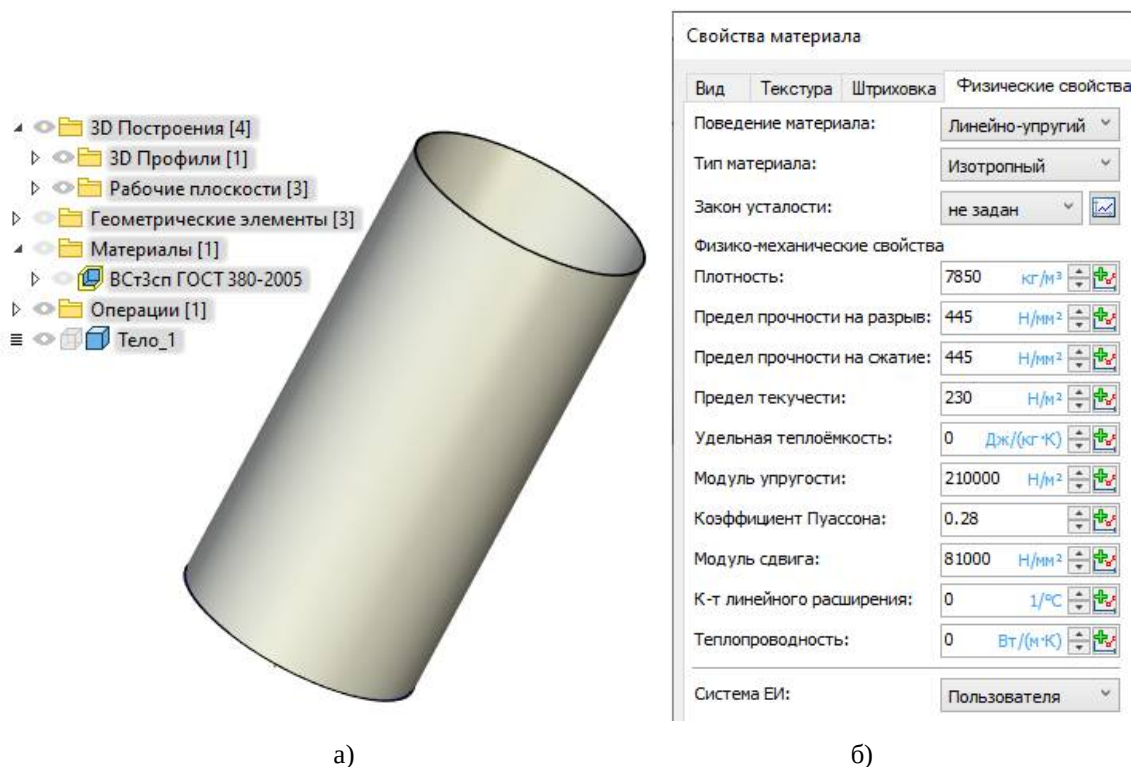


Рис. 1. Присвоение материала 3D модели: а - 3D модель обечайки; б – свойства материала

Для выполнения расчета в закладках ленты программы выбирается **Анализ**. В расчетах используется метод конечных элементов (МКЭ). Суть метода заключается в замене исходной пространственной конструкции сложной формы на дискретную математическую модель, отражающую физическую сущность и свойства исходного изделия. Получение более точного результата зависит от количества конечных элементов. Чем больше количество и меньше размеры конечных элементов, тем меньше погрешность, но, соответственно, увеличивается время расчета [4].

На первом этапе статического анализа выбирается экспресс-расчет и настраивается КЭ сетка, для этого с помощью движка задается степень точности сетки от 0 до 1 (рисунок 2). В данной задаче выбрана 1, которая задает наиболее точную сетку.

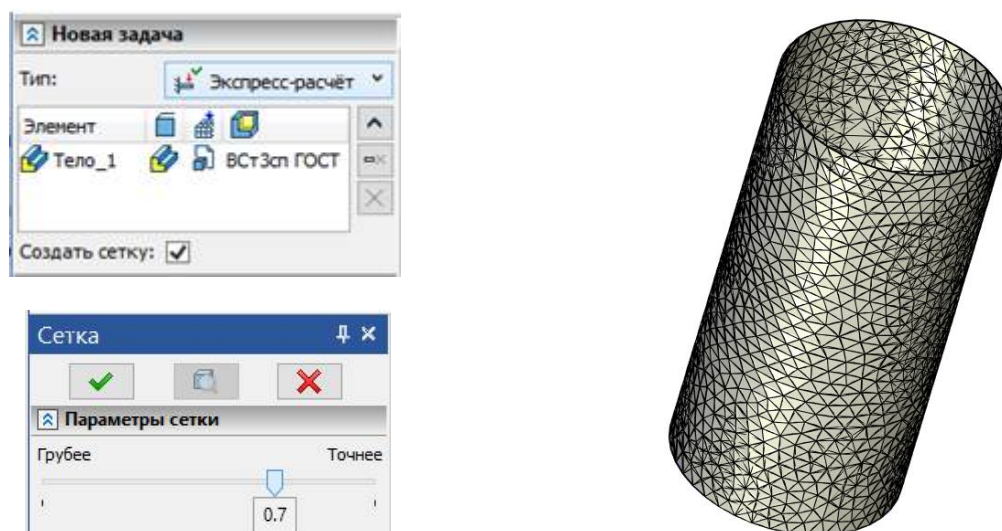


Рис. 2. Создание новой задачи и выбор сетки

Давление 1,25 МПа задается на внутреннюю поверхность обечайки (рисунок 3).

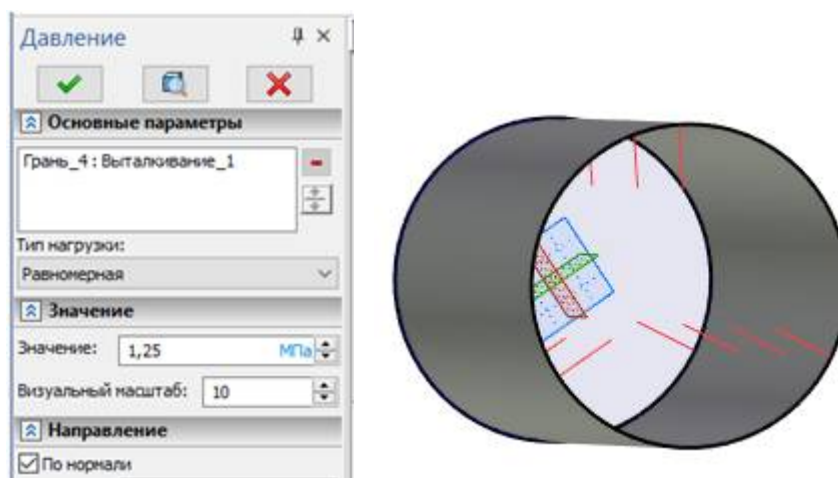


Рис. 3. Создание нагружения

Для закрепления выбраны торцевые грани обечайки. Все необходимые условия для расчета заданы, они отображаются в дереве модели (рисунок 4).

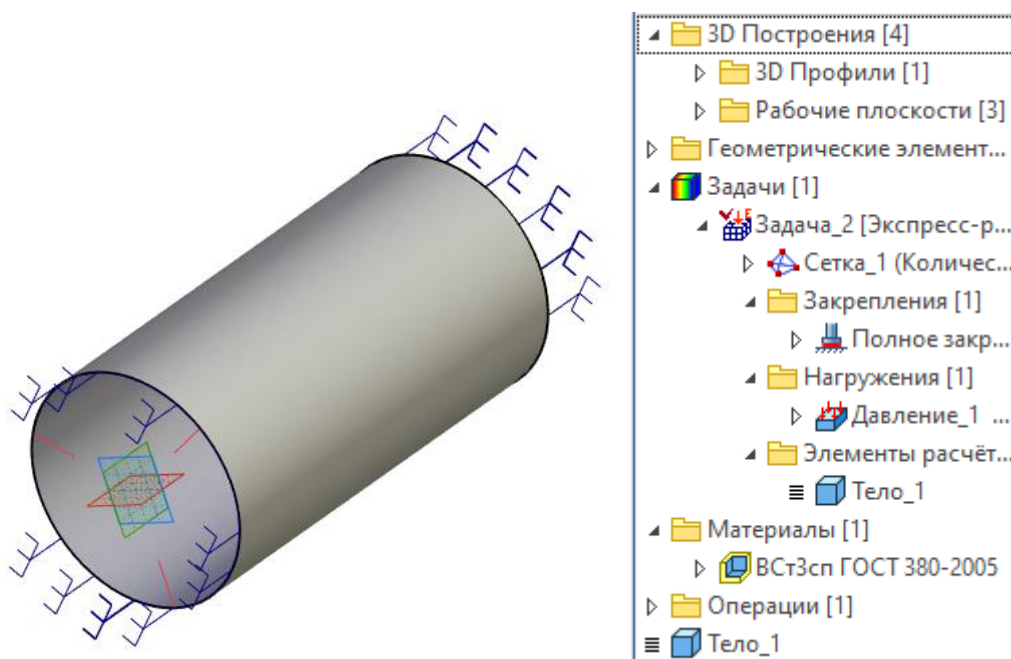


Рис. 4. Создание закреплений, дерево 3D модели

В результате расчетов получают эпюры модуля перемещений и коэффициента запаса по эквивалентным напряжениям. Для модуля перемещений определяется максимальное значение. Распределение значений между нулевым и максимальным показано цветом (рисунок 5).

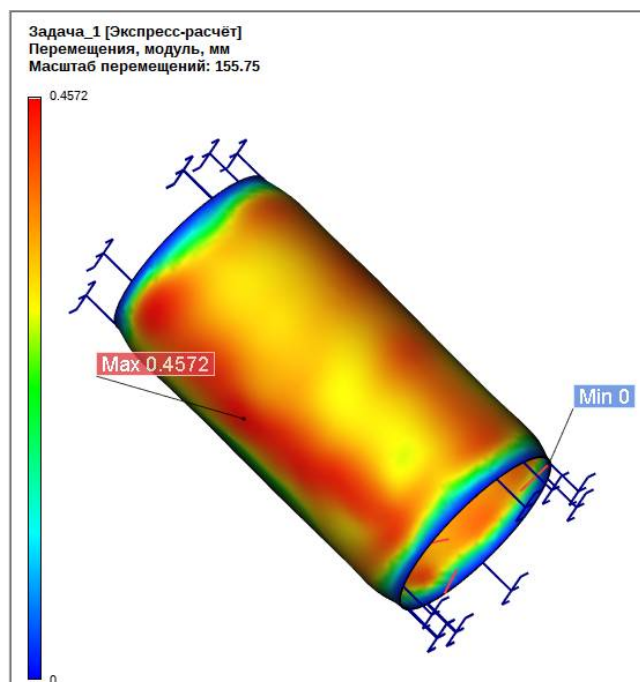


Рис. 5. Модуль перемещений

По цветовой шкале эпюры результата расчета коэффициента запаса по эквивалентным напряжениям можно определить, как распределен запас прочности модели. Минимальный коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям составил 3,826 (рисунок 6).

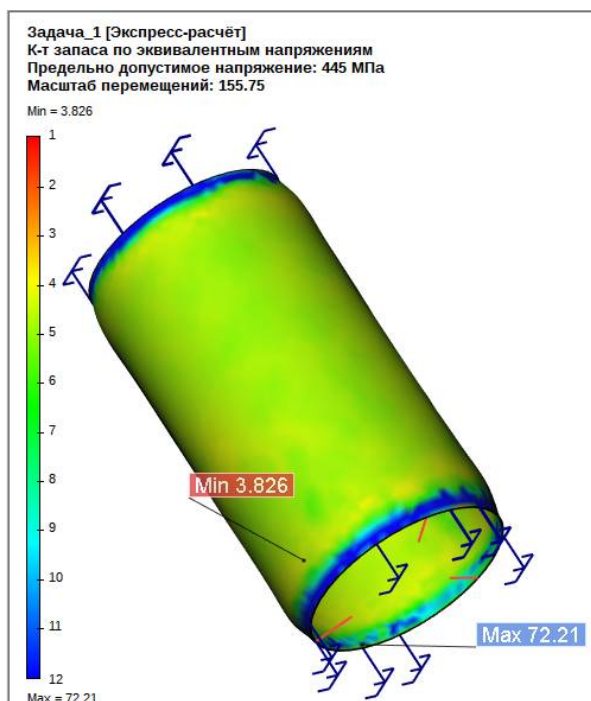


Рис. 6. Результат расчета коэффициента запаса по эквивалентным напряжениям

Для расчетной толщины стенки 9 мм по результатам статического исследования на 3D модели получен запас прочности, равный 3, 826.

При внесении изменений в конструкцию создается новая задача статического анализа. Таких задач для одной конструкции может быть несколько. Материал, сетку, закрепления и нагрузки также можно изменить.

Пример изменения размеров конструкции приведен на рисунке 7. При новых значениях диаметра и высоты подобрана толщина стенки 7 мм, при которой достигнут более чем тройной запас прочности.

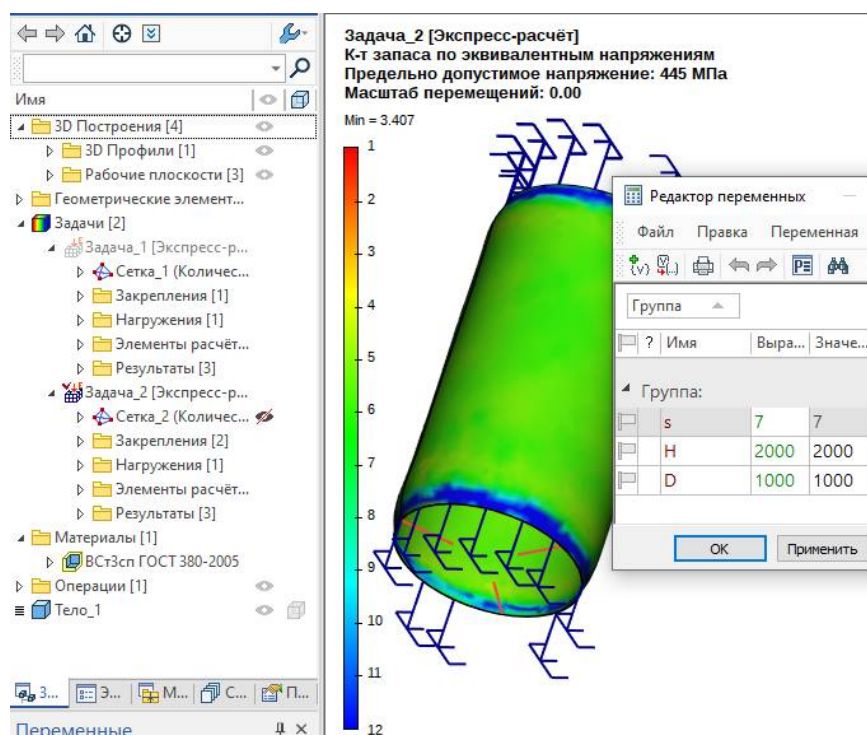


Рис. 7. Новая задача, параметры 3D модели, результаты расчета

Таким образом, модуль анализа позволяет уточнять математические расчеты на 3D модели или наоборот, на модели подбирать необходимый запас прочности для различных значений толщины элементов конструкции и проверять полученный результат с помощью математических методов, сделать выводы о наиболее слабых местах конструкции и еще на этапе проектирования внести исправления в конструкцию для достижения достаточной прочности.

Библиографический список

1. T-FLEX Анализ - конечно-элементные расчёты. Режим доступа: <https://www.tflex.ru/products/raschet/analiz/>.
2. Механический расчет оборудования нефтепереработки: методические указания к практическим занятиям / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: М.В. Лызлова, С.А. Юдаев. Рязань, 2021. 40 с.
3. Основные методы создания параметрических 3D моделей: методические указания к практическим работам / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: Вик.В. Коваленко, Н.Ю. Кулавина, Г.А. Шашкина. - Рязань, 2022. - 16 с.
4. T-FLEX DOCs 10. Информационные технологии в проектировании: методические указания к лабораторным работам / Рязан. гос. радиотех. ун-т; сост.: В.В. Коваленко, Н.Ю. Кулавина, Г.А. Шашкина, В.В. Максимов; под ред. В.Ф. Шевченко. - Рязань, 2009.

УДК 004.94; ГРНТИ 28.17.33

ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОГРАММЕ T-FLEX CAD 2D

Н.Ю. Кулавина, Д.С. Захаров

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Россия, Рязань, xt-kontakt@mail.ru*

Аннотация. В данной работе представлен метод создания графического изображения кожухотрубного теплообменника в программе T-Flex CAD 2D.

Ключевые слова: T-Flex CAD 2D, слои, средство визуализации, чертеж, редактор переменных, массив элементов.

GRAPHICAL REPRESENTATION OF CHEMICAL PROCESSING EQUIPMENT IN THE T-FLEX CAD 2D PROGRAM

N.U. Kulavina, D.S. Zakharov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, xt-kontakt@mail.ru*

Annotation. This paper presents a method for creating a graphical image of a shell-and-tube heat exchanger in the T-Flex CAD 2D program.

Keywords: T-Flex CAD 2D, layers, visualization tool, drawing, variable editor, array of elements.

В зависимости от сложности рассматриваемого объекта химической технологии графическое представление можно рассматривать как источник базового или схематического отображения конструкций или процессов, происходящих в аппаратах химической технологии. Также графическое отображение может служить средством для уточнения и формирования представления о строении отдельных деталей конструкций или тонкостей технологических процессов.

Программа T-Flex CAD 2D обладает достаточно большим набором возможностей для создания любых графических построений и формирования текстовых описаний. В программе можно построить блок-схемы, технологические схемы, схематические изображения устройств в черно – белом или цветном варианте, которые могут быть использованы в презентациях, любых печатных документах (методических указаниях, курсовых и дипломных работах).

Особенностью и огромным преимуществом программы является наличие инструментов параметризации, которые позволяют легко менять размеры отдельных элементов чертежа, их взаимное расположение, цветовое оформление, виды, цвета и размеры шрифта надписей.

Использование слоев позволяет показывать и скрывать отдельные элементы чертежа. Такой прием дает возможность как визуализировать все элементы изображаемого процесса, так и отключать части, которые в данный момент речи или для данной иллюстрации не имеют значения или мешают восприятию главного.

Использование редактора переменных позволяет менять размеры графического изображения без вмешательства в сам чертеж.

Поэтапное создание графического объекта рассматривается на примере создания схематичного изображения устройства и работы кожухотрубного теплообменника в программе T-Flex CAD 2D.

Для упрощения и ускорения процесса создания чертежа используются слои [1]. Изображение разбивается на несколько частей, каждый из которых создается на отдельном слое. При работе с одной частью все не задействованные в данный момент слои можно отключить. На отдельных слоях располагаются корпус аппарата, трубная решетка, перегородки, потоки, линий построения для них, текст. Значок напротив слоя означает, что слой в данный момент является невидимым и все элементы этого слоя на чертеже не видны (рисунок 1).

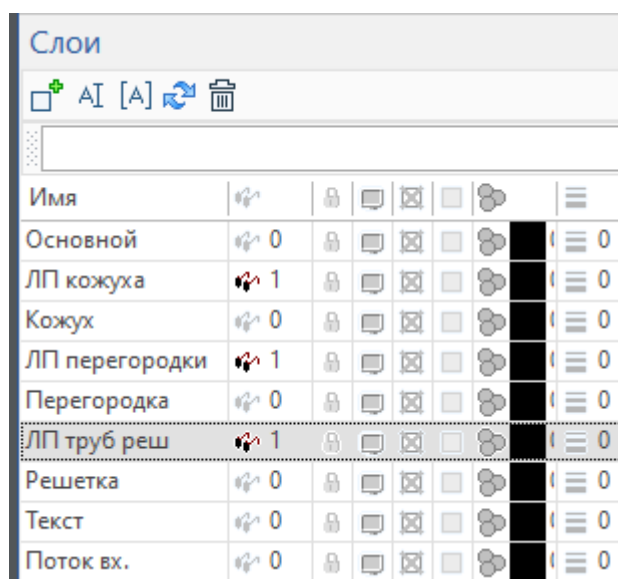


Рис. 1. Окно списка слоев

На основном слое строятся основные линии чертежа, на слое **ЛП кожуха** - каркас из линий построения. Линии построения связываются друг с другом графически и с помощью переменных. При выделении линий построения можно увидеть переменные, численные значения переменных и взаимосвязи линий построения на чертеже, которые указываются стрелкой [2]. Все переменные автоматически заносятся в редактор переменных (рисунок 2).

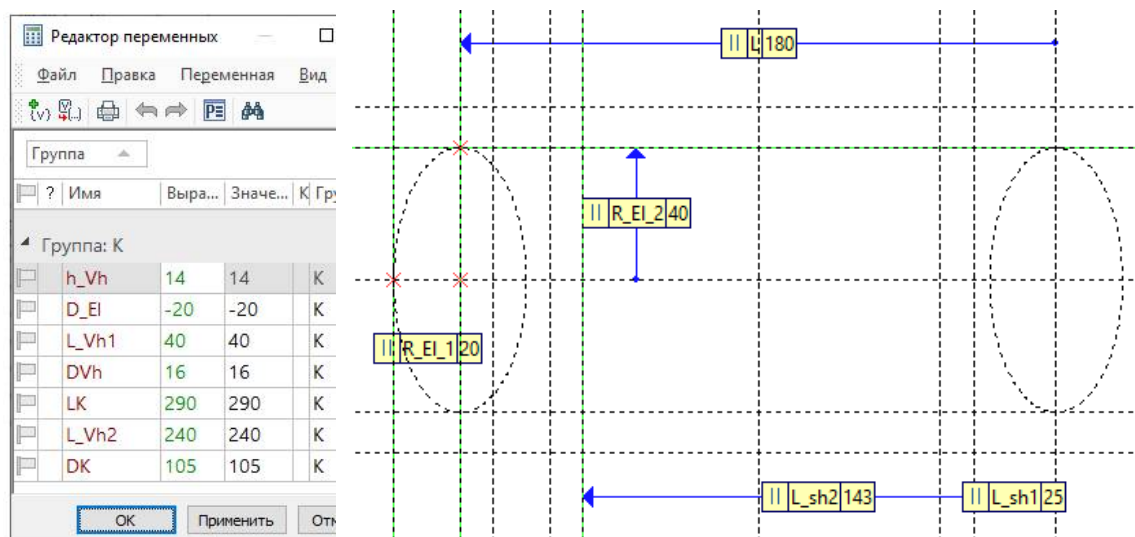


Рис. 2. Редактор переменных, взаимосвязи и переменные линий построения

На слое **Кожух** линиями изображения обводятся очертания корпуса теплообменника. На слое **Текст** размещаются линии – выноски для надписей и сами надписи, для которых в окне параметров задается тип, наклон и размер шрифта.

На рисунке 3 приведен вид кожуха с линиями построения и с выключенным слоем линий построения.

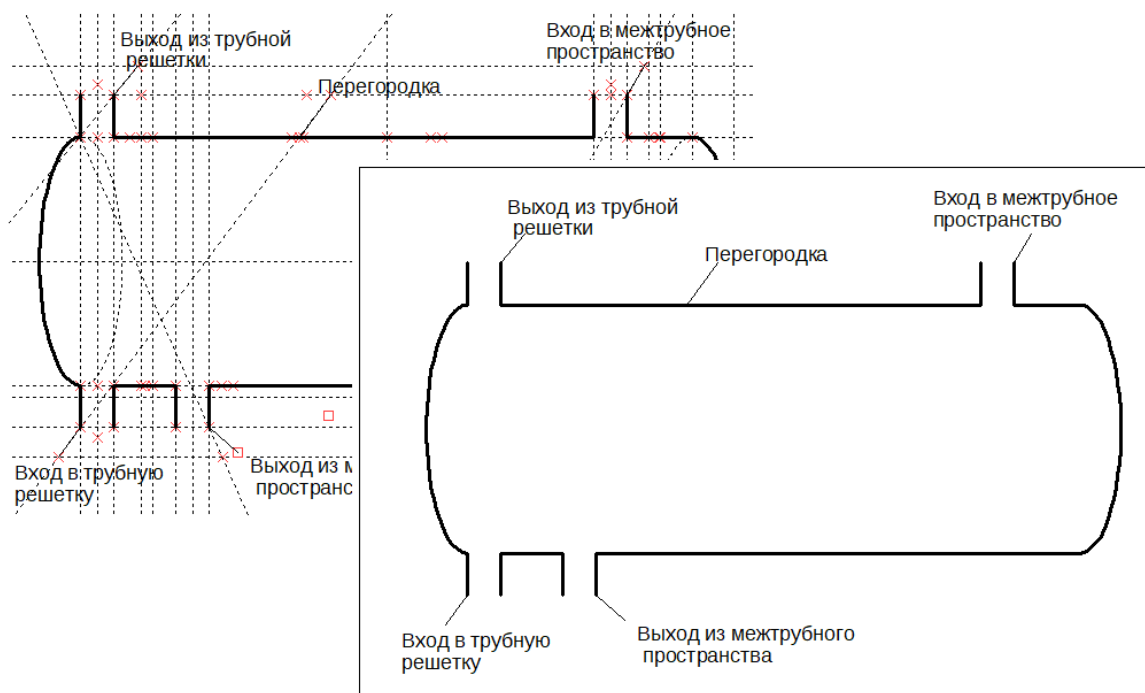


Рис. 3. Чертеж кожуха

На новом слое **ЛП перегородки** создаются линии построения для перегородок и горячего потока. На слое **Перегородки** обводятся линиями изображения элемент перегородки и часть линии горячего потока. В результате применения инструмента *Линейный массив* получается необходимое количество копий элементов (рисунок 4) [2].

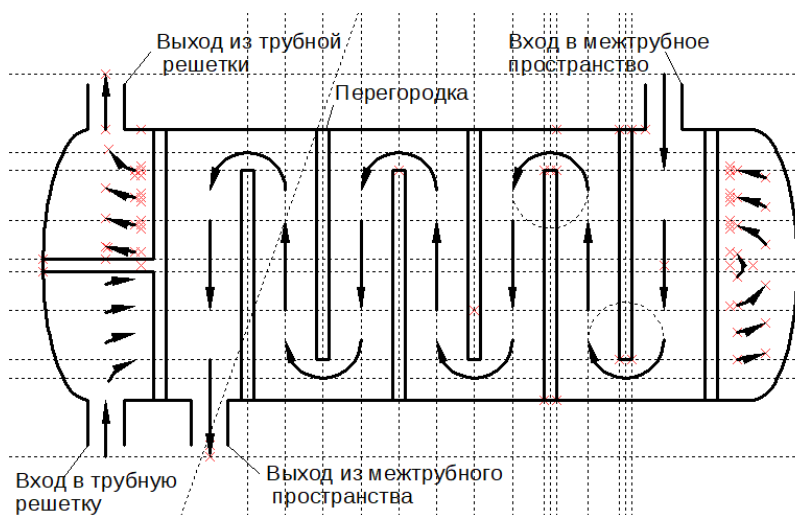


Рис. 4. Элементы слоев Перегородка и ЛП перегородки

Вновь созданные слои также отключаются и на новом слое **ЛП решетки** строятся линии построения для одного элемента решетки. На новом слое **Решетка** обводятся линиями изображения контуры элемента решетки. Остальные элементы создаются линейным массивом и отображением с симметрией (рисунок 5).

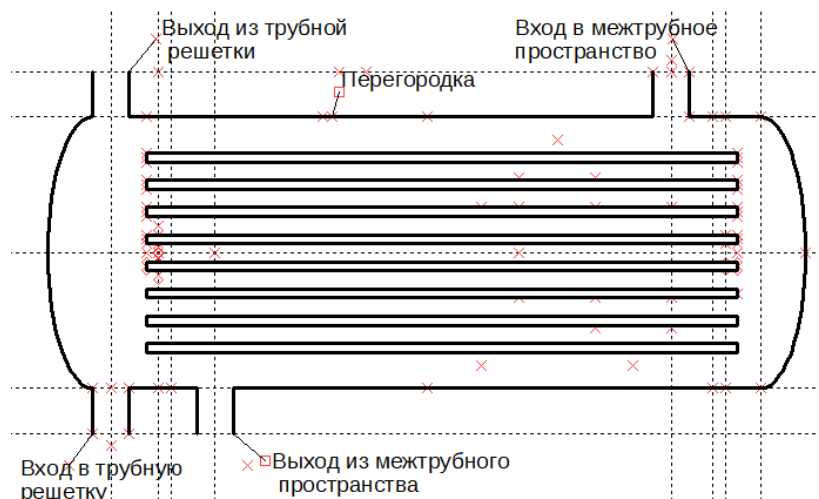


Рис. 5. Элементы массива трубного пучка

Чтобы сделать линии перегородки невидимыми сквозь изображение трубок, трубки заполняются белой заливкой и задается значение приоритета заливки больше, чем у линий перегородки (рисунок 6).

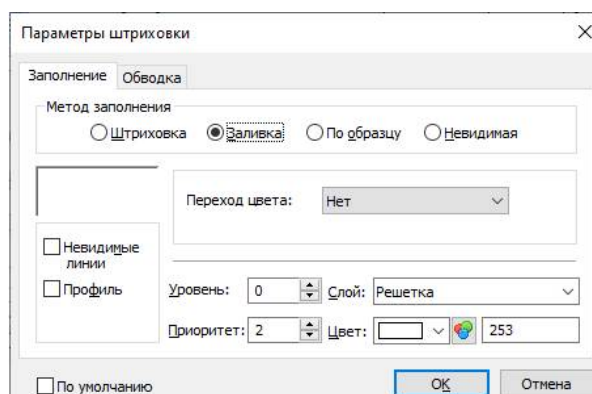


Рис. 6. Окно параметров штриховки

Далее на слое **ЛП решетки** создаются линии построения для линий холодного потока и на новом слое **Трубный поток** обводятся линиями изображения (рисунок 7).

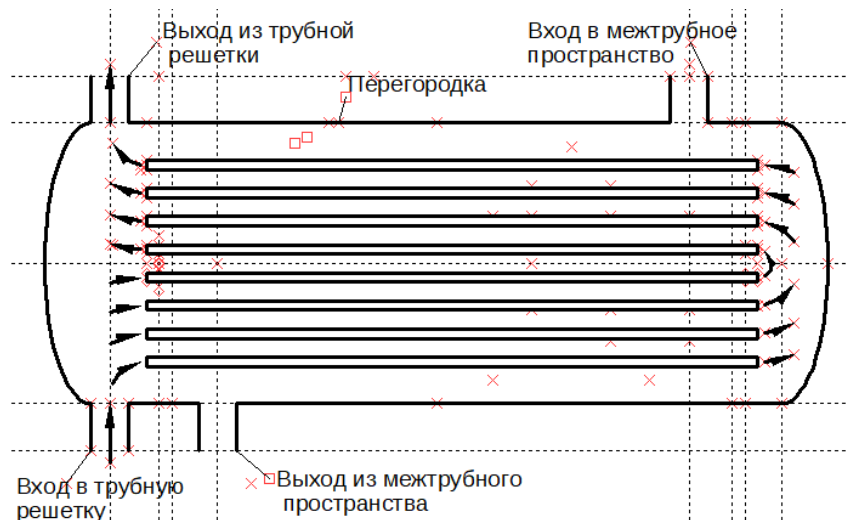


Рис. 7. Слой потоков трубной решетки

Выключаются все слои линий построения и в результате наложения слоев получается целое изображение (рисунок 8).

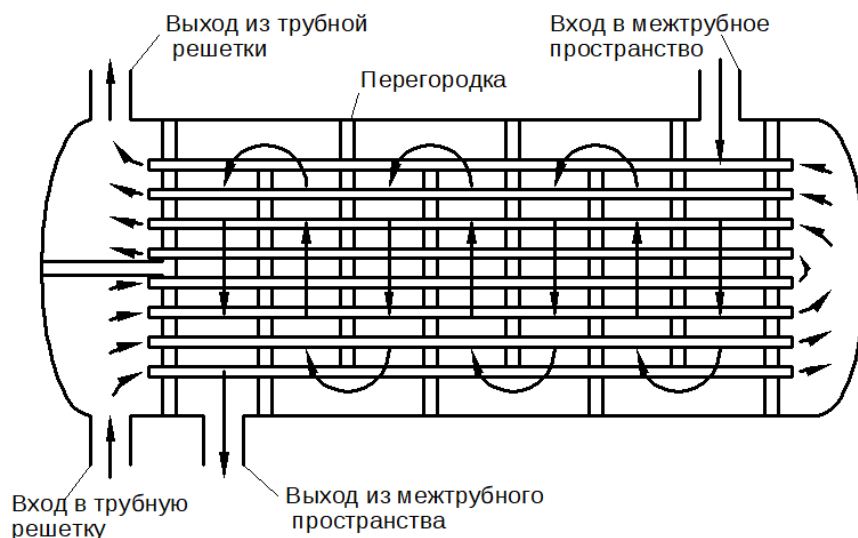
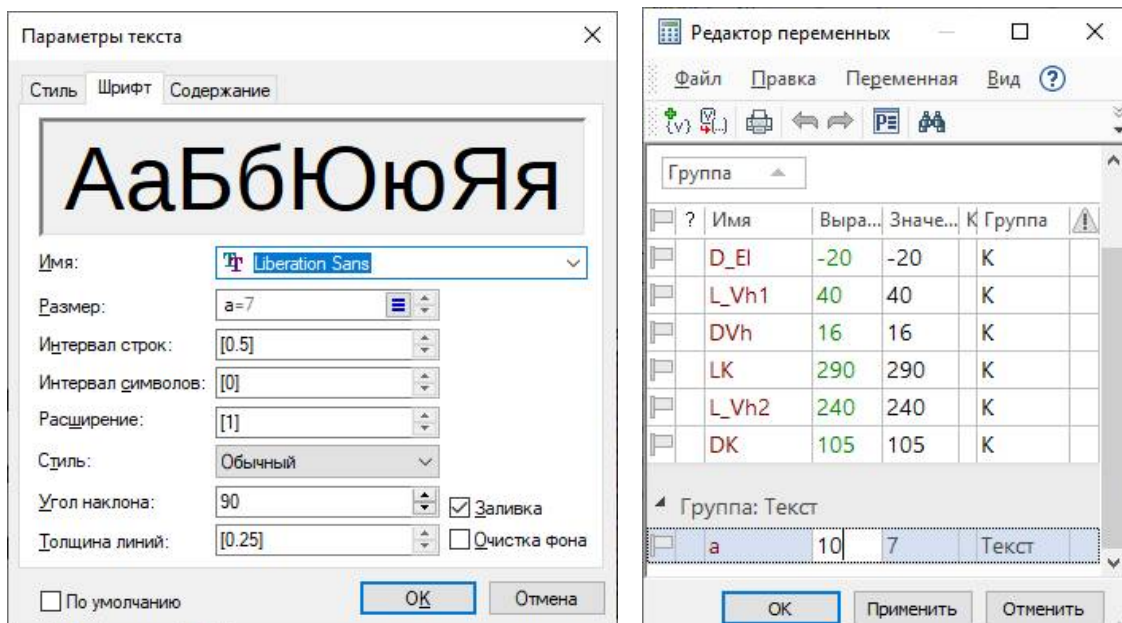


Рис. 8. Схема теплообменника при включении всех слоев

В процессе построений заданы переменные для всех основных элементов схемы.

При изменении переменных в редакторе изменяются размеры изображения. На рисунке 9, а приведен пример присвоения переменной а размеру шрифта текста. Изменение значения переменной а в редакторе переменных показано на рисунке 9, б.



а) б)
Рис. 9. Изменение переменной размера шрифта:
а - переменная задается в окне параметров шрифта,
б – изменение размера шрифта в редакторе переменных

Для получения цветных изображений используется заливка, для которой задаются цвет и градиент цвета, приоритет и слой в окне **Параметры штриховки** (рисунок 10) [3].

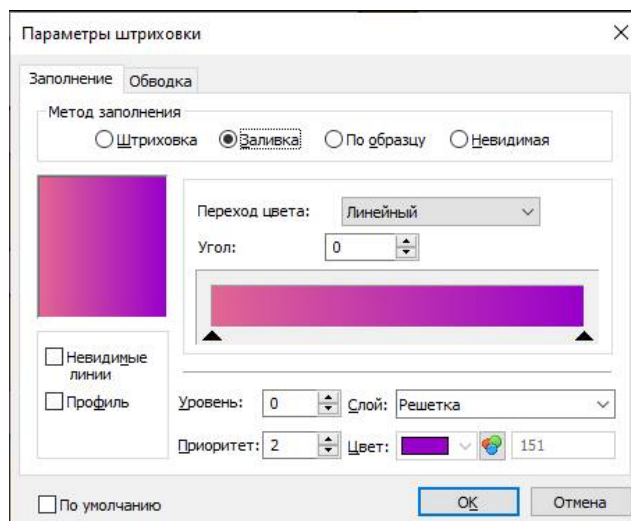


Рис. 10. Градиентное изменение цвета заливки

В результате построений получился графический объект, который обладает возможностью менять размеры отдельных элементов и для которого возможно создать различные цветовые решения (рисунок 11).

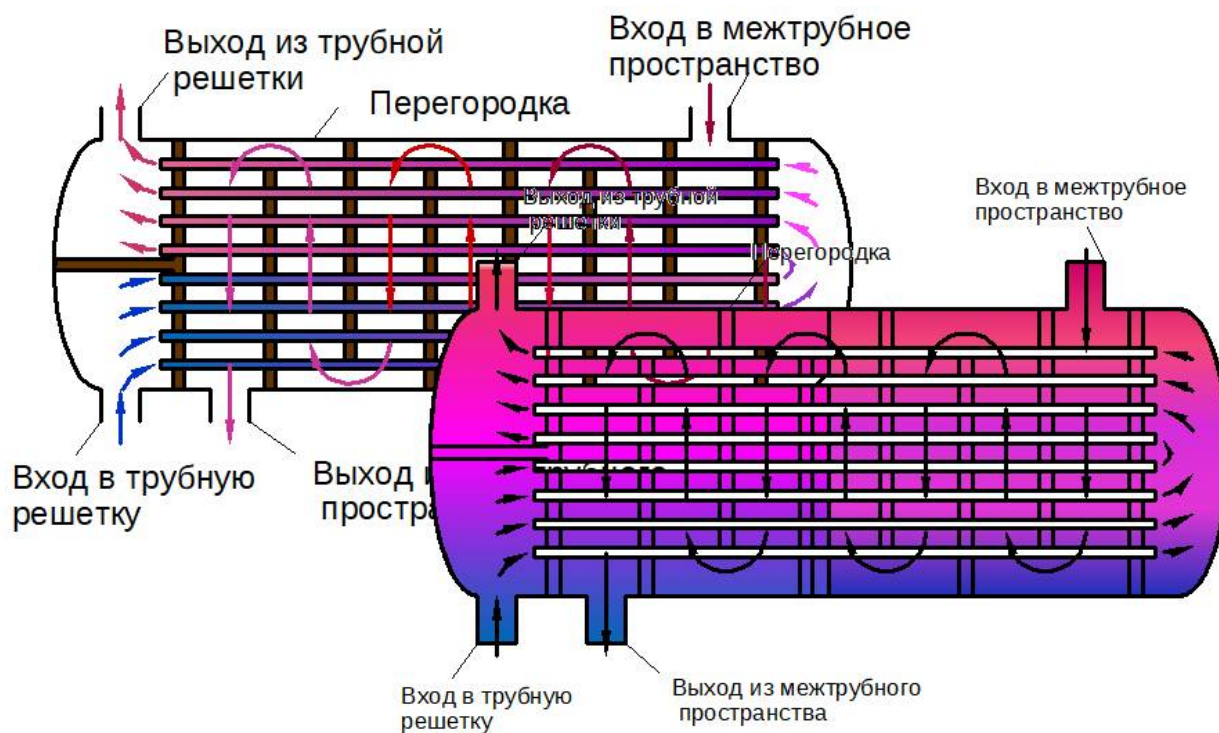


Рис. 11. Варианты цветового оформления схемы

Таким образом, программа T-Flex CAD 2D может использоваться не только для создания чертежей. Она также обладает большими возможностями для создания различных схем и иллюстраций.

Возможность использования программы T-Flex CAD 2D обеспечивается доступностью учебной версии, которая является бесплатной и свободно распространяемой [4]

Для использования программы в качестве инструмента визуализации графического материала требуется освоение основных приемов работы и некоторый набор базовых знаний о ее возможностях.

Библиографический список

1. Разработка параметрических чертежей и сборок: методические указания к лабораторной и практическим работам / Рязан. гос. радио-техн. ун-т; сост.: Вик. В. Коваленко, Н.Ю. Кулавина, Г.А. Шашкина. - Рязань, 2021. – 35 с.
2. Создание и оформление чертежей в T-FLEX CAD: методические указания к лабораторным работам/ Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: Вик. В. Коваленко, Н.Ю. Кулавина, Г.А. Шашкина. - Рязань, 2017. – 32с.
3. Учебное пособие для изучения продуктов T-FLEX PLM. Режим доступа: <https://tflexcad.ru/download/tutorial/?ysclid=lt5mehdn2r807341136>.
4. Учебная версия T-FLEX CAD. Режим доступа: <https://www.tflexcad.ru/download/t-flex-cad-free/>.

УДК 004.94; ГРНТИ 28.17.33

СОЗДАНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ОБЕЧАЙКИ

Г.А. Шашкина, Е.С. Чавкина

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Россия, Рязань, xt-kontakt@mail.ru

Аннотация. В данной работе в приведены методы создания расчетной модели на примере расчета толщины стенки цилиндрической обечайки в программе SMath Studio.

Ключевые слова: математическая модель, метод наименьших квадратов, толщина стенки обечайки, SMath Studio.

CREATION OF A CALCULATION MODEL FOR DETERMINING THE THICKNESS OF THE SHELL WALL

G.A. Shashkina, E.S. Chavkina

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, xt-kontakt@mail.ru

Annotation. In this paper, methods for creating a computational model are presented using the example of calculating the wall thickness of a cylindrical shell in the SMath Studio program.

Keywords: Mathematical model, least squares method, shell wall thickness, SMath Studio.

Во всех отраслях производств, имеющих отношение к химическим технологиям, внедрение информационных технологий напрямую зависит от уровня подготовки специалистов. Специфика химических производств требует от специалистов с одной стороны, глубоких знаний в сущности химико-технологических проблем, с другой – владением на хорошем профессиональном уровне математическими методами и соответствующим программным обеспечением, навыками формализовать возникающие задачи.

Использование расчетных программ значительно упрощает практически любые расчеты, значительно сокращает время, затраченные на получение результатов.

Одним из простых средств автоматизации инженерных расчётов, входящих в профессиональные задачи химика - технолога является программа SMath Studio [1].

Программа имеет не только различные средства для расчетов, но и некоторые средства программирования.

На примере конкретной задачи расчета толщины стенки обечайки аппарата из листовой стали марки ВСтЗпс, работающей под внутренним избыточным давлением, рассматривается возможность построения математической модели для формализации расчетов параметров аппаратов химической технологии.

Вид программы расчета показан на рисунке 1. Для расчетной части задаются геометрические параметры обечайки и условия работы, результат выводится в строках после разделителя [2].

Программа расчета может быть скрыта между разделителями и при внесении исходных данных сразу виден результат, который представляет собой значение исполнительной толщины обечайки и значение отношения, которое определяет условие применимости проведенного расчета для заданного соотношения толщины стенки к диаметру обечайки.

Исходные данные могут меняться в пределах, ограниченных диапазоном табличных данных справочника.

Расчет стенки аппарата требует использования табличных данных для определения нормативного допускаемого напряжения σ' и минимального значения предела текучести σ_T в соответствии с ГОСТ Р 52857.1—2007.

Расчет исполнительной толщины стенки цилиндрического аппарата

Материал корпуса аппарата – листовой прокат из стали ВСт3пс

$L := 3$ Длина обечайки, м

$D := 1,5$ Диаметр обечайки, м

$t_c := 140$ Температура среды в аппарате, °C

$p_r := 1,25$ Рабочее давление, МПа

$\Pi := 0,1$ Скорость коррозии, мм/год

$\tau_{\text{э}} := 15$ Срок эксплуатации, лет

$\varphi := 1$ Коэффициент прочности сварного соединения

$\eta := 1$ Поправочный коэффициент, учитывающий вид заготовки

Условие применимости $< 0,1$ $УП = 0,005$

Исполнительная толщина стенки аппарата $s = 9$

Рис. 1. Программа расчета

Определяется расчетная температура стенки аппарата (для $t_c > 0$), допускаемое напряжение в рабочем состоянии σ' , допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях σ_T , расчетное значение внутреннего избыточного давления (рабочая среда в аппарате – газовая).

Расчетное давление p_p складывается из рабочего давления p и гидростатического давления p_g , если $\frac{p_g}{p} \times 100\% < 5\%$ то значение p_g не учитывается.

Алгоритм расчета приведен на рисунке 2.

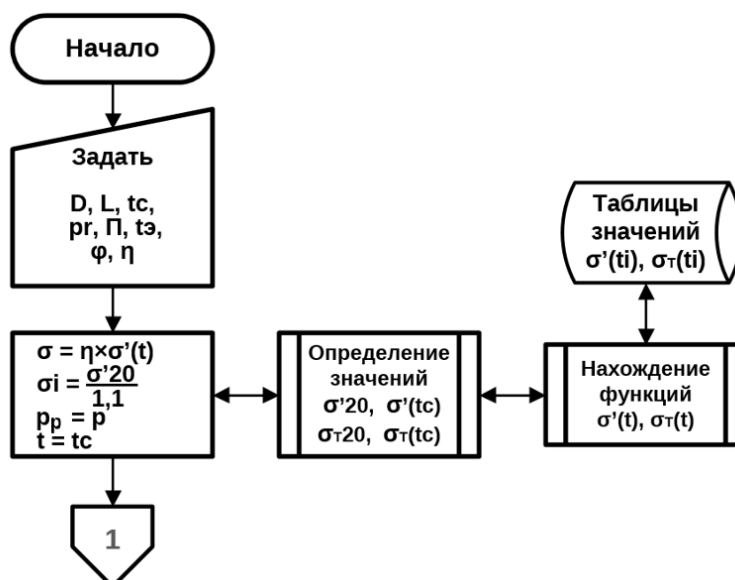


Рис. 2. Расчет допускаемых напряжений в рабочем состоянии и при гидравлических испытаниях

Данные таблицы задаются в виде векторов-столбцов температуры и нормативных допускаемых напряжений и векторов-столбцов температуры и минимальных значений пределов текучести (1) [3].

$${}^tT = \begin{bmatrix} 20 \\ 100 \\ 150 \\ 200 \\ 250 \\ 300 \\ 350 \\ 375 \end{bmatrix} \sigma' = \begin{bmatrix} 140 \\ 134 \\ 131 \\ 126 \\ 120 \\ 108 \\ 98 \\ 93 \end{bmatrix} \sigma_T = \begin{bmatrix} 210 \\ 201 \\ 197 \\ 189 \\ 180 \\ 162 \\ 132 \\ 123 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Чтобы иметь возможность применить табличные данные для любой температуры в данном диапазоне необходимо подобрать функцию, которая к ним наиболее приближена. С помощью метода наименьших квадратов между линейной, логарифмической, гиперболической и параболической функциями выбрана параболическая. Ниже приведен расчет коэффициентов параболической функции (2).

$$a := roots \left(\begin{bmatrix} \frac{d}{da1} \left(\sum_{i=1}^{length({}^tT)} (\sigma'_i - (a1 \cdot ({}^tT_i)^2 + a2 \cdot {}^tT_i + a3))^2 \right) \\ \frac{d}{da2} \left(\sum_{i=1}^{length({}^tT)} (\sigma'_i - (a1 \cdot ({}^tT_i)^2 + a2 \cdot {}^tT_i + a3))^2 \right) \\ \frac{d}{da3} \left(\sum_{i=1}^{length({}^tT)} (\sigma'_i - (a1 \cdot ({}^tT_i)^2 + a2 \cdot {}^tT_i + a3))^2 \right) \end{bmatrix} ; \begin{bmatrix} a1 \\ a2 \\ a3 \end{bmatrix} \right) \quad (2)$$

Графики для значений по точкам и параболической функции приведены на рисунке 3.

$fd := \text{augment}(tT; \sigma'; "*" ; 12; "black")$ точечная функция

$f1(x) := a_1 \cdot x^2 + a_2 \cdot x + a_3$ Парабола

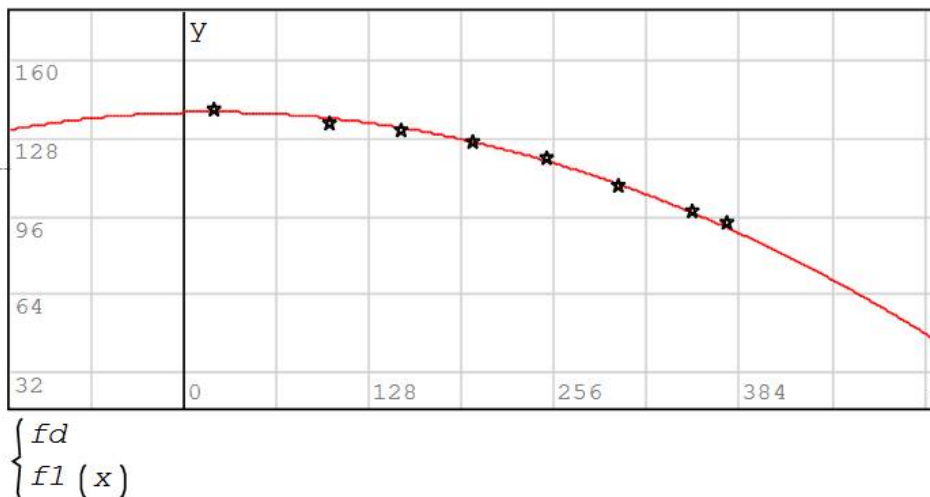


Рис. 3. Табличные значения σ' и параболическая функция

Таким же образом подобрана аппроксимирующая функция и для σ_T .

Прочность цилиндрической обечайки должна обеспечиваться как в рабочих условиях, так и в условиях гидроиспытаний. Пробное давление $p_{\text{и}}$ - максимальное избыточное давление, принимаемое при гидравлических (пневматических) испытаниях. Регламентируется органами технадзора, зависит от рабочего давления и отношения допускаемых напряжений материала аппарата при температуре 20 °С и рабочей температуре (рисунок 4).

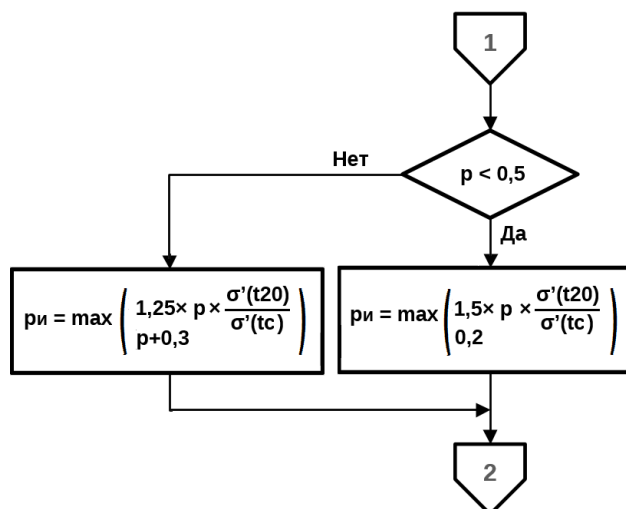


Рис. 4. Расчет пробного давления при испытаниях

Для расчетного значения внутреннего избыточного давления и для пробного давления при гидравлическом испытании рассчитывается толщина стенки цилиндрической обечайки и из полученных значений выбирается максимальное.

Прибавка для компенсации коррозии $c := P \times t_z = 1,5$.

Алгоритм расчета толщины стенки цилиндрической обечайки представлен на рисунке

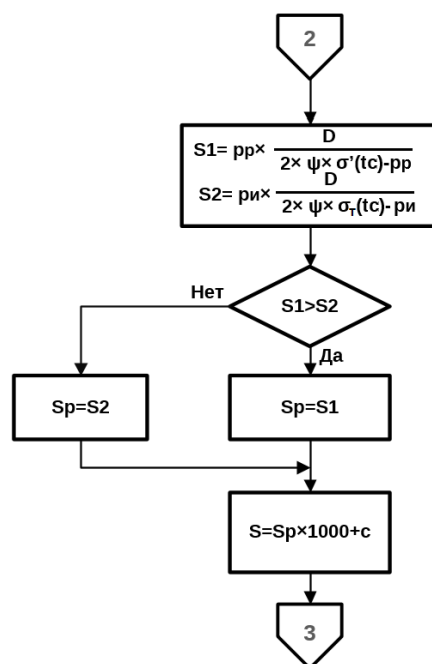


Рис. 5. Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки определяется как сумма расчетной толщины с поправкой c на коррозию и дополнением до целого числа в большую сторону. Условия применимости данной методики расчета для сталей определяются из отношения толщины стенки с учетом коррозии к диаметру обечайки $\frac{(s-c)}{D} \leq 0,1$ при условии, что диаметр обечайки больше или равен 200 мм.

Алгоритм определения условий применимости представлен на рисунке 6.

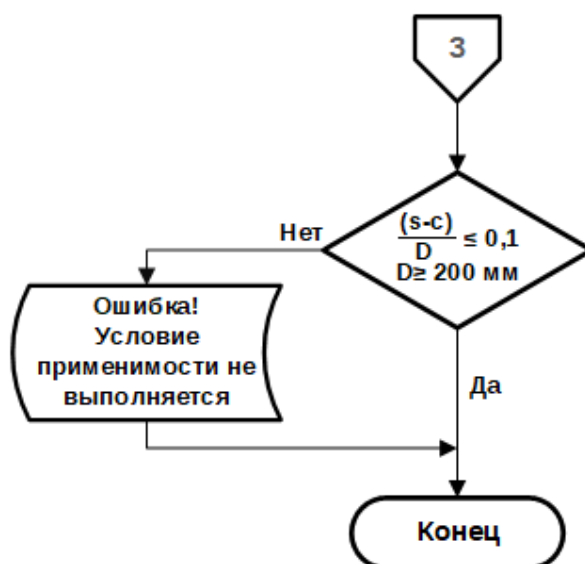


Рис. 6. Расчет отношения толщины стенки с учетом коррозии к диаметру обечайки

Данный метод позволяет ускорить расчеты, дает гарантию точного результата при правильно введенных исходных данных, может использоваться многократно. Все входные

данные могут быть изменены, при этом автоматически изменится результат для материала Сталь ВСтЗпс, поскольку табличные данные заданы для одного материала. В любой момент можно уточнить и модифицировать формулы и допущения, участвующие в расчетах. Расчетный шаблон может использоваться для других материалов, если подобрать для них функции для табличных данных методом наименьших квадратов.

Библиографический список

5. Руководство пользователя математической программы SMath Studio[Электронный ресурс] – Режим доступа: https://smath.com/docs/SMathStudio_user_tutorial.pdf.
6. Механический расчет оборудования нефтепереработки: методические указания к практическим занятиям/ Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: М.В. Лызлова, С.А. Юдаев. Рязань, 2021. 40 с.
7. Математические методы в химической технологии : методические указания к лабораторным работам/ Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: Вик.В. Коваленко, Н.Ю.Кулавина, Г.А. Шашкина: под ред. В.Р.Трегулова. Рязань, 2012. – 64 с.

УДК 004.94; ГРНТИ 28.17.33

СОЗДАНИЕ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ СРЕДСТВАМИ MS VISIO

В.В. Коваленко, Д.А. Зырянова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Россия, Рязань, xt-kontakt@mail.ru*

Аннотация. В данной работе в программе MS Visio создается функциональная схема автоматизации процесса ректификации с использованием встроенных наборов элементов, созданным пользовательским набором элементов, слоями и макросами.

Ключевые слова: функциональная схема автоматизации, ректификация, слои, макросы, приборы и средства автоматизации.

CREATING AUTOMATION SCHEMES USING MS VISIO TOOLS

V.V. Kovalenko, D.A. Zyryanova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, xt-kontakt@mail.ru*

Annotation. In this work, the MS Visio program creates a functional scheme for automating the rectification process using built-in sets of elements, a custom set of elements, layers and macros..

Keywords: functional automation scheme, rectification, layers, macros, automation devices and tools.

В современном мире автоматизация играет важную роль в различных отраслях промышленности. Функциональные схемы автоматизации (ФСУ) позволяют значительно улучшить эффективность процессов, повысить безопасность и снизить затраты. С помощью функциональных схем автоматизации можно осуществлять мониторинг и контроль параметров процессов, таких как давление, температура, уровень жидкости. Это позволяет быстро реагировать на изменения в процессе и принимать решения для предотвращения аварийных ситуаций.

ФСУ представляет собой чертеж, на котором условными обозначениями изображены технологическое оборудование, коммуникации, средства автоматизации (приборы, регуляторы, вычислительные устройства) с указанием связей между технологическим оборудованием и элементами автоматики, а также связей между отдельными элементами автоматизации.

Рассмотрим создание функциональной схемы автоматизации процесса ректификации. Ректификационные установки служат для разделения многокомпонентной смеси на составляющие ее компоненты в результате противоточного взаимодействия смеси паров и жидкой смеси. Задача управления процессом ректификации состоит в разделении многокомпонент-

ной смеси с соблюдением качества по одному из конечных продуктов при установленной производительности установки и минимальных затратах теплоагентов.

Схема выполнена в программе MS Visio [1]. Изображение технических средств автоматизации (ТСА) на схемах производится в соответствии с ГОСТ 21.208-2013 «Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах» [2]. Условные обозначения оборудования выполняются по соответствующим ГОСТам. При отсутствии стандарта на оборудование его изображают схематически в виде конструкторского очертания.

MS VISIO содержит большое количество фигур, используя которые можно легко построить схему. Наборы фигур, которые подходят для этого находятся в разделах **Дополнительные фигуры / Техника**. Если нужного элемента в стандартных наборах нет, программа позволяет создавать новые фигуры или преобразовывать готовые элементы из встроенных наборов с помощью инструментов панели **Рисование (Главная / Инструменты)** и операций (**Разработчик / Конструктор фигур / Операции**).

Имеется возможность создания и сохранения для дальнейшего использования нового набора элементов (**Фигуры / Дополнительные фигуры / Создать набор элементов**). Находящиеся во встроенных библиотеках колонна, кипятильник, дефлегматор не соответствуют по виду, размеру, толщине линий ГОСТам (рисунок 1, а), поэтому эти условные обозначения преобразованы и добавлены в пользовательскую библиотеку (рисунок 1, б). Условные обозначения приборов созданы из элемента **Круг** встроенного набора элементов **Общие**.

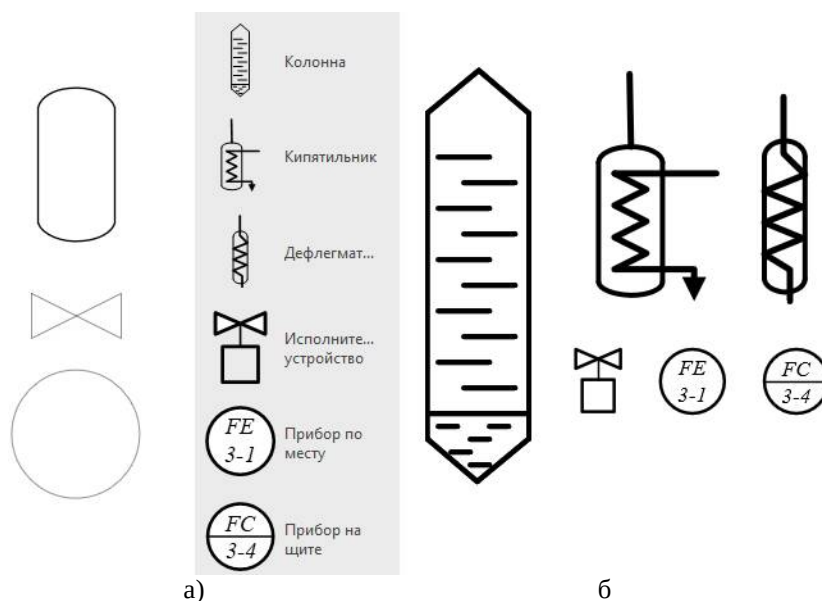


Рис. 1. Условные обозначения приборов колонна, кипятильник, дефлегматор в соответствии с ГОСТом: а) – ГОСТовские обозначения; б) – созданные и сохраненные в пользовательской библиотеке

На рабочее поле документа MS VISIO устанавливаются условные обозначения оборудования из созданной библиотеки, редактируются позиционные обозначения приборов. Оборудование соединяется между собой толстыми сплошными линиями (1 мм), изображающие материальные потоки. Функциональные связи между технологическим оборудованием и установленными на нем первичными преобразователями, а также со средствами автоматизации, установленными на щитах и пультах, показывают на схемах тонкими сплошными линиями (0,3 мм). При этом каждая связь изображается одной линией независимо от фактического числа проводов или труб, осуществляющих эту связь. На чертеж добавляется основная надпись. Под схемой в нижней части чертежа слева от основной надписи изображают щиты и пульта управления в виде прямоугольника произвольных размеров, достаточных для нане-

КСЦШ 00250001 А2

Лист: 1

Стр. №

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Взам. №

Разр. и дата:

Наим. разд.

Разр. и дата:

Рис. 2. Сформированный чертеж схемы технологического оборудования (слева),
перечень оборудования (справа)

Слои можно использовать для систематизации связанных фигур на странице документа. Назначая фигуры различным слоям, можно выборочно просматривать, печатать, назначать цвет и блокировать разные категории фигур, а также управлять привязкой и приклеиванием к фигурам в слое. Новые слои добавляются на вкладке **Главная** в меню **Редактирование / Слои / Свойства слоя**. В документ добавлены слои: САР расхода исходной смеси, САР расхода пара, САР температуры, САР уровня, Таблица, Оборудование. Фигуру можно назначить нескольким слоям или не назначать вообще. Для этого выделяется фигура или набор фигур, в меню **Редактирование** выбирается команда **Назначить слою** и выбирается нужный слой. Все фигуры распределены по слоям и теперь можно отключать видимость отдельных слоев для удобства изучения схемы автоматизации.

Для записи последовательности действий и последующем повторении этих действий при нажатии назначенного им сочетания клавиш используются макросы (**Разработчик / Код / Записать макрос**). В открывшемся окне задается имя макроса и сочетание клавиш, которым он будет вызываться. Далее производится действие – снимается видимость всех слоев кроме одного, запись макроса останавливается. Аналогичным образом создаются макросы для другого сочетания клавиш (восстанавливается видимость всех слоев).

На функциональной схеме автоматизации процесса ректификации имеются следующие системы автоматического регулирования (САР).

САР расхода исходной смеси, включающую в себя первичный преобразователь расхода 3-1, систему дистанционной передачи сигнала 3-2, станцию управления расходом с индикацией и регистрацией выходного сигнала 3-3, регулятор расхода 3-4 и исполнительное устройство 3-5, управляющее степенью открытия крана подачи исходной смеси (рисунок 3).

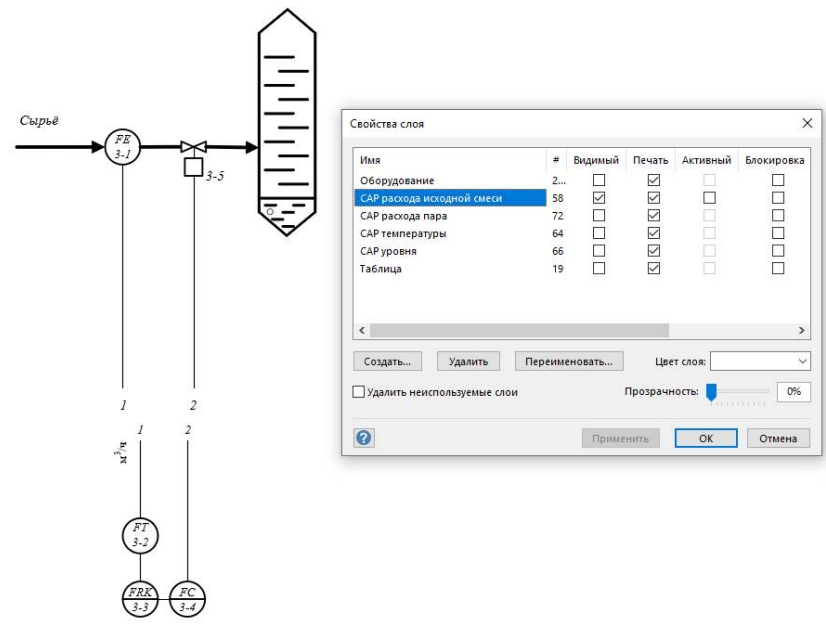


Рис. 3. САР расхода исходной смеси

САР расхода пара, подаваемого в кипятильник 5, включающую в себя первичный преобразователь расхода 7-1, систему дистанционной передачи сигнала 7-2, станцию управления расходом с индикацией и регистрацией выходного сигнала 7-3, регулятор расхода 7-4 и исполнительное устройство 7-5, управляющее степенью открытия крана пара (рисунок 4).

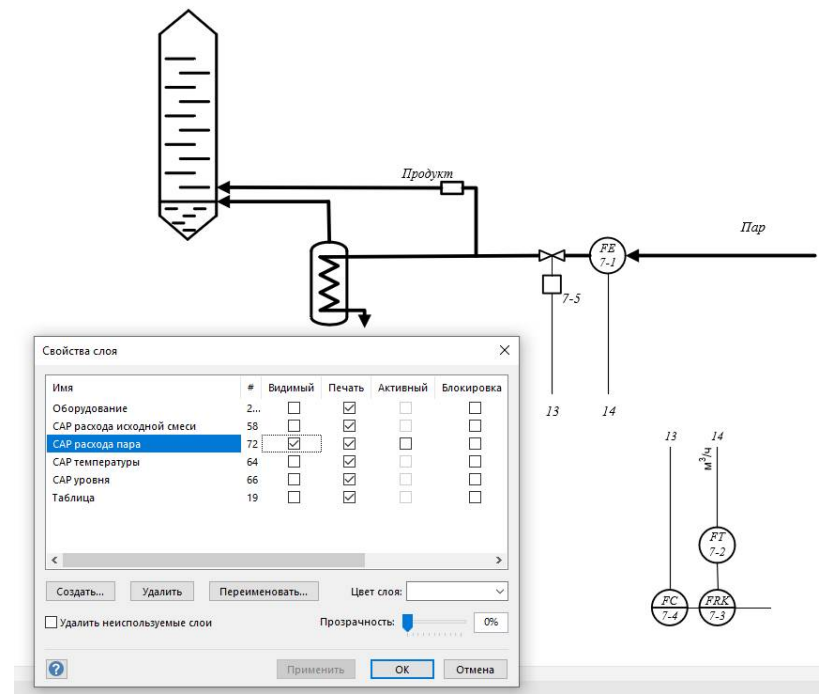


Рис. 4. САР расхода пара

САР температуры в верхней части ректификационной колонны 1, включающую в себя первичный преобразователь температуры 1-1, систему дистанционной передачи сигнала 1-2, станцию управления температурой с индикацией и регистрацией выходного сигнала 1-3, регулятор температуры 1-4 и исполнительное устройство 1-5, управляющее степенью открытия крана подачи дистиллята в ректификационную колонну (рисунок 5).

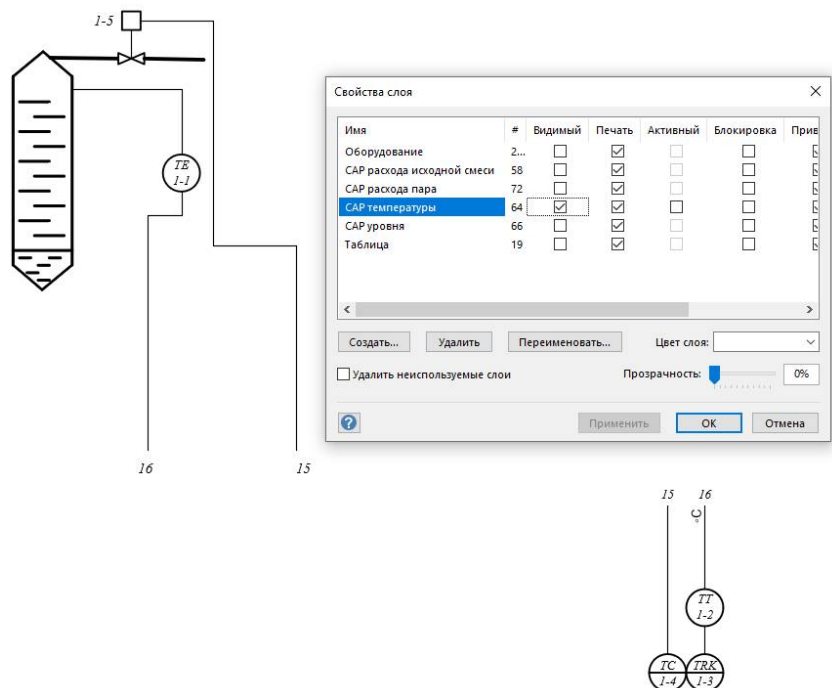


Рис. 5. САР температуры в верхней части ректификационной колонны

САР уровня в нижней части ректификационной колонны, включающую в себя первичный преобразователь уровня 8-1, систему дистанционной передачи сигнала 8-2, станцию управления уровнем с индикацией и регистрацией выходного сигнала 8-3, регулятор уровня 8-4, исполнительное устройство 8-5, управляющее степенью открытия крана отвода кубового остатка из ректификационной колонны (рисунок 6).

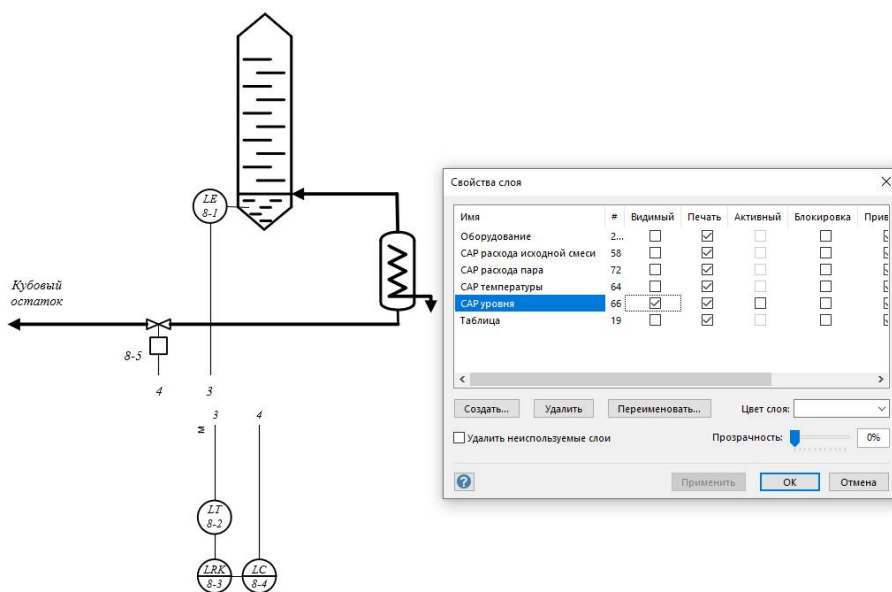


Рис. 6. САР уровня в нижней части ректификационной колонны

Использование встроенных наборов элементов и создание пользовательских наборов – удобная опция при работе с типовыми схемами. Если схема содержит большое количество аппаратов, приборов, средств автоматизации и связей между ними использование слоев позволяет вывести на экран или на печать отдельные части схемы. Макросы помогают быстро переключаться между слоями, включать и отключать видимость одного или нескольких слоев.

Библиографический список

1. Оформление графического материала в MS Visio: методические указания к лабораторным работам / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: Вик. В. Коваленко, Н.Ю. Кулавина, Г.А. Шашкина. – Рязань, 2018. – 16 с.
2. Функциональные схемы автоматизации: методические указания к лабораторным работам / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: Вик. В. Коваленко, Н.Ю. Кулавина, Г.А. Шашкина. – Рязань, 2018. – 16 с.

УДК 621.357; ГРНТИ 61.31.59

ВЛИЯНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ НА ИЗНОС ДЕТАЛЕЙ

М.М. Штукина, А.Р. Семенов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, margshtu@gmail.com*

Аннотация. В данной работе рассматриваются схемы покрытия деталей при помощи гальванических методов покрытия. Содержится типовой разбор покрытия деталей с помощью фосфатного золота, а так же приведены в общем виде цинкование. Приведены плюсы и минусы покрытий, а так же параметры, влияющие на электролиты.

Ключевые слова: электролиты, золочение, цинкование, гальваническое покрытие.

INFLUENCE OF GALVANIC COATING ON WEAR OF PARTS

M.M. Shtukina, A.R. Semenov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, margshtu@gmail.com*

The summary. This paper discusses schemes for coating parts using galvanic coating methods. Contains a typical analysis of the coating of parts using phosphate gold, and also provides a general overview of zinc coating. The pros and cons of coatings are given, as well as parameters affecting electrolytes.

Keywords: electrolytes, gilding, zinc coating, electroplating.

Гальваническое покрытие является главным технологическим методом для получения металлов с высоким сроком службы, а также использующихся для ряда иных мер, таких как средство против коррозии, повышение механической прочности, повышение смазывающих способностей, повышение электропроводности и т.д. Чтобы гальваническое покрытие держалось дольше и изделие получало все особенности покрытия, требуется не только правильный подбор электролита, но и так же определенная подготовка детали перед покрытием.

Для достижения хорошей адгезии покрытия поверхность необходимо тщательно очистить от грязи, жира, масла, окалина, ржавчины и других химических слоев (например, солей или оксидов). Очистка может осуществляться как механическим способом (щеткой, шлифовкой, струйной обработкой, промывкой, ультразвуковой очисткой и т.п.), так и химическим способом (обезжириванием и травлением).

К подготовке деталей к нанесению гальванических покрытий относят следующие операции [1]:

1. Очистка деталей от загрязнений на разборочно-моечном участке.
2. Предварительная механическая обработка деталей для удаления следов износа, и придание нужной шероховатости.

3. Изоляция поверхностей, не требующих покрытия (требуется при покрытии больших деталей).

4. Завешивание деталей на подвеску. Конструкция подвески должна создавать надежный электрический контакт с покрываемыми изделиями и штангой ванны.

5. Обезжиривание химическим и электрохимическим методами.

Гальванизация относится ко всем процессам электрохимического осаждения металлов на металлические или металлизированные детали с использованием электролита.

Электролиты – это электропроводящие жидкости или расплавы солей. При гальванике применяют водные растворы солей металла, которым предстоит покрыть заготовку, например медный купорос как электролит при меднении. Защитный эффект металлического покрытия зависит от его положения в ряду электрохимических напряжений по отношению к основному металлу. Если предположить, что покрытие не полностью покрывает основной металл из-за имеющихся дефектов (пор или повреждений, неизбежно возникающих в результате эксплуатации детали), то в присутствии электролита начнется коррозия. Основным металл подвергается воздействию и разлагается в первую очередь. Поэтому на практике стальные детали не только покрывают слоем меди, но и наносят слой никеля. В случае коррозии сначала разлагается слой менее благородного никеля, но сама заготовка остается защищенной слоем меди.

Гальваническое золочение при помощи электролита фосфатного золочения

Обычно позолота делится на три основные категории: твердое золотое покрытие, мягкое золотое покрытие и дуплексное золотое покрытие (которое представляет собой смесь этих двух видов). Аналогичным образом, эти три типа услуг по золотому покрытию были описаны ниже:

Твердое золотое покрытие

При покрытии поверхности чистым золотом добавляют небольшое количество легирующего элемента или соединения для повышения ее твердости и износостойкости. Обычно для этой цели используются никель и кобальт, но иногда также можно использовать железо и мышьяк. Твердое золото выглядит ярче в местоположениях чистого золота, поскольку оно имеет более мелкозернистую структуру. В случаях, когда происходит скользящий контакт или постоянное зацепление, предпочтительнее покрытие из цельного золота, поскольку оно имеет более высокую твердость и обеспечивает более длительное и непрерывное использование.

Мягкая позолота

При покрытии мягким золотом, в отличие от твердого типа покрытия, в которое добавлено небольшое количество элементов, используется золото повышенной чистоты. Осадок мягкого золота достигает максимальной твердости, которая ниже, чем у твердого золота, а его зернистая структура также крупнее по сравнению с твердым золотом. Поскольку в мягком золоте нет других элементов, которые могли бы окисляться, мягкое золото считается превосходным для применения при высоких температурах и для сварки проводов. Кроме того, мягкое золото идеально подходит для конструкций статических контактов с низким механическим напряжением, таких как притирка соединений. Благодаря высокой чистоте и биосовместимости оборудования оно также предпочтительно для медицинского применения.

Дуплексное золотое покрытие.

При дуплексном золотом покрытии используются покрытия как твердого, так и мягкого золота, чтобы создать отделку, имеющую характеристики как мягкого, так и твердого золотого покрытия. Например, улучшенная износостойкость твердого золота. В этом случае

можно нанести сверху слой мягкого золота, которое очень хорошо противостоит коррозии и одновременно улучшает качество всей позолоты. Из-за смешанной и несовпадающей зернистой структуры двух слоев золота дуплексные золотые покрытия имеют более низкую общую пористость по сравнению с другими типами золотого покрытия. Кроме того, этот тип покрытия обеспечивает более высокую коррозионную стойкость при общем использовании меньшего количества золота, чем однослойные золотые покрытия.

При золочении поверхности детали выделяют следующие этапы:

Подготовка: Чтобы выполнить позолоту, сначала необходимо удалить грязь и масло с поверхности объекта посредством полировки, галтовки, зачистки, пескоструйной обработки и других методов очистки, которые можно использовать для дальнейшей подготовки поверхности.

Очистка и ополаскивание: на этом этапе поверхность объекта подвергается электрической очистке, паровой или ультразвуковой очистке, а затем изделие следует промыть водой, чтобы удалить остатки чистящих средств. После этого этапа поверхность очищается и может быть использована для следующего этапа.

Буферный слой: чтобы улучшить связь между материалом покрытия и подложкой, мы добавляем буферный слой, в котором обычно используется никель, и наносим его на металл. Также, после нанесения слоя покрытия предмет промывают повторно.

Базовый слой: на основной материал наносятся дополнительные слои краски. Обычно на одно изделие наносится несколько слоев меди, никеля и золота.

Окончательное покрытие: изделие погружается в ванну для ионного покрытия золотом, в которой тщательно поддерживается определенное напряжение и температура. Когда начинается процесс золочения, золото осаждается на поверхности детали, образуя поверхностный слой.

Окончательное ополаскивание: предмет снова промывают водой, а затем дают высохнуть.

Минусы гальванического золочения – токсичность, вредное производство, дорогостоящее оборудование, небольшие размеры изделия до 1 м, можно золотить только один вид пластмассы (АБС-пластик), дорогое покрытие.

В преимущества золота можно определить следующие параметры:

- Электрическая проводимость. По этой причине контакты из нержавеющей стали и меди обычно покрываются золотом, чтобы обеспечить надежный и стабильный проводящий путь благодаря очень специфическим свойствам золота.
- Теплопроводность. Золото с плотностью 315 Вт/мК является металлом с третьим по величине коэффициентом теплопроводности. Это свойство позволяет использовать его в экстремальных условиях, таких как космическое пространство и бурение скважин.
- Нереактивность.
- Устойчивость к коррозии.
- Безвредность. Поскольку золото не вступает в реакцию с другими элементами, его используют при производстве позолоченных медицинских изделий, которые можно безопасно использовать и вводить в организм человека, не опасаясь его реакции с организмом.
- Внешний вид.

Гальваническое покрытие при помощи электролита цинкования

Цинкование, как метод защиты от коррозии, подходит для плоских или слегка изогнутых поверхностей, не подверженных механическим воздействиям.

Данный метод основан на следующем принципе. Большинство металлов (например, цинк, олово, алюминий) окисляются на воздухе, при этом на поверхности металла образуется плотная защитная пленка из окисленных соединений металлов. Эта пленка препятствует проникновению кислорода вглубь металла и тем самым останавливает дальнейшее окисление металла. Однако в случае с железом процесс иной. Образующиеся окисленные соединения железа (например, гидроксиды) имеют больший объем, чем исходный металл, в результате чего образуется пленка гидроксида, которая сразу же разрушается и разрыхляется. Эта рыхлая, рыхлая и нестойкая пленка свободно пропускает кислород обратно к неокисленному металлу, и процесс окисления продолжается. Железо и сталь не способны защититься от дальнейшего окисления, поэтому ржавеют.

Если покрыть железо или сталь слоем цинка, то их защитная оксидная пленка не будет пропускать кислород, предохраняя от окисления как металлическое покрытие, так и железо под ним. Таким образом, обеспечивается антикоррозионная защита железа и стали. Цинк и железо образуют гальваническую пару, в которой железо является менее активным металлом, в результате чего цинк в составе покрытия вступает в реакцию коррозии первым, а основной металл (железо) остается практически нетронутым.

В гальванической паре железо-цинк цинк имеет больший электроотрицательный заряд, чем железо. Это означает, что коррозионному воздействию подвергается в первую очередь цинк и до тех пор, пока он полностью не растворится, металл будет полностью защищен от коррозии. Цинк не присоединяется к железу (стали) в реакции окисления. В том случае, если на каком-либо участке поверхности металла цинковое покрытие разрушается, цинк вступает в реакцию с кислородом и водой с образованием гидроксида цинка, который, в свою очередь, обладая хорошими защитными свойствами, защищает основной металл.

Толщина слоя цинка зависит от технологии, способа цинкования, температуры и продолжительности процесса цинкования и колеблется от 6 мкм при гальваническом цинковании до 1,5 мм.

Цинкование обеспечивает металлу как активную, так и пассивную защиту от коррозии. Пассивная защита – это барьерное действие цинкового покрытия. Барьерное действие цинкового покрытия заключается в том, чтобы при атмосферных воздействиях чистый цинк (Zn) вступал в реакцию с кислородом и образовывал оксид цинка (ZnO) с последующей реакцией с углекислым газом (CO₂) и образованием карбоната цинка (ZnCO₃). Карбонат цинка – обычно матово-серый, довольно прочный материал, который останавливает дальнейшую коррозию материала.

Активная защита от коррозии возникает за счет катодного эффекта цинкового покрытия по сравнению с более благородными металлами, такими как железо (если смотреть в электрохимическом ряду напряжений). Цинк служит анодом, который защищает железо под ним от коррозии на максимально долгое время, так как он полностью проржавел. Катодный эффект цинкового покрытия защищает даже подвергающийся повреждениям основной металл (например, если металл имеет царапины, задиры, трещины или потертости) или неоцинкованные режущие кромки металла, расположенные на определенном расстоянии от соседнего цинкового покрытия [2].

В настоящее время цинк является наиболее распространенным методом защиты от коррозии.

Преимущества цинкования, как способа нанесения антикоррозионного покрытия:

- цинковое покрытие увеличивает срок службы металла до 50 и более лет,
- цинковое покрытие покрывает основное изделие из металла равномерным слоем,
- цинковое покрытие устойчиво к сколам,

- цинковое покрытие железа и стали обеспечивает не только барьерную и электрохимическую защиту,
- цинковое покрытие более устойчиво к сколам при ударе, чем аналогичные коррозионностойкие полимерные покрытия.

Основным недостатком является низкая адгезия (сцепление) образуемого покрытия с изделием, требующая особой тщательности подготовки (очистки) поверхности последнего. Еще следует отметить вероятность наводораживания защищаемого металла, особенно при несоблюдении режимов гальваники цинкования, что приводит к водородной хрупкости изделия и непривлекательному виду его поверхности. Существенным недостатком этого метода является образование ядовитых и вредных для окружающей среды отходов, которые необходимо подвергать тщательной очистке.

Библиографический список

1. Шишкина Л.В., Локштанова О.Г. Электролитические покрытия для герконов // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2011, №. 11. – С.124-127.
2. Круглова Е.В. Гальваническое покрытие цинком. Состав и анализ кислых электролитов для цинкования // Череповецкие научные чтения. – 2016. – 2017. – С.104-105.

УДК 665.6; ГРНТИ 61.13.21

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РЕАКТОРНОГО БЛОКА ГИДРООЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ВВОДА СЫРЬЯ

Д.С. Зиновьева, А.Д. Маслов

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, zinovieva.d@yandex.ru

Аннотация. В работе изучен процесс гидроочистки дизельного топлива лежащий в основе производства топлива с пониженным содержанием серы, предложена идея повышения эффективности работы реакторного блока гидроочистки дизельного топлива, путем изменения конструкции физически устаревшего реактора с аксиальным вводом сырья, на новый с аксиально – радиальным исполнением ввода сырья, перевод установки на последовательное соединение реакторов.

Ключевые слова: реактор с аксиальным вводом сырья, реактор с радиальным вводом сырья, аксиально-радиальный реактор, дизельное топливо, катализаторы, установка гидроочистки дизельного топлива, газосырьевая смесь, затраты, экономические показатели.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE DIESEL FUEL HYDROTREATING REACTOR UNIT BY CHANGING THE DESIGN OF THE INPUT OF RAW MATERIALS

D.S. Zinoviev, A.D. Maslov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, zinovieva.d@yandex.ru

The summary. The paper examines the process of hydrotreating diesel fuel underlying the production of fuel with a reduced sulfur content, proposes the idea of improving the efficiency of the reactor unit for hydrotreating diesel fuel by changing the design of a physically outdated reactor with axial input of raw materials to a new one with axial radial input of raw materials, transferring the installation to a serial connection of reactors.

Keywords. reactor with axial input of raw materials, reactor with radial input of raw materials, axial-radial reactor, diesel fuel, catalysts, diesel fuel hydrotreating plant, raw gas mixture, costs, economic indicators.

Учитывая, что проблема, связанная с дефицитом нефтяного сырья для нефтеперерабатывающих заводов России приобретает стойкий характер, АО «РНПК» в своих стратегических планах принял курс на увеличение глубины переработки нефти и газового конденсата, а также других возможных видов углеводородного сырья.

Основным аппаратом, определяющим эффективность этого процесса и глубину превращения сырья, является реактор, который по своему технологическому оформлению должен обеспечивать заданную производительность, иметь необходимый реакционный объем, создавать требуемую для процесса поверхность контакта взаимодействующих фаз, поддерживать необходимый теплообмен в процессе и уровень активности катализатора. Его конструкция должна обладать минимальным гидравлическим сопротивлением и обеспечивать равномерное распределение газосырьевого потока по всему реакционному объему. Как правило, на отечественных установках гидроочистки дизельных топлив используются реакторы с аксиальным вводом газосырьевой.

Промышленный опыт использования установки гидроочистки дизельного топлива показывает, что работа реактора с аксиальным движением потока сырья характеризуется неравномерным распределением газосырьевой смеси по сечению аппарата и ростом гидравлического сопротивления слоя катализатора, значительно возрастающим по мере его длительной эксплуатации. Увеличение перепада давления в реакторе приводит к снижению его производительности и увеличению энергетических затрат на установку. Для замедления роста перепада давления в рабочем цикле обычно периодически удаляют из реактора верхний слой катализатора; используют фильтрующие корзины; инертный сферический материал (фарфоровые шары переменного диаметра); комбинированные защитные слои катализаторов, распределительные устройства. Перечисленные приемы позволяют защитить основной слой катализатора, но не решают проблему высокого гидравлического сопротивления полностью.

Снизить перепады давления в реакторе гидроочистки без ухудшения работы катализатора можно изменив конструкцию ввода сырья внутри реактора с аксиального на аксиально-радиальный.

Результаты расчетов материального баланса приведены в таблице 1.

Таблица 1. Материальный баланс установки Л-24-6

Статьи баланса	Проц.масс.	Количество		
		т/год	т/сут	кг/ч
Взято:				
Сырье	100	550000	1629	67875
ВСГ	7,56	41622,336	123,1524	5131,4
ИТОГО:	107,56	592182,336	1752,1524	73006,4
Получено:				
Гидрогенизат	96.15	529363,44	1566,2835	65261,8
Сероводород	1,83	10075,248	29,38107	1242,1
Газ	0,52	2862,912	4,0725	352,9
Бензин	1,72	9469,632	28,0188	1167,5
ЦВСГ	7,16	39420,096	116,6364	4859,9
Потери	0,18	991,008	2,9322	122,2
ИТОГО:	107,56	592182,336	1752,1524	73006,4

В результате совершенствования технологической схемы производства дизельного топлива на установке Л-24/6 возможно стабильное производство дизельного топлива с содержанием серы менее 350 ppm, полициклических ароматических углеводородов менее 7% масс, при низких гидравлических сопротивлениях в слое катализатора. После модернизации установка будет способна обессеривать прямогонное дизельное топливо до требований евро-стандарта или перерабатывать смесь прямогонного дизельного топлива и частично высокосеристого легкого газойля каталитического крекинга, то есть установка ЛЧ-24/6 будет способна выпускать продукцию, которая бы соответствовала европейскому качеству и перспективным потребностям рынка.

Перевод установки на последовательное соединение реакторов позволит повысить плотность орошения до уровня, требуемого для удовлетворительной работы всего объема катализатора. С учетом специфики перерабатываемого сырья, а также для предотвращения роста гидравлического сопротивления в реакторах, сохранения производительности установки прежнем уровне и обеспечения двухгодичного межрегенерационного пробега была выбрана схема с использованием первым по ходу газосырьевого потока реактора аксиально-радиального типа, вторым - аксиального. Для снижения экзотермического эффекта реакции, увеличения продолжительности цикла реакции предусмотрена возможность подачи холодного водородсодержащего газа в переток между реакторами. Повышение парциального давления водорода во втором реакторе благоприятно отразится на глубине очистки сырья и стабильности работы катализатора.

Капитальные вложения, необходимые для реконструкции установки, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Капитальные вложения для реконструкции установки

Аппарат	Ед. изм	Количество	Цена, руб	Сумма, руб
Реактор d=2,6 м, h=8 м, материал 12 ХМ	шт	4	12 000 000	48 000 000
Труба, металл Ст. 20	шт	16	3 000	48 000
Транспортные расходы, 5 %				1 200 000
Затраты на монтаж, 20 %				9 600 000
Затраты на демонтаж, 20%				9 600 000

Технико-экономические показатели установки гидроочистки дизельного топлива приведены в таблице 3.

Таблица 3. Техничко-экономические показатели

Показатели	Единица измерения	До реконструкции	После реконструкции	Отклонение
Мощность объекта	т/год	1 101 120	1 200 576	+99 456
Годовой объем продукции	т/год	1 058 712	1 154 353,9	+95 641,9
Годовой объем продаж продукции	тыс.руб.	9 846 021,6	12 697 892,9	+2851871,3
Численность работающих	чел.	24	24	-
Производительность труда одного работающего	тыс.руб./чел.	410250,9	529078,87	+118827,9
Полная себестоимость продукции:				
а) всего	тыс.руб.	8307965,494	10338348,23	+2030382,736
б) единицы продукции		7847	8955	+1108
Прибыль от продаж продукции	тыс.руб.	1538056,106	2359544,67	+821488,564
Налог на прибыль	тыс.руб.	307611,221	471908,934	+164297,7
Чистая прибыль	тыс.руб.	1230444,88	1887635,736	+657190,856
Рентабельность продаж	%	12,49	14,86	+2,37
Кап.вложения	тыс.руб.	-	68448	-
Рентабельность кап.вложений	%	-	960	-
Окупаемость кап.вложений	годы	-	0,104	-

Смета затрат на производство рассчитывается по номенклатуре калькуляционных расходов: сырье и основные материалы, вспомогательные материалы, реагенты и катализаторы, топливо и энергия, основная и дополнительная заработная плата, отчисления на социальное страхование, расходы на подготовку и освоение производства, содержание и эксплуатацию оборудования, внутривоздушная перекачка и общезаводские расходы.

Анализ экономической эффективности реконструкции установки гидроочистки

Расчёт технико-экономических показателей установки гидроочистки показал что реконструкция является экономически эффективной:

- ✓ мощность производства увеличилась на 99456 т/год;
- ✓ увеличился годовой выпуск основной продукции на 95641,9т/год;
- ✓ прирост чистой прибыли составит 657190,856 тыс. руб.;
- ✓ срок окупаемости капитальных вложений составит 0,104 года.

Библиографический список

1. Басиров Р.Н. Реакторы гидроочистки / Р.Н. Басиров [Электронный ресурс] // Молодой исследователь: вызовы и перспективы. - Москва, 2020. - Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42881877>
2. Тюменцева Е.Ю., Шедько В.А. Модернизация реакторного блока установки гидроочистки дизельных топлив / Е.Ю. Тюменцева, В.А. Шедько [Электронный ресурс] // Экологические проблемы региона и пути их разрешения. - Омск, 2022. - Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49452515>
3. Залипаева О.А., Ящук В.М., Гарбузова А.А., Залипаев П.П. Модернизация установки гидроочистки дизельных топлив / О.А. Залипаева, В.М. Ящук, А.А. Гарбузова, П.П. Залипаев [Электронный ресурс] // Сборник статей. Министерство образования и науки РФ, ВПИ (филиал) ФГБОУВО ВолгГТУ. Волгоград, 2021. - Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46245106>

УДК 665.6.035; ГРНТИ 61.51.37

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ ОТ ВВОДИМЫХ ПОЛИМЕРОВ

Л.А. Ковалева, Е.В. Воробьева

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, karelina.mura@mail.ru

Аннотация. В работе рассматриваются битумы нефтяные дорожные модифицированные полимерами. Приводятся физико-химические свойства чистых битумов, а также особенности влияния групп веществ, входящих в состав БНД. Рассмотрены наиболее часто вводимые полимеры в битумную смесь: стирол-бутадиен-стирол (СБС) и атактический полипропилен (АПП). Более подробно рассмотрено влияние СБС на БНД, включая экспериментальную часть, в ходе которой исследовалась динамическая вязкость в зависимости от количества вводимого полимера в смесь. Дана сравнительная характеристика для полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) в количестве полимера 3, 6, 9 % от массы смеси.

Ключевые слова: битумы нефтяные дорожные (БНД), стирол-бутадиен-стирол (СБС) и атактический полипропилен (АПП), полимерно-битумные вяжущие (ПБВ).

INVESTIGATION OF THE DEPENDENCE OF THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF ROAD BITUMEN ON THE INTRODUCED POLYMERS

L.A. Kovaleva, E.V. Vorobyova

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, karelina.mura@mail.ru

The summary. The paper considers petroleum bitumen road modified with polymers. The physicochemical properties of pure bitumen are given, as well as the peculiarities of the influence of the groups of substances that make up the BND. The most commonly introduced polymers into the bitumen mixture are considered: styrene-butadiene-styrene (SBS) and atactic polypropylene (APP). The effect of SBS on BND is considered in more detail, including the experimental part, during which the dynamic viscosity was studied depending on the amount of polymer introduced into the mixture. A comparative characteristic is given for polymer-bitumen binders (PBB) in the amount of polymer 3, 6, 9% by weight of the mixture.

Keywords: petroleum road bitumen (BND), styrene-butadiene-styrene (SBS) and atactic polypropylene (APP), polymer-bitumen binders (PBV).

В настоящее время нефтяные битумы находят широкое применение, например, в дорожном строительстве используют битум нефтяной дорожный (БНД). К сожалению, он не способен полностью удовлетворить предъявляемые требования. Необходимо увеличить устойчивость к деформации, конструкционную прочность, водостойкость, обеспечив тем самым срок эксплуатации. Целью нашего исследования было рассмотрение возможности замены БНД на ПБВ (полимерно-битумные вяжущие).

В ходе работы опытным путем исследовались физико-химические свойства различных битумных композиций, определялось количественное соотношение вводимых полимеров, рассматривалась возможность применения полимеров для улучшения свойств битума.

Используются следующие марки вязких битумов для дорожных покрытий:

БНД (битум нефтяной дорожный): БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130, БНД 130/200, БНД 200/300.

В таблицах 1-3 представлены характеристики физико-химических свойств вязких битумов разных марок, включая битум нефтяной (БН).

Таблица 1. Физико-химические свойства вязких битумов

Наименование показателя	Норма для дорожных вязких битумов марки БНД				
	БНД 200/300	БНД 130/200	БНД 90/30	БНД 60/90	БНД 40/60
Глубина проникания иглы, 0,1мм					
при 25°C	201-300	131-200	91-130	61-90	40-60
при 0°C, не менее	45	35	28	20	13
Температура размягчения по кольцу и шару, °C, не ниже	35	40	43	47	51
Растяжимость, см, не менее					
при 25°C	-	70	65	55	45
при 0°C	20	6,0	4,0	3,5	-
Температура хрупкости, °C, не выше	-20	-18	-17	-15	-12
Температура вспышки, °C, не ниже	220	220	230	230	230
Изменение температуры размягчения после прогрева, °C	7	6	5	5	5
Индекс пенетрации	От – 1,0 до + 1,0				

Таблица 2. Физико-химические свойства вязких битумов

Наименование показателя	Норма для дорожных вязких битумов марки БН			
	БН 200/300	БН 130/200	БН 90/130	БН 60/90
Глубина проникания иглы, 0,1мм				
при 25°C	201-300	131-200	91-130	60-90
при 0°C, не менее	24	18	15	10
Температура размягчения по кольцу и шару, °C, не ниже	33	38	41	45
Растяжимость, см, не менее				
при 25°C	-	80	80	70
при 0°C	-	-	-	-
Температура хрупкости, °C, не выше	-14	-12	-10	-6
Температура вспышки, °C, не ниже	220	230	240	240
Изменение температуры размягчения после прогрева, °C	8	7	6	6
Индекс пенетрации	От – 1,5 до + 1,0			

Для замедления старения, повышения водостойкости, прочности, устойчивости к деформации, к резким колебаниям температур вводятся адгезионные, пластифицирующие, структурирующие добавки.

Модифицированные полимером битумы (ПБВ) получают в результате механического смешивания или химического взаимодействия битума с полимерами (от 3% до 10% от массы битума). В таблице 4 представлена сравнительная характеристика применяемых полимеров.

Таблица 3. Сравнительная таблица СБС и АПП

СБС (стирол-бутадиен-стирол)	АПП (атактический полипропилен)
Высокая эластичность (удлинение при разрыве – более 600%)	Средняя эластичность (удлинение при разрыве – около 150%)
Отличная температура хрупкости (до -35°C)	Хорошая температура хрупкости (до -20°C)
Достаточная теплостойкость (до +100°C)	Высокая теплостойкость (до +140°C)
Частично растворяются в битумах при температуре 150°C. Требуется пластификаторы	Легко растворяются в битуме.

Применение модификаторов СБС позволяет улучшить реологические свойства битумов, в частности вязкость.

В ходе работы мы исследовали влияние стирол-бутадиен-стирола на вязкость битума.

В ходе экспериментальных работ исследовались вязкие дорожные битумы различных марок: БНД 130/200, БН 90/130, БН 200/300. Брали стирол-бутадиен-стирол в виде порошка линейной структуры. Содержание было 3, 6 и 9 % от массы смеси.

Переведенный в подвижное состояние битум помещали в коническую плоскодонную колбу на 2000 мл и доводили до 175°C, после чего вводили определенное количество СБС. Далее с помощью механической мешалки с подогревом перемешивали 2 часа при температуре 180°C в течение. По окончании перемешивания полученную эмульсию размещали по ёмкостям и доводили до 25°C, запечатывали и оставляли до определения вязкости.

Нами использовался метод определения динамической вязкости реометром с помощью параллельных пластин при 0-60°C, диаметр брали 8 и 25 мм. На пластину наносили битум в расчете: 0,1 г для толщины 8 мм и 1 г для толщины 25 мм, после размещали в реометр. Нагревали до размягчения битумного покрытия, пластину приводили в контакт с образцом, который подрезали, доводя зазор: 1 мм для толщины пластины в 25 мм и 1,5 мм для толщины пластины в 8 мм. Далее подвергали синусоидальному деформированию, с дальнейшим расчетом динамической вязкости. На рисунке 1 представлена зависимость динамической вязкости битума от содержания стирол-бутадиен-стирола линейной структуры.

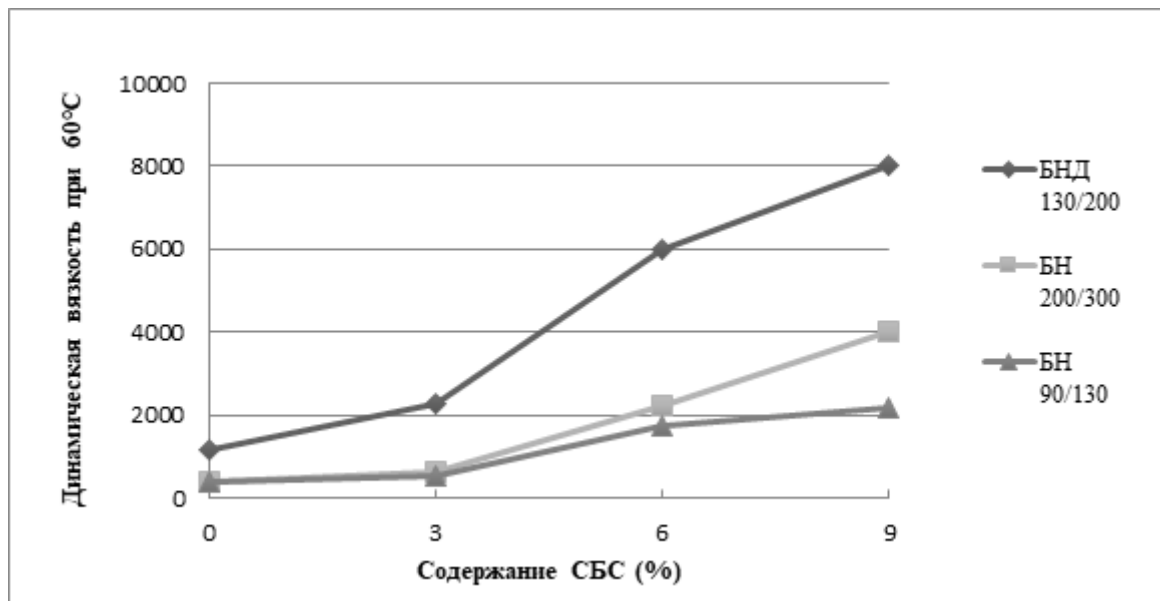


Рис.1. Влияние содержания линейного полимера СБС на динамическую вязкость битума

Анализ полученных данных позволил выявить, что изменение динамической вязкости битума с добавкой стирол-бутадиен-стирола не носит характер прямой зависимости от количества полимера, небольшое изменение проявляется в присутствии полимера около 3%. Следовательно, стирол-бутадиен-стирола не является неактивной добавкой и присутствуют межмолекулярные взаимодействия. В процессе перемешивания разогретый битум диффундирует в полимер, фрагменты которого набухают, повышается их подвижность и способность диспергироваться в битуме.

В результате, модифицированные битумы с небольшим содержанием добавки представляют собой сплошную фазу, а с большим содержанием характеризуются непрерывной фазой с диспергированными глобулами.

В ходе исследования отмечено, что битумы с СБС в количестве 3% ведут себя как чистые битумы, а при 6%, вязкость меняется. Данная модификация характеризуется снижением вязкостно-температурных свойств, что позволит улучшить устойчивость асфальта. Таким образом, модифицирование СБС улучшит физико-химические свойства для различного температурного режима.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что стирол-бутадиен-стирола не является инертной добавкой, увеличение количества СБС сопровождается ростом вязкости, наиболее оптимальным является содержание 6% добавки от массы битума.

Библиографический список

1. Гуреев А.А. Нефтяные вяжущие материалы. М.: Изд. дом «Недра», 2018. 239 с.
2. Теоретические аспекты расслаиваемости битумполимерных вяжущих / Д. А. Аюпов [и др.] // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 23. С. 50 - 52.
3. Azahar, N.B.M.; Hassan, N.A.; Jaya, R.P.; Mahmud, M.Z.H. An overview on natural rubber application for asphalt modification. Int. J. Agric. For. Plant. 2016, 2, 212-218.

УДК 66.048.3; ГРНТИ 61.51.17

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УСТАНОВКИ 12/1 С ЦЕЛЬЮ ВЫВОДА ЦИКЛОГЕКСАНОВОЙ ФРАКЦИИ

С.Г. Конюхов, В.В. Коваленко

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, SG_Konyukhov@rnpk.rosneft.ru*

Аннотация. В работе рассматривается возможность минимизации производства низкооктановых компонентов товарных бензинов, которыми являются растворители и бензол – продукты установки Л-35-6/300 АО «РНПК» в результате снижения или отсутствия на них спроса. Сырьё Л-35-6/300 – фракция 85-105 – содержит компоненты, образующие бензол на топливных риформингах, что приводит к ограничению вовлечения этой фракции в сырьё топливных риформингов, а высокое содержание углеводородов C7+ не позволяет отправлять фракцию 85-105 на НТИ.

На актуальной инженерной модели установки 12/1 рассчитаны три варианта работы с распределением фракции 85-105 между фракциями НК-85 и 105-180 и два варианта с отбором циклогексановой фракции, как бокового погона с низка колонны К-302.

Так же на актуальных инженерных моделях установок риформинга ЛЧ-35-11/600 и ЛГ-35-8/300Б оценено влияние изменения качества фракции 105-180 для обоих вариантов и предложена корректировка в режиме работы установок риформинга для приведения качества стабильного катализата к стандартному. И на модели PIMS была рассчитана экономическая эффективность варианта работы с отбором циклогексановой фракции.

MODERNIZATION OF THE TECHNOLOGICAL SCHEME OF UNIT 12/1 IN ORDER TO REMOVE THE CYCLOHEXANE FRACTION

S.G. Konyukhov, V.V. Kovalenko

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, SG_Konyukhov@rnpk.rosneft.ru*

The summary. The work examines the possibility of minimizing the production of low-octane components of commercial gasoline, which are solvents and benzene - products of the L-35-6/300 installation of «RNPK» JSC because of a decrease or lack of demand for them. The L-35-6/300 feedstock – fraction 85-105 – contains components that form benzene in fuel reforming, which leads to limited involvement of this fraction in fuel reforming feedstock, and the high content of C7+ hydrocarbons does not allow fraction 85-105 to be sent to NTI.

Using the current engineering model of the 12/1 installation, three options are calculated with the distribution of the 85-105 fraction between the NK-85 and 105-180 fractions and two options with the selection of the cyclohexane fraction as a side stream from the bottom of the K-302 column.

In addition, using current engineering models of the reforming units LCh-35-11/600 and LG-35-8/300B, the effect of changes in the quality of the 105-180 fraction for both options was assessed and an adjustment was proposed in the operating mode of the reforming units to bring the quality of the stable catalyzate to the standard one. Moreover, using the PIMS model, the economic efficiency of the option of working with the selection of the cyclohexane fraction was calculated.

На экономическую эффективность нефтеперерабатывающего предприятия влияет огромное количество факторов: от цен на нефть и ее качества, до ремонта и простоя единичного технологического оборудования. При этом процессы нефтепереработки характеризуются высокой гибкостью – установки могут эксплуатироваться на различном сырье, в различных технологических режимах и выпускать вариативную по качеству продукцию, потребляя при этом разный объем энергии. Такая гибкость открывает возможность для увеличения прибыли. [1]

Немаловажным фактором является сырьё, качество и количество которого сильно влияет на весь технологический процесс и установки подготовки сырья также являются важной неотъемлемой частью любого производства, и их работа напрямую влияет на работу других установок.

Так гибкость режимов работы установки 12/1, предназначенной для подготовки сырья для установок изомеризации и каталитического риформинга, в случае нестандартных макроэкономических условий, таких как сильное снижение ценовых показателей низкооктановых продуктов риформинга – растворителей, или в случае простоя установки Л-35-6/300, позволила бы увеличить производство высокооктановых компонентов, которые возможно вовлечь в товарный бензин.

Рассматривается возможность минимизации производства низкооктановых компонентов товарных бензинов, которыми являются растворители и бензол – продукты установки Л-35-6/300 в результате снижения или отсутствия на них спроса. Так же в период остановки на ремонт Л-35-6/300 фракция 85-105 направляется в БГС, что также может быть экономически нецелесообразно. Сырьё Л-35-6/300 – фракция 85-105 – содержит компоненты, образующие бензол на топливных риформингах, что приводит к ограничению вовлечения этой фракции в сырьё топливных риформингов, а высокое содержание углеводородов C_{7+} не позволяет отправлять фракцию 85-105 на НТИ.

Для оценки возможности остановки установки Л-35-6/300 рассмотрены варианты минимизации и исключения отбора фракции 85-105 с установки 12/1. Предлагается 3 варианта работы установки и они предусматривают изменение технологического режима работы и качества продуктов установки 12/1 в допустимых пределах, поэтому дополнительно проведена оценка изменения материального баланса и качества стабильного катализатора установок каталитического риформинга ЛЧ-35-11/600 и ЛГ-35-8/300Б для всех рассмотренных вариантов. [2]

Расчёты проводились на актуальных инженерных моделях установок 12/1, ЛЧ-35-11/600 и ЛГ-35-8/300Б.

Вариант 1 – Распределение компонентов фр. 85-105 между фракциями НК-85 и 105-180 (без отбора фр.85-105) за счёт исключения из работы колонны К-201. При сохранении текущей четкости деления на установке 12/1 и исключении отбора фр.85-105 можно увеличить содержание компонентов C_{7+} во фр.НК-85 до 5,0%масс., но такое превышение норм технологического регламента требует согласования с лицензиаром. Циклогексан в этом случае преимущественно остается во фракции 85-105 и выходит в составе тяжёлого катализатора на установке НТИ. Циклогексан, оставшийся во фракции 105-180, на установках риформинга преобразуется в бензол, и данный показатель увеличивается, но даже с таким содержанием бензола в катализате, товарные бензины соответствуют качеству Евро 5 и 6.

Вариант 2 – Отбор фр.85-105 (циклогексановой фракции) как бокового погона из куба колонны К-302 при проектной чёткости деления. В данном варианте расчёта предлагается путём повышения чёткости деления за счёт увеличения расхода орошения на установке 12/1 в колонне К-301/К-302 распределить наиболее ценные компоненты фр.85-105 между фракциями НК-85 (до н-гексана) и 105-180 (углеводороды C_{7+}), сохраняя при этом основные показатели качества этих фракций. Циклогексановую фракцию, состоящую на 43%масс. из циклогексана, отбирать на линии возврата орошения из куба колонны К-302 на верхнюю тарелку колонны К-301.

Вариант 3 – Продолжение работы установки Л-35-6/300 и аналогичные второму варианту распределение ценных компонентов между фракциями НК-85 и 105-180 и отбор фр.85-105 (циклогексановой фракции) как бокового погона из куба колонны К-302. Использование циклогексановой фракции, как сырья установки Л-35-6/300.

В таблицах 1,2 представлены материальный баланс, качество продуктов установки 12/1 при стандартном и рассчитанных режимах работы.

Таблица 1. Материальный баланс установки 12/1

Технологический поток	База		Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
	т/ч	%масс.	т/ч	%масс.	т/ч	%масс.	т/ч	%масс.
Поступило:								
фр. НК-180	110,07	100	110,07	100	110,07	100	110,07	100
Итого	110,07	100	110,07	100	110,07	100	110,07	100
Получено:								
Фр. НК-85	58,16	52,84	69,96	63,56	60,26	54,75	56,94	51,73
Фр. 85-105	28,55	25,94	0,00	0,00	7,35	6,68	11,25	10,22
Фр. 105-180	23,36	21,22	40,11	36,44	42,46	38,57	41,88	38,05
Итого	110,07	100,00	110,07	100,00	110,07	100,00	110,07	100,00

Таблица 2. Качество продуктов установки 12/1

Параметры	Ед. изм.	База	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Фракция НК-85					
Содержание C5	%масс.	43,72	36,35	41,46	40,69
Содержание C6		39,64	37,23	40,01	40,20
Содержание C7+		0,64	5,00	0,38	0,15
Содержание бензола		1,06	1,57	1,45	1,27
Содержание метилциклопентана		6,46	9,19	9,08	8,41
Содержание циклогексана		2,28	5,29	1,69	0,36
Фракция 85-105					
Содержание C5	%масс	0,00	-	6,10	5,61
Содержание C6	%масс	10,49	-	26,37	28,08
Содержание C7+		67,1	-	11,56	16,11
Содержание метилциклопентана		9,38	-	13,09	14,60
Содержание циклогексана		10,00	-	43,00	35,31
Содержание бензола		1,70	-	3,13	3,35
ОЧИ	-	57,5	-	72,2	71,2
Фракция 105-180					
Испаряемость при 100 °С по ASTM D86	%об.	0,00	1,60	42,45	38,61
Содержание циклогексана	%масс.	0,00	1,20	0,01	0,01
Содержание бензола		0,00	0,01	0,00	0,00

Для оценки влияния изменения качества фракции 105-180 на материальный баланс и качество стабильного катализата установок каталитического риформинга для каждого рассматриваемого варианта проведён расчёт на инженерных моделях установок ЛЧ-35-11/600 и ЛГ-35-8/300Б. При переработке облегченной фракции 105-180 увеличивается выход стабильного катализата и снижается его октановое число по исследовательскому методу, поэтому для каждого варианта расчета дополнительно было определено значение увеличения температуры реакции для достижения базовых значений ОЧИ. [3]

Результаты расчета приведены в таблицах 3 и 4 для установок ЛЧ-35-11/600 и ЛГ-35-8/300 соответственно.

Таблица 3. Результаты расчета на установке ЛЧ-35-11/600

Параметры	Ед. изм.	База	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
			-	корр. темп.	-	корр. темп.	-	корр. темп.
Температура на входе в реактора	°С	486,0	486,0	488,4	486,0	491,6	486,0	491,5
Материальный баланс								
ВСГ (отду- вочный)	%масс.	9,19	8,53	9,30	8,30	9,28	7,79	7,79
Газ сухой		2,34	1,42	2,96	1,06	3,17	2,70	3,29
Рефлюкс		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Стабильный катализат		88,47	90,06	87,74	90,64	87,54	89,51	88,92
Итого		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Качество стабильного катализата								
Плотность при 20°С	кг/м ³	777,4	774,6	779,1	773,3	779,9	765,5	767,4
МОЧ	-	85,3	83,7	86,0	82,9	86,4	84,0	84,9
ИОЧ	-	95,2	94,2	95,2	93,7	95,2	94,0	94,5
Парафины	%масс.	38,32	40,59	36,84	41,56	36,22	42,52	40,92
Олефины		0,09	0,11	0,06	0,12	0,05	0,14	0,10
Нафтены		1,33	1,43	1,90	1,48	2,17	1,22	1,32
Ароматика	%об.	53,66	51,30	54,66	50,26	55,05	49,21	50,73
Бензол		0,71	0,63	0,67	0,56	0,68	1,26	0,64

Таблица 4. Результаты расчета на установке ЛГ-35-8/300Б

Параметры	Ед. изм.	База	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
			-	корр. темп.	-	корр. темп.	-	корр. темп.
Температура на входе в реактора	°С	478,0	478,0	482,3	478,0	484,2	478,0	484,0
Материальный баланс								
ВСГ (отдувочный)	%масс.	9,19	8,53	9,30	8,30	9,28	8,32	9,29
Газ сухой		2,34	1,42	2,96	1,06	3,17	1,09	3,16
Рефлюкс		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Стабильный катализат		88,47	90,06	87,74	90,64	87,54	90,59	87,54
Итого		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Качество стабильного катализата								
Плотность при 20°С	кг/м ³	777,4	774,6	779,1	773,3	779,9	781,4	779,9
МОЧ	-	85,3	83,7	86,0	82,9	86,4	87,6	86,4
ИОЧ	-	95,2	94,2	95,2	93,7	95,2	93,8	95,2
Парафины	%масс.	38,32	40,59	36,84	41,56	36,22	35,14	36,24
Олефины		0,09	0,11	0,06	0,12	0,05	0,06	0,05
Нафтены		1,33	1,43	1,90	1,48	2,17	1,19	2,14
Ароматика	%об.	53,66	51,30	54,66	50,26	55,05	56,99	55,06
Бензол		0,71	0,63	0,67	0,56	0,68	0,85	0,68

На модели PIMS производственного плана была проведена оценка экономической эффективности 3-го варианта расчета – отбора циклогексановой фракции как бокового погона из куба колонны К-302 при работе установки Л-35-6/300. В ходе расчета выявлена маржинальная эффективность в 55 млн. руб/ в год.

Библиографический список

1. Магеррамов А.М., Ахмедова Р.А., Ахмедова Н.Ф. Нефтехимия и нефтепереработка. Учебник для высших учебных заведений. Баку: Издательство «Баки Университети», 2009. – 660 с.
2. Синтез схем разделения с учетом термодинамических особенностей многокомпонентных смесей: диссертация ... кандидата технических наук: 05.17.08. - Москва, 1981. - 168 с.
3. Чеканцев Н.В., Иванчина Э.Д., Чузлов В.А., Куртуков В.А. Оптимизация состава перерабатываемого сырья на установках каталитического риформинг бензинов и изомеризации пентан-гексановой фракции с использованием комплексной математической модели «HYSYS IZOMER ACTIV». Томск: Фундаментальные исследования №8, 2013.

УДК 543.51; ГРНТИ 31.19

КВАДРУПОЛЬНАЯ ТАНДЕМНАЯ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ

М.В. Дубков, К.А. Ветшев, А.Д. Рубцова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, adr1999@list.ru*

Аннотация. Тандемная масс-спектрометрия представляет собой современный метод структурной диагностики и идентификации веществ в составе смесей. Причиной возникновения методики являлась необходимость проведения точного качественного анализа с использованием дополнительных фрагментационных ячеек. Таким образом, становится возможным получить информацию о структуре молекул химических веществ, входящих в состав исходной анализируемой смеси, независимо от степени их летучести. В статье рассматривается одна из разновидностей исполнений тандема – тройной квадруполь. Приводится описание принципа работы устройства, основные достоинства и недостатки.

Ключевые слова: масс-спектрометрия, тандемный масс-спектрометр, квадрупольный масс-анализатор, тройной квадрупольный тандемный масс-спектрометр.

QUADRUPOLE TANDEM MASS SPECTROMETRY

M.V. Dubkov, K.A. Vetshev, A.D. Rubtsova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, adr1999@list.ru*

The summary. Tandem mass spectrometry is a modern method for structural diagnostics and identification of substances in mixtures. The reason for the emergence of the technique was the need to conduct accurate qualitative analysis using additional fragmentation cells. Thus, it becomes possible to obtain information about the structure of the molecules of chemical substances that are part of the initial mixture being analyzed, regardless of the degree of their volatility. The article discusses one of the varieties of tandem designs - a triple quadrupole. A description of the operating principle of the device, main advantages and disadvantages is given.

Keywords: mass spectrometry, tandem mass spectrometer, quadrupole mass analyzer, triple quadrupole tandem mass spectrometer.

Масс-спектрометрия – это инструментальный метод качественного анализа смесей веществ. Исследования посредством такого метода позволяют с высокой точностью определять отдельные компоненты путем построения графических зависимостей интенсивности тока, пропускаемого через исходный состав, от значения отношения массы к заряду элементов. Точки, в которых наблюдается рост интенсивности, обуславливают наличие массового пика, что, в свою очередь, является индикатором присутствия в анализируемой смеси тех или иных веществ.

Возможен анализ широкого спектра образцов химических веществ, что обуславливает большой диапазон практических применений рассматриваемой методики. Так, масс-спектрометрия играет ключевую роль в фармацевтике при разработке новых лекарственных препаратов. С ее помощью ученые могут определить структуру и концентрацию различных соединений в фармацевтических препаратах, а также исследовать их взаимодействие с организмом человека [1]. Это позволяет повысить эффективность лекарств и минимизировать побочные эффекты. С помощью масс-спектрометрических методов проводятся исследования различных биомолекул: нуклеиновых кислот, углеводов, белков и т.д., что, в свою очередь, открывает новые возможности в понимании биологических процессов и развитии методов диагностики и лечения болезней [2]. Применение масс-спектрометрических приборов в химической промышленности позволяет контролировать качество получаемой продукции. Известны также случаи экологического приложения масс-анализа, подразумевающие проведение экологического мониторинга на предмет наличия загрязнителей [3].

Одним из основателей масс-спектрометрии является американский физик Джозеф Джон Томпсон. Именно он создал первый в мире масс-анализатор в 1912 году. Прибор представлял собой вакуумное устройство, состоящее из источника ионов, анализатора массы и детектора. В источнике ионы генерировались путем облучения образца высокоэнергетическими частицами и затем они перемещались в анализатор массы, который разделял их в зависимости от отношения массы к заряду. Далее ионы попадали на детектор, который регистрировал их и создавал масс-спектр. Эксперименты, проведенные Томсоном, помогли установить основные принципы масс-спектрометрии. Он исследовал различные типы ионизации, разработал методы разделения ионов в анализаторе массы, а также методы регистрации и анализа полученных данных.

Со времени создания первого масс-анализатора и на протяжении всего XX-ого века масс-спектрометрические методы исследования претерпевали существенные изменения. Открытие новых методов ионизации и фрагментации, компьютеризация и автоматизация масс-анализа, использование tandemной технологии - история развития рассматриваемой методики свидетельствует о постоянном стремлении улучшить точность и чувствительность анализа, а также расширить область ее применения.

Среди современных исследований в области приборостроения и конструирования масс-спектрометрических устройств особое место занимают tandemные масс-спектрометры. Причина возникновения таких приборов заключается в необходимости модернизации методик масс-спектрометрического анализа в целях детектирования сложных смесей, состоящих из нескольких веществ независимо от степени их летучести [3]. В общем случае tandem представляет собой последовательность нескольких спектрометров, выполняющих определенные функции. На первой ступени происходит разделение первичных ионов, а также их селективная выборка по конкретному значению отношения массы к заряду. Вторая ступень – фрагментация отобранных ионов, называемых вторичными. Третья, завершающая ступень, представляет собой непосредственный анализ полученных частиц [4].

На сегодняшний день известно два основных способа реализации tandemной технологии. В первом используются спектрометры одинакового устройства, во втором, соответственно, гибриды. Наибольшее распространение получили следующие виды tandemов:

- тройной квадрупольный tandemный масс-спектрометр;
- tandemные масс-спектрометры с ионной ловушкой;
- времяпролетные tandemные масс-спектрометры.

Тройной квадрупольный tandemный масс-спектрометр используется повсеместно для решения различных задач аналитической химии. Он выгодно отличается от других tandemов простотой конструкции. В общем случае квадрупольный масс-анализатор представляет собой четырехэлектродную систему, состоящую из набора параллельных цилиндрических стержней в вакууме (рис.1) [5].

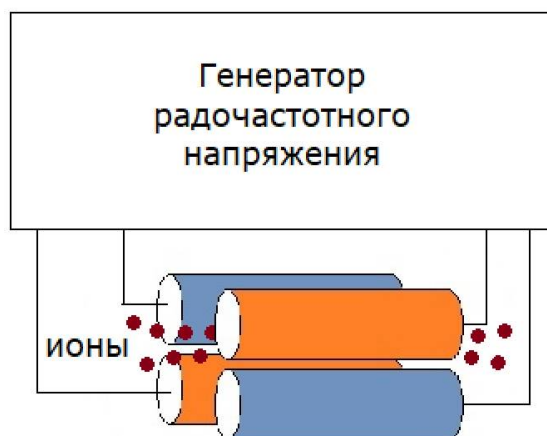


Рис. 1. Схема одиночного квадрупольного масс-фильтра

Разделение фрагментированных частиц осуществляется на основании стабильности траекторий их движения относительно электрического поля. Между парой противоположных друг другу электродов создается радиочастотное напряжение, которое заставляет ионы перемещаться по аналитической ячейке. Частицы ускоряются ближе к детектору, изменяя электрическое поле таким образом, чтобы на каждом этапе ионы с определенным отношением массы к заряду проходили по всей длине анализатора. Диапазоны масс колеблющихся ионов сканируются путем изменения квадрупольных напряжений постоянного/радиочастотного тока.

Реализация в тандеме представляет собой каскад масс-фильтров соответствующего типа, разделенных между собой газовой ячейкой (рис.2). Первый прибор (МС1) реализует выделение первичных ионов, которые далее поступают в газovou ячейку для фрагментации (МС2). Полученные фрагменты подвергаются масс-анализу в последующем спектрометре (МС3).

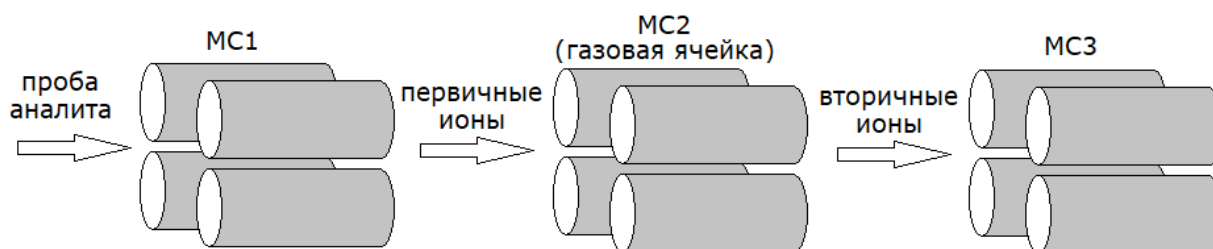


Рис. 2. Схематичное изображение реализации тандемной технологии посредством последовательного соединения трех квадрупольных масс-анализаторов

Тройной квадрупольный тандемный масс-спектрометр обладает рядом преимуществ, которые делают его мощным и универсальным аналитическим инструментом. По сравнению с другими типами тандемных спектрометров он обладает следующими достоинствами [6]:

1. Высокая чувствительность, обусловленная наличием двух и более последовательно связанных квадруполей. Такая система способна обнаруживать и анализировать микроскопические количества веществ в образцах, даже при низких концентрациях.
2. Высокая специфичность. Прибор обладает возможностью проводить спектральную фильтрацию, благодаря чему происходит исключение фоновых частиц.
3. Возможность проведения химической реакции непосредственно внутри спектрометра. Такие реакции могут быть полезны для исследования структуры молекул и механизмов химических процессов.

4. Оценка степени фрагментации частиц. Прибор позволяет измерять массу ионов и их фрагментацию с высокой точностью. Это особенно полезно для исследования сложных смесей, анализа структуры биологических молекул и определения массы неизвестных соединений.

Важно понимать, что использование спектрометрических каскадов по сравнению с одиночными масс-анализаторами отличается высокой стоимостью и низкой скоростью исследования. В тройном квадрупольном масс-спектрометре второй недостаток нивелировать, заменив третий квадруполь ортогональным времяпролетным анализатором. Это существенно ускорит процесс детектирования и увеличит чувствительность анализа в целом [4].

Существуют также другие проблемы в технике изготовления и применения тройных квадрупольных тандемов, однозначное решение которых пока не найдено. Так, основной причиной редкого использования подобных конструкций масс-спектрометрических приборов является необходимость сложной настройки, заключающейся в правильном подборе параметров питания и соединения спектрометров между собой. Помимо этого также требуется установка дополнительного программного обеспечения для корректной обработки данных анализа. Однако высокая чувствительность, специфичность и возможность проведения химических реакций делают его ценным инструментом для широкого спектра исследований в различных областях науки и техники.

Библиографический список

1. Полунина Т. А. и др. Масс-спектрометрия в медицине и биотехнологии // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 2013. – №. 5. – С. 112-119.
2. Лебедев, А. Т. Масс-спектрометрия в органической химии: учебное пособие / А. Т. Лебедев. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Техносфера, 2015. — 704 с.
3. Лебедев, А. Т. Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды / А. Т. Лебедев ; пер. с англ. под ред. А. Т. Лебедева. — Москва: Техносфера, 2013. — 632 с.
4. Веренчиков А. Н., Краснов Н. В., Галль Л. Н. Тандемные масс-спектрометры в биохимии // Научное приборостроение. – 2004. – Т. 14. – №. 2. – С. 4-23.
5. Слободенюк Г.М. Квадрупольные масс-спектрометры. – М.: Атомиздат, 1974. – 272 с.
6. Yost R. A., Boyd R. K. et al. Tandem mass spectrometry: Quadrupole and hybrid instruments // Methods in enzymology. – 1990. – Т. 193. – С. 154-200.

УДК 543.51; ГРНТИ 31.19

СРАВНЕНИЕ ТИПОВ ЭЛЕКТРОДНЫХ СИСТЕМ НЕПРЕРЫВНЫХ МАСС-АНАЛИЗАТОРОВ

М.В. Дубков, К.А. Ветшев, А.Д. Рубцова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, vetshev.k.a@rsreu.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются различные типы электродных систем непрерывных масс-анализаторов. Приводятся их основные конструкционные особенности, достоинства и недостатки. Рассмотрено три типа наиболее встречающихся конфигураций – монополярная, трипольная и квадрупольная. Более подробно описаны квадрупольный и трипольный варианты. Представлены конструкции каждого из рассмотренных типов масс-анализаторов. Дана сравнительная характеристика рассмотренных электродных систем.

Ключевые слова: квадруполь, триполь, монополь, масс-спектрометрия, масс-анализатор, электродные системы.

COMPARISON OF TYPES OF ELECTRODE SYSTEMS FOR CONTINUOUS MASS ANALYZERS

M.V. Dubkov, K.A. Vetshev, A.D. Rubtsova

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, vetshev.k.a@rsreu.ru

The summary. The work discusses various types of electrode systems for continuous mass analyzers. Their main design features, advantages and disadvantages are given. Three types of the most common configurations are considered: monopole, tripole and quadrupole. The quadrupole and tripole options are described in more detail. The designs of each of the considered types of mass analyzers are presented. A comparative description of the considered electrode systems is given.

Keywords: quadrupole, tripole, monopole, mass spectrometry, mass analyzer, electrode systems.

В настоящее время разработка и изучение методов анализа различных веществ является достаточно актуальной. Одним из наиболее точных и перспективных методов идентификации веществ является масс-спектрометрия. Метод основан на измерении соотношения массы иона к его заряду. В результате исследования строится график распределения заряженных частиц по массовым числам, напоминающий спектральные линии.

Масс спектрометры могут работать по пространственному или временному принципу разделения ионного потока относительно массы заряженных частиц. Процесс происходит в высоком вакууме в электрическом и магнитном поле при следующей последовательности:

1. ионизация атомов;
2. создание потока заряженных частиц;
3. разделение заряженных частиц по массам;

4. обработка компьютером электрических сигналов полученных путем преобразования энергии сепарированных ионов.

В масс-спектрометре выделяют следующие элементы конструкции:

1. система для ввода аналита;
2. ионизатор с ускорителем потока заряженных частиц;
3. масс-анализатор для разделения потоков;
4. детектор;
5. ЭВМ для обработки данных.

Одной из наиболее важных частей аппарата является масс-анализатор. Он необходим для разделения потока заряженных частиц по их соотношению заряда к массе. Различают непрерывные и импульсные масс-анализаторы [1].

К непрерывным масс-анализаторам можно отнести монопольные, трипольные и квадрупольные [2].

Самым простым по конструкции является монопольный масс-анализатор, он представляет собой один стержневый и один уголкового электроды, что представлено на рисунке 1. Главным достоинством будет являться простота исполнения, малые габариты и дешевизна конструкции. Из недостатков можно выделить невысокие аналитические параметры в сравнении с другими масс-анализаторами [3].

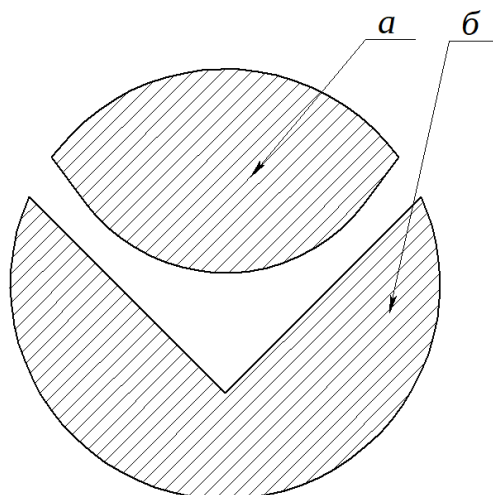


Рис. 1. Электродная система монопольного масс-анализатора в разрезе:
а) стержневый электрод; б) угловой электрод

К наиболее распространённым можно отнести квадрупольный масс-анализатор. Он представляет собой четыре стержневых электрода расположенных симметрично относительно центра, что представлено на рисунке 2. К электродам подается попарно в разной полярности последовательность постоянного и высокочастотного напряжения. Под воздействием создаваемого электродной системой поля ионы колеблются вдоль осей X и Y . При столкновении иона с одним из электродов он нейтрализуется. Отфильтрованные ионы пролетев все пространство квадруполя направляются в детектор. При такой конфигурации электродов достигается высокая разрешающая способность и масс-селективность[4].

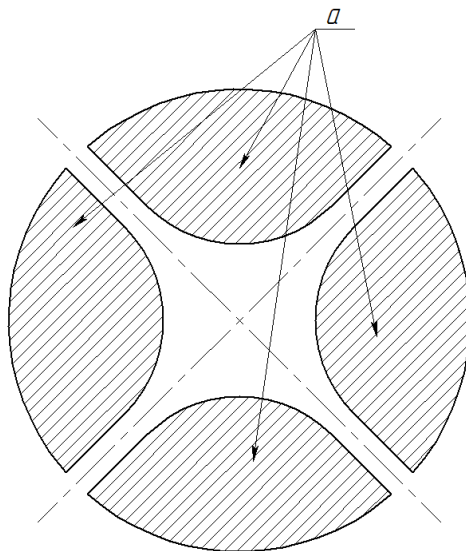


Рис. 2. Конструкция квадрупольного масс-анализатора: а) стержневые электроды.

Одним из менее используемых, но достаточно перспективных масс анализаторов является триполь. Существует два варианта исполнения таких аппаратов. Первый состоит из трех стержневых и одного углового электродов, расположенных аналогично квадрупольной системе, что представлено на рисунке 3. Этот вариант исполнения позволяет упростить некоторые расчеты при моделировании процесса разделения, однако является чуть более ресурсоемким[5]. Угловой электрод имеет нулевой потенциал, в то время как на электроды подается последовательность постоянного и высокочастотного напряжения в разных полярностях, что позволяет создать масс-селективное электрическое поле.

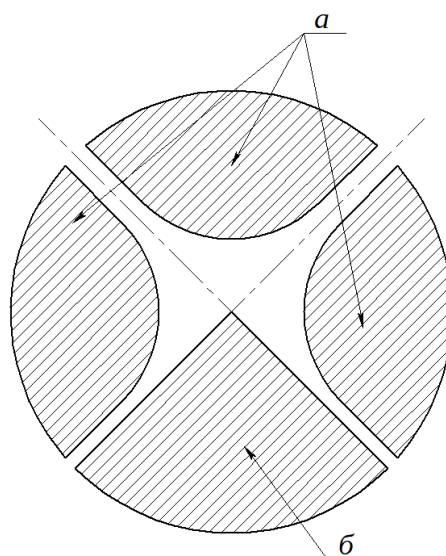


Рис. 3. Конструкция трипольного масс-анализатора:
а – стержневые электроды; б – угольный электрод

Второй вариант исполнения представляет собой 3 стержневых электрода расположенных симметрично под углом 120^0 относительно центра симметрии, что представлено на рисунке 4 [6]. Для создания масс-селективного электрического поля на одном электроде изменяется фазовый сдвиг переменного тока с симметричного 120^0 на асимметричный 20^0 и на другой электрод добавляется постоянное напряжение.

Аналитические параметры обеих систем будут близки между собой. Главным отличием этих электродных систем являются поля, создаваемые их электродами. Аналитические свойства таких масс анализаторов уступают квадрупольным аппаратам, однако имеют более высокую чувствительность относительно монополей, что в свою очередь позволяет их применять для грубой сортировки ионов.

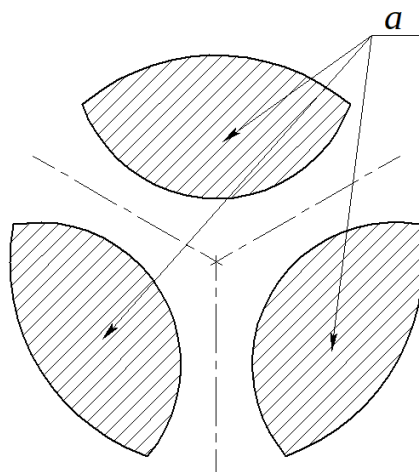


Рис. 4. Конструкция трипольного масс-анализатора с тремя стержневыми электродами:
а - стержневые электроды.

Самым лучшим вариантом исполнения является квадрупольный, он позволяет работать в широком диапазоне масс и выдавать хорошую разрешающую способность при высокой чувствительности. Монополь является самым простым по конструкции но сильно усту-

пает в аналитических параметрах более сложным электродным системам. Трипольный вариант исполнения уступает квадрупольному в разрешающей способности, однако такая система имеет достаточно высокую чувствительность.

Библиографический список

1. Лебедев А.Т, Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды - Москва: Техносфера, 2013. – 632с.
2. Лебедев А.Т, Масс-спектрометрия в органической химии. Издание второе, переработанное и дополненное - Москва: Техносфера, 2015. – 704с.
3. Дубков М. В., Буробин М. А., Харланов И. А. Монопольный масс-анализатор с продольным электрическим полем. – 2014.
4. Гуров В. С. и др. Квадрупольные масс-анализаторы на основе тонкостенных гиперболоидных электродных систем //Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2017. – №. 60. – С. 141.
5. М. В. Дубков, М. А. Буробин, Влияние искажений электродной системы на аналитические характеристики трипольного масс-анализатора - Вестник РГРТУ. - 2021, 77, - 113-120
6. G.A. Salazar, T Masujima, Computer Simulations of a New Three Rods Ion Optic (TRIPOLE) with High Focusing and Mass Filtering Capabilities. // J. of the American Society for Mass Spectrom. - 2007, 18, - 413-421.

УДК 544.478.02; ГРНТИ 61.51.37

КАТАЛИЗАТОРЫ ОКИСЛЕНИЯ МЕТИЛОВЫХ ЭФИРОВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ

С.А. Юдаев, А.Е. Сахаровская

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, sakharovochka21@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассматриваются катализаторы окисления на основе нефтяных металлопорфиринов, окисления непредельных углеводородов, окисления бутена-1, окисления норборнена для того, чтобы выявить какие из катализаторов более предпочтительны для проведения процесса окисления метиловых эфиров жирных кислот.

Ключевые слова: катализаторы, окисления, реакции, связь, соединения.

CATALYSTS FOR THE OXIDATION OF FATTY ACID METHYL ESTERS

S.A. Yudaev, A.E. Sakharovskaya

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkina,
Russian Federation, Ryazan, sakharovochka21@mail.ru

Abstract. This work examines oxidation catalysts based on petroleum metalloporphyrins, oxidation of unsaturated hydrocarbons, oxidation of butene-1, oxidation of norbornene in order to identify which catalysts are more preferable for the oxidation of fatty acid methyl esters.

Keywords: catalysts, oxidation, reactions, communication, compounds.

В последние годы растёт интерес к порфириновым комплексам переходных металлов в связи с их потенциальным использованием в качестве катализаторов. В литературе существует множество работ, где порфириновые комплексы переходных металлов успешно применяются в высокоселективных катализаторах для окисления углеводородов при умеренных температурах. Было синтезировано значительное количество металлопорфириновых соединений с разнообразным составом и строением боковых ответвлений, которые существенно влияют на их растворимость в органических растворителях. Особый интерес представляют природные металлопорфирины, которые хорошо растворяются в углеводородах благодаря присутствию эфирных, сложноэфирных фрагментов и алкильных радикалов в боковых ответвлениях. Среди них особенно привлекательны нефтяные металлопорфириновые комплексы, которые легко получают и могут быть использованы в нефтехимических процессах. Примерами таких применений являются получение высокооктановых бензинов в качестве

антидетонаторов к бензинам, каталитическая очистка природного газа от сероводорода и создание мембранного материала для очистки природного газа от радона. Для выделения смеси металпорфиринов из нефтяных остатков обычно применяется в нефтехимии метод селективной экстракции с использованием в качестве экстрагента этанольно-ацетоновой смеси со степенью выделения порфиринов в Количестве 50-60%, а также метод С использованием диметилформамида (ДМФА) с существенно большей степенью выделения хотя при этом наряду с металпорфиринами экстрагируются различные классы органических веществ, что является недостатком этого метода. С целью повышения селективности и эффективности экстракции металпорфиринов из нефти для экстракционно-хроматографического выделения синтезированы и предложены ДЛЯ использования новые бифункциональные органические экстрагенты: 2-метил-пентанон-4-ол-2 (1), 2,2,5-триметилгептанон-3-ол-5 (11), 2-гидроксициклогексанон (III) [4].

Окисления непредельных углеводов

Комплексные соединения переходных металлов с органическими лигандами, способными обратимо связывать молекулярный кислород, обладают особенно важными свойствами. Этот тип комплексов обещает быть эффективными окислительными агентами в реакциях окисления органических веществ. Молекулярный кислород обычно находится в триплетном состоянии, имеющем два неспаренных электрона с параллельными спинами, локализованными на различных орбиталях. Большинство органических молекул имеют синглетное состояние, причём их электроны обладают антипараллельными спинами. Из-за различий в направлении спинов электронов взаимодействие органических молекул с молекулой O_2 проходит медленно. Отсюда и возникла идея активации молекулярного кислорода с целью повышения его реакционной способности [1].

Катализаторы реакции окисления бутена-1

Также были разработаны доступные и простые металлокомплексные системы для каталитического окисления непредельных углеводов. Было показано, что эти системы способны катализировать селективное жидкофазное окисление бутена-1 до метилэтилкетона молекулярным кислородом при низкой температуре и атмосферном давлении. Лучшие результаты были получены при использовании хлорида одновалентной меди $Cu(I)Cl$. Катализатор для получения метилэтилкетона представляет собой бинарную систему, состоящую из комплексов хлоридов меди и палладия в мольном соотношении 2:1. В качестве лиганда используется гексаметилфосфорамид, а комплекс хлорида палладия содержит бензонитрил в качестве дополнительного комплексообразующего агента. Таким образом, был разработан комбинированный катализатор, который позволяет проводить реакцию окисления бутена до метилэтилкетона в мягких условиях (низкая температура, атмосферное давление) с высокой селективностью и выходом целевого продукта [2].

Реакция окисления норборнена

Реакция окисления норборнена и его алкилированных аналогов является одной из важнейших реакций органической химии. Она представляет интерес не только с теоретической точки зрения при изучении механизма окисления бициклических систем, но и имеет практическое значение, так как её продукты находят применение в различных отраслях промышленности. Были проведены исследования в области реакции окисления норборнена и его гомологов. При оптимальной температуре $60^\circ C$ конверсия норборнена составила 70%, а селективность образования 2,3-эпоксинорборнена – 58%. Побочными продуктами были норборнеолы и 2-норборнанон. Более низкая селективность 2,3-эпоксинорборнена с водн. H_2O_2 объясняется одновременным образованием других продуктов, норборнеолов и 2-норборнанона. Норборнеолы образуются из норборнена в результате катализируемой кислотой реак-

ции. Другие окислители, такие как аддукт мочевины и перекиси водорода (УНР) и трет-бутилперекись водорода (ТВНР), также были испытаны в реакции окисления норборнена. С УНР конверсия была почти такой же (69%), что и у водн. H_2O_2 реакция; однако основным продуктом с селективностью $>97\%$ был 2,3- 5 эпоксинорборнан. Таким образом, общий выход составил 66,9% при 60°C через 4 часа. Высокая селективность УНР объясняется контролируемым высвобождением H_2O_2 , отсутствие воды и менее кислая природа УНР. С ТВНР селективность по эпоксиду была $>96\%$; однако конверсия была низкой (27%). Предполагается, что механизм окисления норборнена протекает через промежуточные соединения $V(5+)$ -пероксо- и $V(4+)$ -супероксопродукты. Методы ЯМР, ЭПР и УФ-видимой спектроскопии использовались для понимания промежуточных продуктов и путей реакции [3].

Вывод

В заключении хотелось бы отметить что для проведения процесса окисления метиловых эфиров жирных кислот предпочтительны катализаторы: Окисление норборнена, а также окисление бутена-1 в метилэтилкетон, при проведении работ планируется оценить каталитическую активность катализаторов данного типа так как преимущество предложенных систем является проведение реакции при температурах близких к комнатной под атмосферным давлением и с высоким выходом. Данный тип более востребован и развит.

Библиографический список

1. Агагусейнова М.М., Джаббарова Н.Э. Комплексы переходных металлов с молекулярным кислородом. – Баку: Элм, 2012. – 200 с.
2. Agaguseynova M.M., Jabbarova N.E. Oxygen complexes of transition metals with molecular oxygen. Baku: Elm Publishing House. 2012. 200 p.
3. Biswas A., Das P., Kandar S.K., Agarwala A. Chiral Mn(III) salen catalyzed oxidation of hydrocarbons // Transition Metal Chemistry. 2010. Vol. 35. N 5. Pp. 527-530.
4. Лен Ж.М. Супрамолекулярная химия: Концепции и перспективы. Новосибирск: Наука, Сиб. отд. РАН, 1998, с.334.

УДК 006; ГРНТИ 90.27.31

КАЛИБРОВКА РЕНТГЕНОВСКОГО ЭНЕРГОДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗАТОРА СЕРЫ АСЭ-1

А.Д. Рубцова, В.О. Свирина, М.В. Скрипкина

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, masha.scripkina@mail.ru

Аннотация. Гетероатомные соединения, в частности соединения серы, содержатся в разных количествах почти во всех нефтяных запасах. Однако они являются нежелательными компонентными в исходном нефтяном сырье и продуктах нефтепереработки, поскольку оказывают негативное влияние на их качество. Определение показателя общей серы осуществляется различными химическими и инструментальными способами. В промышленности для подобных целей используются энергодисперсионный рентгенофлуорисцентный анализаторы. Такие приборы отличаются высоким уровнем точности, поддержание которой осуществляется проведением периодических проверок. В работе рассмотрена методика калибровки рентгеновского энергодисперсионного анализатора серы АСЭ-1. Показания были сняты по государственным стандартным образцам минерального масла с известными концентрациями серы. Получены градуировочные зависимости, выявлены случайные и систематические погрешности.

Ключевые слова: нефть, нефтепереработка, гетероатомные соединения, показатель общей серы, энергодисперсионный рентгенофлуорисцентный анализаторы серы, калибровка, государственный стандартный образец, калибровочный график.

CALIBRATION OF X-RAY ENERGY DISPERSIVE SULFUR ANALYZER ASE-1

A.D. Rubtsova, V.O. Svirina, M.V. Skripkina

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, masha.scripkina@mail.ru

The summary. Heteroatomic compounds, particularly sulfur compounds, are present in varying amounts in almost all petroleum reserves. However, they are undesirable as additional components in raw materials and refined products, since this negatively affects their quality. Determination of a general indicator with the distribution of various chemicals and instrumental methods. In industry, energy-dispersive X-ray fluorescence analyzers are used for similar purposes. Such devices have a high level of accuracy, which is maintained through periodic verification. The paper discusses the calibration technique for the ASE-1 X-ray energy dispersive sulfur analyzer. Readings were taken using government standard samples of mineral oil with known sulfur concentrations. Calibration dependencies were obtained and random and systematic errors were identified.

Keywords: oil, oil refining, heteroatomic compounds, total sulfur indicator, energy dispersive X-ray fluorescence sulfur analyzers, calibration, state standard sample, calibration graph.

На сегодняшний день нефть является важнейшим энергетическим ресурсом. Требования, предъявляемые к качеству продуктов ее переработки, с каждым годом ужесточаются. Главным образом это касается состава нефтепродуктов. Современные стандарты качества предусматривают достаточно низкий уровень содержания серы и ее соединений в продуктах нефтехимии и нефтепереработки. В среднем её содержание может варьироваться в диапазоне значений от 0,01% до 6% [1]. Присутствие таких примесей, как сероводород, меркаптаны, сульфиды, полисульфиды, тиофены, сероуглерод в нефти нежелательно, поскольку они значительно ухудшают качество получаемых нефтепродуктов, осложняют ее переработку, вызывая необратимую коррозию оборудования и отравляя катализаторы [2]. Поэтому определение содержания серы в нефтяных образцах и снижение ее концентрации имеет большое значение для нефтяной промышленности.

Анализ нефтяного сырья на предмет содержания серосодержащих соединений производится посредством различных химических и инструментальных методов. Широкое распространение получил энергодисперсионный рентгенофлуорисцентный способ количественного определения рассматриваемых веществ. Он предполагает использование специализированного оборудования – энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализатора. Такой прибор позволяет определять несколько различных элементов одновременно как в легких, так и в тяжелых фракциях, а также отличается простотой эксплуатации. Большинство функций в анализаторе автоматизированы, что позволяет существенно снизить случайную погрешность результатов измерений. Однако высокая точность устройства, которая является его основным достоинством, может снижаться при постоянной эксплуатации оборудования. Нивелирование подобной проблемы достигается путем периодической калибровки анализатора.

Отработка методики калибровки проводилась на рентгеновском энергодисперсионном анализаторе серы АСЭ-1 производства АО «Инновационный центр «Буревестник». Прибор состоит из камеры, в которую помещается анализируемый образец, и из непосредственного измерительного блока (рис.1). Последний состоит из источника излучения – рентгеновской трубки, фильтров излучения, детектора и разделительного окна.

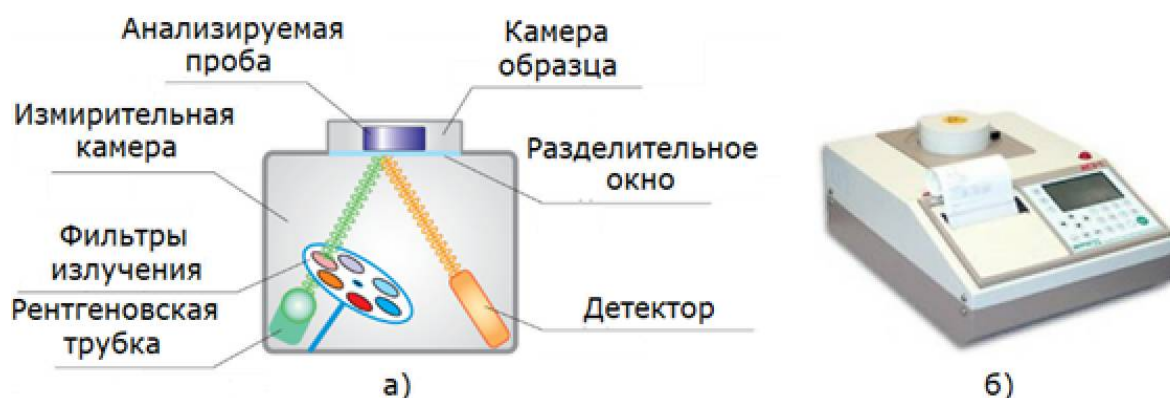


Рис. 1. Общая схема анализатора (а); внешний вид устройства (б)

Принцип действия устройства основан на измерении интенсивности рентгеновского излучения серы в анализируемой пробе и интенсивности рассеянного излучения углеводородной матрицы, являющейся основой образца. Измеренное значение интегральной интенсивности серы пропорционально ее концентрации.

Рентгеновое излучение, пропускаемое через фильтр, просвечивает анализируемую пробу через разделительное окно. Таким образом, в анализе возбуждается флуоресцентное излучение содержащейся серы, регистрируемое детектором. Оно преобразуется в электрический сигнал, который затем формируется и поступает в спектрометрический преобразователь. На выходе формируется импульс. Частота следования импульсов определенной амплитуды соответствует концентрации серы в образце [3]. В таблице 1 представлены наиболее важные для данной работы технические характеристики прибора.

Таблица 1. Технические характеристики анализатора серы АСЭ-1

Диапазон измерения массовой доли серы, масс. %	0,015 – 5,000
Пределы допускаемой относительной погрешности (до	±3
Время измерения, с	10 – 600
Объем пробы, мл	5 – 10
Температура при эксплуатации, °С	10 – 35
Влажность при эксплуатации, %	80

Калибровка производилась по известной методике посредством измерения содержания серы в государственных стандартных образцах (ГСО) минерального масла в диапазоне значений 0 - 0,1 масс. %.

После предварительной подготовки прибора задавались значения массовой доли серы в соответствии с рассматриваемым параметром, указанным на ГСО. Далее были подготовлены исследуемые образцы: собраны измерительные кюветы и заполнены испытуемыми пробами. Перед измерениями проводилась обязательная калибровка коэффициента усиления по контрольному образцу титана. На основании полученных данных прибором автоматически выводятся универсальные зависимости заданных значений серы X от измеренных Y , которые соответствуют выражению (1):

$$X = a + b * Y,$$

где a и b – коэффициенты, рассчитываемые прибором на основании проведенных измерений.

Аналогично определяется средняя квадратическая ошибка, характеризующая случайную погрешность измерений. В данном случае были получены следующие значения:

Коэффициент а.....-0,20737
Коэффициент b.....-0,31190
Средняя квадратическая ошибка.....0,00142

По выведенной зависимости построен градуировочный график (рис.2). В режиме калибровки анализатора реализована возможность исключения точек, выпадающих из основной зависимости. Таким образом, градуировочный график должен быть оптимальным.



Рис. 2. Градуировочный график для диапазона значений серы 0 – 0,1 %

Полученные результаты свидетельствуют о расхождении заданных и измеренных значений показателя серы в ГСО. Характер зависимости указывает на возрастание погрешности при увеличении концентрации серы в исследуемом образце. При этом отмечается низкий уровень средней квадратической ошибки, что свидетельствует о незначительной случайной погрешности и соблюдении норм проведения эксперимента. После калибровки в результате измерения концентрации серы в ГСО с массовой долей обсуждаемого компонента 0,05 масс. % прибор показал значение 0,1676 масс. %. Следовательно, его относительная погрешность составляет порядка 2,4 %, что в целом укладывается в заданный диапазон ошибок анализатора.

Апробируемая в работе методика калибровки достаточно проста в освоении и не требует серьезных временных затрат. Все действия, которые должен выполнить оператор в процессе градуировки, отображаются на дисплее прибора. Базируясь на выявляемых отклонениях в работе анализатора серы можно рассчитывать поправки и корректировать результаты измерений. Таким образом, калибровка рентгеновского энергодисперсионного анализатора серы АСЭ-1 по описанной методике может проводиться студентами в рамках учебного процесса по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация».

Библиографический список

1. Магеррамов А.М., Ахмедова Р.А., Ахмедова Н.Ф. Нефтехимия и нефтепереработка. Учебник для высших учебных заведений. Баку: Издательство «Баки Университети», 2009. – 660 с.
2. 2009, 660 с. Ахметов С.А. Лекции по технологии глубокой переработки нефти в моторные топлива: Учебное пособие. — СПб.: Недра, 2007. — 312 с.
3. Метрология, стандартизация и сертификация нефтепродуктов: методические указания к лабораторным работам/ Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: Т.П. Шуварикина, М.В. Лызлова. Рязань, 2015. 32 с.

УДК 665.6.035; ГРНТИ 61.51.23

**ИСКЛЮЧЕНИЕ ПОТЕРЬ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКА ПОСЛЕ ОБЕССОЛИВАНИЯ
И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НЕФТИ НА УСТАНОВКЕ
АТМОСФЕРНО-ВАКУУМНОЙ ТРУБЧАТКИ**

Е.С. Смирнов, А.Д. Маслов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, j.smirnov15@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматривается перенаправления потока обессоленной нефти с блока ЭЛОУ на блок АТ установки АВТ-1, в обход резервуарного парка в буферную ёмкость, для уменьшения количества выбросов в атмосферу и канализацию завода углеводородов и сохранения тепловой энергии. Исключение из технологической схемы резервуарного парка позволяет убрать возможные потери нефти и нефтепродуктов при «дыхании» резервуаров и дренировании подтоварной воды, облегчить работу очистным сооружениям предприятия, уменьшить теплопотерю в атмосферу подогретой нефти, а также снизить оказываемый негативный эффект на экологию.

Ключевые слова: резервуар, буферная емкость, сырая нефть, обессоленная нефть, «дыхание» резервуара, подтоварная вода.

**ELIMINATION OF LOSSES FROM THE USE
OF THE TANK PARK AFTER DESALINATION
AND DEWATERING OF OIL AT THE INSTALLATION
OF ATMOSPHERIC VACUUM TUBING**

E.S. Smirnov, A.D. Maslov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, j.smirnov15@gmail.com*

The summary. The paper considers redirecting the flow of desalinated oil from the Desalter unit to the AT unit of the AVT-1 installation, bypassing the tank farm into a buffer tank, in order to reduce the amount of air emissions and sewerage of the hydrocarbon plant and conserve thermal energy. The exclusion from the technological scheme of the tank farm makes it possible to remove possible losses of oil and oil products during the "breathing" of tanks and drainage of raw water, facilitate the work of the company's treatment facilities, reduce heat loss into the atmosphere of heated oil, as well as reduce the negative effect on the environment.

Keywords: reservoir, buffer tank, crude oil, desalinated oil, "breathing" of the reservoir, raw water.

На установке АВТ-1 нефть после проведения обессоливания и обезвоживания на блоке ЭЛОУ поступает в резервуарный парк и после подается на сырьевые насосы блока АТ для подогрева в теплообменниках теплом отходящих продуктов. За это время нефть, имеющая температуру 50–60 °С, проходит путь до резервуарного парка и обратно на установку по неизолированному трубопроводу, остывая в среднем на 20 °С, в резервуаре происходит оттаивание подтоварной воды, которая дренируется в заводскую канализацию, а также вследствие «дыхания» резервуаров происходит улетучивание легких углеводородов через дыхательный клапан.

Данная схема утратила свою актуальность так как была предназначена для обеспечения обессоленной нефтью помимо установки АВТ-1, так же установки АВТ-2, не обладавшей собственным блоком ЭЛОУ, которая в настоящий момент выведена из эксплуатации.

Резервуарный парк состоит из 6 резервуаров типа РВС-2000, 2 из которых предназначены под обессоленную нефть и не оборудованы понтонами.

В работе рассмотрим основные негативные эффекты при использовании резервуарного парка, как промежуточного участка движения нефти в пределах одной установки атмосферно-вакуумной трубчатки, от которых избавляет использование «жесткой» схемы пита-

ния блока АТ, с использованием буферной емкости, а также возможность реализации и осложения в работе, которые могут возникнуть при изменении технологической схемы.

Дыхание резервуара и дренирование подтоварной воды

Под дыханием понимается выход в атмосферу избытка паров или засасывание наружного атмосферного воздуха в емкости в зависимости от изменений температуры снаружи и внутри резервуара. При дыхании за счет открытия клапанов стравливается избыточное давление, возникающее при нагревании нефтепродукта, или обеспечивается поступление воздуха из атмосферы при вакуумировании за счет охлаждения нефтепродуктов. Как только вакуум достигает величины, равной уставке вакуумного клапана, внутрь резервуара поступает атмосферный воздух, интенсифицируя процесс испарения. В дневное же время под воздействием солнечной радиации и более высокой температуры наружного воздуха давление в газовой подушке резервуара увеличивается. Как только оно сравнивается с уставкой клапана давления паровоздушная смесь начинает вытесняться в атмосферу. Потери от малых дыханий в основном зависят от степени заполнения емкости нефтепродуктом, его свойств, давления и вакуума, на которые установлены дыхательные клапаны. Кроме этих факторов величина потерь в большой степени зависит от температурного-режима газового пространства емкости и поверхностного слоя нефтепродукта. [1]

Для того чтобы судить о возможности реализации предполагаемых изменений, необходимо сделать расчет количества потерь углеводородов.

Величина дыхания зависит от объема ГП резервуара и амплитуды колебаний температуры ГП, атмосферного давления.

Потери от рассчитываются по формуле Константинова Н.Н.:

$$G_{\text{мд}} = \sigma * Vr * \ln \left[\frac{(P_a - P_{\text{кв}} - P_{\text{мин}}) * T_{r\text{max}}}{(P_a - P_{\text{кд}} - P_{\text{макс}}) * T_{r\text{мин}}} \right],$$

где σ - среднее массовое содержание паров нефтепродукта, кг/м³;

Vr - объем газового пространства (ГП) резервуара перед закачкой нефтепродукта, м³;

$P_{\text{мин}}, P_{\text{макс}}$ - мин. и макс. парциальные давления паров нефтепродукта в ГП резервуара в течение суток, Па;

$T_{r\text{мин}}, T_{r\text{макс}}$ - мин. и макс. температуры ГП резервуара в течение суток, К;

P_a - абсолютное давление, Па;

$P_{\text{кв}}$ - вакуум в ГП, соответствующий нагрузке вакуумного клапана, Па;

$P_{\text{кд}}$ - избыточное давление в ГП, соответствующее нагрузке клапана давления, Па;

Проведя расчеты, выявим, что среднегодовые потери от дыхания резервуара типа РВС 2000 - 8 т / год. Вместе с этими невозвратимыми потерями терпит ущерб атмосфера и персонал предприятия. [2]

Подтоварная вода — это вода, загрязненная нефтепродуктами, образовавшаяся в результате отстаивания в резервуарах. Особенность подтоварной воды является наличие нефтяных капель, образовавшихся на поверхности мелкодисперсных механических примесей. Такую воду нельзя сливать на грунт или канализацию без очистки, так как в составе ее большое количество опасных и токсичных веществ, кроме того, она может быть пожароопасна. Ее очистка возможна при многоступенчатой фильтрации.

В течении дня сливается не менее 200 литров подтоварной воды, которая поступает на очистные сооружения предприятия. Загрязненность воды нефтью может составлять до 6%, что помимо потерь сырья, так же оказывает негативный эффект на гидросферу и литосферу.

Таблица 1. Потери от использования резервуарного парка

П/п	Потеря нефтепродуктов	Ед. изм.	Количество в год	Сумма, руб.
1	Дыхание резервуара	м ³	8.000	1.000.000
2	Дренаживание подтоварной воды	м ³	8	90.000

Выгоду от отсутствия загрязнения атмосферы и разгрузки очистных сооружений, просчитать не имеется возможности.

Теплопотери и обслуживание резервуара

Для осуществления процесса ректификации в эвапораторе установки, входящим потоком, которого является обессоленная нефть, подогретая теплом отходящих продуктов, в него подается «горячая струя» из печи для теплоснабжения процесса. При сохранении температуры нефти, поступающей с блока ЭЛОУ, в эвапоратор поступит более горячая нефть, это снижает расход «горячей струи», а как следствие увеличивается количественный поток, идущий на дальнейшую переработку.

Ко всему прочему, появляется возможность освободить 2 резервуара типа РВС-2000, что исключит операционные затраты на их обслуживание. Существует возможность предоставить данные резервуары под хранение сырой нефти, что увеличивает количество хранимого сырья для установки, и обеспечивает резервный запас сырья в случае сбоя поставок нефти. Так же в случае планируемой модернизации установки АВТ-2, под термический крекинг, есть возможность их использование для хранения мазута.

Выгоду сохранения тепловой энергии невозможно точно определить. Затраты на обслуживание резервуара в случае его переоборудование под другое назначения остаются, но отпадает необходимость для расширения резервуарного парка, для возможно будущей установки, а также появляется возможность хранения на установке большего количества сырой нефти для её питания в случае перебоя с поставками, что позволяет иметь больший запас времени для бесперебойной работы.

Возможность реализации

Рассмотрим затраты для реализации данного проекта, а также проблемы, которые могут возникнуть в работе технологической установки.

Для реализации потребуются минимальные затраты. Для транспортировки обессоленной нефти с блока ЭЛОУ на переработку на блок АТ есть возможность задействовать существующий трубопровод, который использовался для транспортировки мазута со смежной установки, но необходимость в котором отпала. По этому трубопроводу нефть попадет в буферную емкость, которая использовалась хранения мазута, во избежание сбрасывания насоса в следствии «сухого» хода. Однако выход из данной емкости направляется на насос, соседствующий с необходимым нам сырьевым насосом. Из этого получаем, что затраты на прокладывание трубопровода отсутствуют, но есть необходимость в перемычке, между выходом из буферной емкости и сырьевым насосом, что составит основные затраты.

Емкость, планируемая для использования в качестве буфера, полностью удовлетворяет требованиям к ее использованию под обессоленную нефть по техническим параметрам. Материальное исполнение соответствует материальному исполнению резервуаров, а расчетная температура и давление среды превышают параметры, с которыми обессоленная нефть поступит в нее.

Емкость оборудована датчиками уровня и пружинно-предохранительным клапаном.

Полное заполнение емкости позволяет обеспечить работу насосов на 30 минут, что достаточно для реагирования персонала в случае остановки потока обессоленной нефти, а

именно для перевода установки на питание с резервуаров и повторного пуска насосов блока ЭЛОУ в случае их остановки.

Дренаживание подтоварной воды с данной емкости не требуется, так как время пребывания нефти в ней, недостаточно для ее отстаивания, но существует нижний дренаж и в случае попадания воды в процесс, осуществимо ее дренаживание.\

Так же существенно облегчается работа персонала установки ввиду того, что пропадает необходимость в проведении постоянных газоопасных работ, которые не только негативно сказываются на здоровье, но и несут под собой потенциальный риск пожароопасной ситуации, в которые входят: снятие и установка огнепреградителей на дыхательные клапаны резервуаров, что так же является источником опасности падения с высоты и дренаживание подтоварной воды, происходящее ежесменно в обстановке повышенной опасности в темное время суток. К тому же пропадает возможность перелива резервуара через установленное надслойное пенотушение, что происходило до этого момента ввиду того, что датчик уровня сигнализации расположен выше установленного прибора.

В результате проведенного анализа перечислены необходимые в затраты на врезку перемычки.

Таблица 2. Затраты на реализацию

П/п	Статья затраты	Ед. изм.	Количество,	Сумма, руб.
1	Задвижка клиновая стальная	шт	2	1.900.000
2	Труба, металл Ст20	м	20	100.000
3	Затраты на монтажные работы			200.000

Смета затрат на производство рассчитывается по номенклатуре калькуляционных расходов: основные материалы, вспомогательные материалы, топливо и энергия, основная и дополнительная заработная плата, отчисления на социальное страхование, расходы на подготовку и освоение производства, содержание и эксплуатацию оборудования и общезаводские расходы.

В настоящей работе проведен анализ экономической эффективности перенаправления потока обессоленной нефти в обход резервуарного парка.

Технико-экономический расчет показал, что:

- реализация является экономически эффективной;
- срок окупаемости вложений составит 2 года.

Библиографический список

1. Новоселов В. Ф. Методика расчета потерь от испарения нефти и нефтепродуктов из наземных резервуаров: Учебное пособие/ В. Ф. Новоселов, В.П. Ботыгин, И. Г. Блинов. – Уфа.: Изд-во УНИ, 1987. – 73 с.
2. Кесельман Г. С. Защита окружающей среды при добыче, транспорте и хранении нефти и газа. / Г. С. Кесельман, Э. А. Махмудбеков. – М.: Недра, 1981. – 256 с.

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ»

СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОНСТРУИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ»

УДК 004.942; ГРНТИ 50.51

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ В ОБЛАЧНОЙ САПР ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ EASYEDA

А.Н. Сапрыкин, И.А. Андрианов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, saprykin.a.n@rsreu.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается процесс создания пользовательских библиотек отечественных электронных компонентов в облачной САПР печатных плат EasyEDA. Расположение системы в облаке обеспечивает ее кроссплатформенность, быструю работу, нетребовательность к ресурсам локального компьютера, расширенные возможности по совместному редактированию в режиме реального времени. Проектируемые компоненты включают в себя условные графические обозначения, корпуса и посадочные места в соответствии с требованиями ГОСТ, а также пользовательские 3D-модели, предназначенные для визуализации сконструированных электронных устройств.

Ключевые слова: условное графическое обозначение (УГО), посадочное место, САПР печатных плат, 3D-модели электронных компонентов.

USING VHDL HARDWARE DESCRIPTION LANGUAGE FOR DESIGN OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

A.N. Saprykin, I.A. Andrianov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, saprykin.a.n@rsreu.ru*

The summary. This paper discusses the process of creating custom libraries of domestic electronic components in the cloud CAD for printed circuit boards EasyEDA. The location of the system in the cloud increases its cross-platform functionality, ensures fast operation, low demands on the resources of a local computer, and expanded capabilities for collaborative editing in real time. The designed components include graphic symbols, housings and seats in accordance with GOST requirements, as well as custom 3D models intended for visualization of designed electronic devices.

Keywords: conventional graphic designation (UGO), component footprint, CAD of printed circuit boards, 3D models of electronic components.

Развитие современных технологий привело к тому, что многие процессы стали выполняться не на локальном компьютере, а в облачных виртуальных средах. Это справедливо и по отношению к САПР, перенос работы которых в виртуальную среду дает ряд преимуществ перед традиционным локальным развертыванием – в частности, облачные технологии снижают системные требования, позволяя использовать сложные системы и на слабых машинах. Чтобы получить доступ к подобной САПР требуется обычный браузер и, в некоторых случаях, специальное приложение.

Совсем недавно развернутые в облаке САПР были способны на немного и классифицировались по своей производительности как легкие, значительно уступая более серьезным локальным системам. Однако на данный момент их мощности возросли настолько, что многие облачные САПР можно отнести и к средним [1]. Среди популярных облачных САПР стоит отметить EasyEDA.

САПР EasyEDA представляет собой используемую без установки бесплатную облачную систему автоматизированного проектирования печатных плат. Она предоставляет простой и удобный редактор схем, интуитивно понятный симулятор. Запускать EasyEDA можно из браузера [2].

Симулятор схемы – это компьютерная программа, которая позволяет оценить поведение схемы на этапе, предшествующем фактическому производству. Использование симулятора цепей представляет собой низкозатратный, эффективный и безопасный способ изучения поведения схем, который способен сэкономить как время, так и ресурсы.

Среда разработки EasyEDA осуществляет свою работу по принципу «клиент-сервер». Для выполнения клиентской части необходим только браузер с поддержкой HTML5, при этом не требуется установка дополнительных программ и плагинов. Облачная САПР использует движок векторной графики SVG, доступный в современных браузерах. Облачное хранение файлов позволяет не зависеть от конкретного компьютера и иметь возможность получить доступ к своим проектам практически с любого устройства с доступом в Интернет и установленным браузером в рамках предъявляемых к нему требований. Также облачное размещение САПР EasyEDA обеспечивает пользователя мгновенным доступом к обширной библиотеке готовых схем.

В данной работе рассматривается процесс создания пользовательских библиотек электронных компонентов на основе данного облачного САПР печатных плат. Библиотеки компонентов включают в себя условные графические обозначения (УГО), посадочные места электронных компонентов и их 3D-модели.

Создание пользовательских условных графических обозначений компонентов

Создание УГО в пакете EasyEDA включает в себя следующие этапы:

- настройка проекта (выбор шага сетки рабочего пространства);
- создание пользовательской библиотеки;
- создание УГО с помощью графических примитивов в соответствии с ГОСТ [3] и добавление функциональных выводов электронному компоненту;
- добавление условного графического обозначения в необходимую библиотеку.

При создании УГО в САПР EasyEDA необходимо добавить и пронумеровать в заданном порядке функциональные выводы создаваемого элемента, а также необходимо явно указать его принадлежность с использованием соответствующего буквенного обозначения [4].

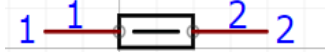
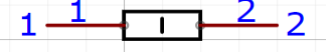
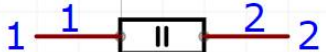
При проектировании пользовательских УГО следует разделить проектируемые элементы на активные и пассивные. Как пассивные компоненты классифицируют, например, резисторы и конденсаторы. Для их работы не требуются внешние источники питания.

В данной работе авторами рассмотрены особенности создания УГО на примере пассивного элемента резистора. УГО смоделированных элементов показаны в таблице 1.

Таблица 1. Условно графические обозначения, созданные в САПР EasyEDA

Электронный компонент	Условное графическое обозначение
Резистор постоянный 0,125 Вт	
Резистор постоянный 0,25 Вт	

Продолжение таблицы 1

Резистор постоянный 0, 5 Вт	
Резистор постоянный 1 Вт	
Резистор постоянный 2 Вт	
Резистор постоянный 5 Вт	

Создание посадочных мест компонентов

Создание посадочных мест для электронных компонентов в пакете EasyEDA включает в себя следующие этапы:

- настройка проекта (выбор шага сетки рабочего пространства);
- создание пользовательской библиотеки;
- создание посадочного места для электронного компонента с помощью графических примитивов в соответствии с ГОСТ [5] и добавление функциональных выводов электронного компонента, связанных с его УГО;
- добавление посадочного места для электронного компонента в необходимую библиотеку;
- создание маски для электронного компонента.

После создания посадочного места необходимо создать позиционные метки устанавливаемого электронного компонента, которые служат для облегчения последующего монтажа.

Для созданных УГО компонентов в таблице 2 приводятся их смоделированные посадочные места.

Таблица 2. Посадочные места электронных компонентов, созданные в пакете EasyEDA

Электронный компонент	Условное графическое обозначение
Резистор постоянный 0,125 Вт	
Резистор постоянный 0,25 Вт	
Резистор постоянный 0, 5 Вт	
Резистор постоянный 1 Вт	

Продолжение таблицы 2

Резистор постоянный 2 Вт	
Резистор постоянный 5 Вт	

Использование пользовательских 3D-моделей

Пакет EasyEDA позволяет использовать 3D-модели электронных компонентов, созданных практически в любой САПР. Возможность создавать собственные 3D-модели электронных компонентов у пакета EasyEDA отсутствует, но он поддерживает загрузку сторонних моделей в форматах .obj, .wrl и .zip.

Заключение

Анализ инструментов и интерфейса облачной САПР EasyEDA показал, что система обладает множеством преимуществ. Одним из главных преимуществ является ее независимость от конкретного рабочего места – файлы EasyEDA располагаются в облаке, а потому ей не важны системные характеристики компьютера, с которого осуществляется доступ к проекту, а времени на открытие тратится немного.

Важным фактором становится наличие обширной онлайн-библиотеки схем плат, что значительно облегчает начальный этап моделирования. Интерфейс САПР минималистичный, что требует от пользователя наличия базовых знаний об обозначениях компонентов схем, но при этом не перегруженный. Система поддерживает необходимую по современным меркам функцию совместного редактирования, изменения в данном случае отображаются в режиме реального времени. EasyEDA обладает коллекцией готовых символов, при этом поддерживает и создание пользовательских символов с нуля.

В работе был детально рассмотрен процесс работы облачной САПР печатных плат EasyEDA. Проанализированный алгоритм создания пользовательских УГО компонентов и соответствующих посадочных мест позволил сделать вывод о простоте в использовании и удобстве данной системы, что особенно актуально в свете ее бесплатности и отсутствии необходимости установки. Проектируемые компоненты создаются с учетом актуальных требований ГОСТ, что обеспечивает универсальность смоделированных схем, а возможность просмотра готовых 3D-моделей дополнительно расширяет функционал системы.

Библиографический список

1. Обзор популярных систем автоматизированного проектирования. URL: <https://www.pointcad.ru/novosti/obzor-sistem-avtomatizirovannogo-proektirovaniya>.
2. Официальный учебник по облачной САПР EasyEDA. URL: https://image.easyeda.com/files/EasyEDA-Tutorials_v6.4.3.ru.pdf.
3. ГОСТ 2.743-91 ЕСКД Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники.
4. ГОСТ 2.710-81 ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.
5. ГОСТ Р МЭК 61188-7-2017 Печатные платы и печатные узлы. Проектирование и применение. Часть 7. Нулевая ориентация электронных компонентов для создания библиотек САПР.

УДК 004.43; ГРНТИ 50.05.09

ПРИМЕНЕНИЕ ЯЗЫКА ОПИСАНИЯ АППАРАТУРЫ VHDL ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

С.В. Сизова, А.Н. Сапрыкин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, saprykin.a.n@rsreu.ru*

Аннотация. В данной работе рассматриваются основные понятия, связанные с технологиями искусственного интеллекта. Приводится сравнительная характеристика возможных программных и аппаратных реализаций нейронных сетей. Описываются преимущества реализации нейронных сетей на языке VHDL в базисе ПЛИС. Приводятся основные особенности операторов языка VHDL, используемых при проектировании нейронных сетей.

Ключевые слова: программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС), язык описания аппаратуры высокого уровня, VHDL, нейронная сеть.

USING VHDL HARDWARE DESCRIPTION LANGUAGE FOR DESIGN OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

S.V. Sizova, A.N. Saprykin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, saprykin.a.n@rsreu.ru*

The summary. This paper discusses the basic concepts associated with artificial intelligence technologies. A comparative description of possible software and hardware implementations of neural networks is provided. The advantages of implementing neural networks in VHDL on an FPGA basis are described. The main features of VHDL language operators used in the design of neural networks are presented.

Keywords: programmable logic device (PLD), high-level hardware description language, VHDL, neural network.

В последнее время с развитием технологий искусственного интеллекта нейронные сети стали неотъемлемой частью многих современных приложений. В рамках данной работы будем рассматривать следующее определение нейронных сетей. Нейронные сети – это математические модели, которые способны имитировать работу человеческого мозга. Они используются для обработки информации и решения различных задач в области искусственного интеллекта, машинного обучения, распознавания образов, обработки естественного языка и многих других.

Одним из ключевых элементов, составляющих нейронную сеть, являются нейроны – базовые строительные блоки, которые принимают входные сигналы, обрабатывают их и передают выходной сигнал следующему нейрону. Нейроны объединяются в слои, которые могут быть последовательно соединены друг с другом, образуя так называемые глубокие нейронные сети.

Общая схема модели нейронной сети на примере однослойного персептрона включает в себя входные сигналы, веса, сумматор и функцию активации. Персептрон представляет собой один слой искусственных нейронов, соединенных с помощью весовых коэффициентов с множеством входов. Это простейшая искусственная нейронная сеть прямого распространения.

На входы сети подаются некоторые входные сигналы, которые далее поступают по синапсам на нейроны, образующие единственный слой данной сети. Синапсы в терминах нейронной сети представляют собой связи между нейронами, через которые передается электрический сигнал. Синапсы играют ключевую роль в передаче информации между нейронами и определяют силу связей между ними, что влияет на обучение и функционирование нейронной сети [1].

Сравнение реализаций нейронных сетей

Для реализации нейронных сетей на практике в основном используют программный и аппаратный способы представления. Рассмотрим каждый из них более подробно.

Программная реализация нейронных сетей подразумевает создание и обучение нейронной сети с использованием специализированных библиотек и фреймворков на универсальном компьютере. Это означает, что вся логика и вычисления нейронной сети выполняются программно на центральном процессоре компьютера.

Преимущества программной реализации:

- гибкость – возможность легко изменять архитектуру и параметры нейронной сети без необходимости изменения аппаратного обеспечения;
- отладка и разработка – удобство отладки и разработки, благодаря доступности широкого спектра инструментов и средств программирования.

Недостатки программной реализации:

- производительность – некоторые сложные модели нейронных сетей могут требовать больших вычислительных ресурсов и времени для обучения и выполнения;
- ограничения аппаратных ресурсов – возможны ограничения производительности из-за характеристик универсального компьютера.

Аппаратная реализация нейронных сетей предполагает создание специализированных аппаратных устройств, таких как ASIC или FPGA, оптимизированных для выполнения операций над данными в нейронных сетях. Эти устройства могут быть использованы для обучения и выполнения нейронных сетей.

Преимущества аппаратной реализации:

- высокая производительность – специализированные аппаратные устройства могут обеспечить значительное ускорение выполнения операций над данными, что повышает производительность нейронных сетей;
- энергоэффективность – некоторые аппаратные устройства могут быть более энергоэффективными по сравнению с универсальными компьютерами.

Недостатки аппаратной реализации:

- ограниченность гибкости – изменение архитектуры или параметров нейронной сети может потребовать изменения самого аппаратного устройства;
- сложность разработки – разработка и отладка специализированных аппаратных устройств может потребовать дополнительных знаний и ресурсов.

До недавнего времени большинство реализаций нейронных сетей выполнялось программным путем. При этом обычно используются такие языки последовательного типа, как C++, Java и др. Такой выбор обоснован вышеуказанными преимуществами.

Однако главной отличительной особенностью биологической нейронной сети является параллельность функционирования нейронов, что обеспечивает высокую скорость решения. Учитывая эту особенность, программную модель, описывающую процесс обработки информации в нейронной сети, рационально описывать, используя языки, ориентированные на описание параллельного выполнения вычислений.

Преимущества реализации нейронных сетей с использованием VHDL

Для реализации нейронных сетей, включая вышеупомянутые однослойные перцептроны, можно использовать VHDL (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language). VHDL – это язык описания аппаратуры, который широко применяется в области проектирования и моделирования интегральных схем [2]. Использование VHDL позволяет создавать аппаратную реализацию нейронных сетей, что может быть полезно при разработке высокопроизводительных систем и устройств.

Так, например, однослойный персептрон можно реализовать в виде цифровой схемы на базе VHDL, где каждый нейрон представлен как некоторый блок с определенной логикой и функциональностью. Программирование нейронных сетей с помощью VHDL позволяет эффективно использовать аппаратные ресурсы и обеспечивает быструю обработку данных. Такой подход особенно актуален для задач, требующих высокой скорости обработки информации и параллельных вычислений. Рассмотрим основные преимущества использования VHDL, как эффективного инструмента для реализации нейронных сетей:

1. Низкоуровневая аппаратная реализация. VHDL позволяет описывать аппаратные средства на уровне абстракции, близком к физическим характеристикам чипов и микросхем. Это позволяет создавать эффективные и оптимизированные решения для реализации нейронных сетей непосредственно на аппаратном уровне.

2. Поддержка параллельных вычислений. Нейронные сети характеризуются большим количеством вычислений, выполняемых параллельно, которые могут быть эффективно реализованы с использованием VHDL. Возможность описания параллельных структур и операций в VHDL позволяет создавать высокопроизводительные решения для обработки данных в нейронных сетях.

3. Гибкость и настраиваемость. VHDL обладает высокой гибкостью и настраиваемостью. Данные качества позволяют разработчикам создавать индивидуальные и оптимизированные решения для конкретных задач и требований. Это особенно важно в контексте нейронных сетей, где требуется адаптировать структуру и параметры сети под конкретные задачи и условия.

4. Оптимизация вычислений. VHDL позволяет производить оптимизацию всех вычислений на уровне аппаратуры, что способствует повышению производительности и энергоэффективности реализации нейронных сетей. В этом случае разработчики могут проводить детальную оптимизацию аппаратной реализации с целью улучшения характеристик нейронной сети.

Таким образом, использование средств VHDL для реализации нейронных сетей обеспечивает высокую производительность, эффективность и гибкость разработки аппаратных решений для обработки данных. Этот подход позволяет создавать мощные и оптимизированные нейронные сети, способные эффективно решать разнообразные задачи в области машинного обучения и искусственного интеллекта.

В связи с необходимостью обеспечения высокой производительности и энергоэффективности выполнения сложных вычислений, связанных с нейронными сетями, в качестве базиса авторами предлагается использовать программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС).

ПЛИС представляют собой программируемые аппаратные устройства, которые могут быть настроены для выполнения специфических вычислений и операций. ПЛИС широко используются в цифровой электронике для реализации различных цифровых систем, устройств обработки сигналов, управления и других задач. Использование ПЛИС для реализации нейронных сетей позволяет достичь высокой скорости выполнения, параллельной обработки данных и эффективного использования ресурсов аппаратуры.

В связи с вышеупомянутыми преимуществами данного метода, разработка аппаратных ускорителей и архитектур для выполнения нейронных сетей на ПЛИС становится актуальной задачей. Такие ускорители могут быть оптимизированы под конкретные типы нейронных сетей, обеспечивая высокую производительность и энергоэффективность.

Особенности операторов языка VHDL, используемых при проектировании нейронных сетей

В данной работе для разработки VHDL-модели нейронной сети было принято использовать описание поведения нейрона как минимальной структурной единицы обработки информации. Этот выбор обусловлен рациональностью, так как структурный характер описания позволяет легко заменять модель поведения нейронов, что обеспечивает гибкость и возможность быстрой модификации. В результате получается более объемный и гибкий инструмент для моделирования и исследования нейронных сетей на языке VHDL.

Для создания VHDL модели нейронной сети был выбран структурный стиль описания, который позволяет представить весь процесс обработки данных в виде совокупности параллельно работающих компонентов или подсистем. Эти компоненты объединены между собой сигналами, что позволяет эффективно организовать их взаимодействие. Благодаря возможности вложения компонентов друг в друга, можно создавать сложные иерархически организованные сети, которые отражают структуру нейронной сети на уровне программирования. Этот подход обеспечивает гибкость и модульность при разработке моделей нейронных сетей на VHDL, что упрощает их анализ, модификацию и масштабирование.

Для моделирования функционирования отдельного нейрона в нейронной сети на языке VHDL авторами выбран подход, основанный на использовании параллельного оператора *process*. Этот оператор позволяет описать поведение нейрона, формирующего новые выходные сигналы при изменении хотя бы одного из входных сигналов.

Синтаксис оператора *process* в VHDL выглядит следующим образом:

```
process (чувствительный_список)  
begin
```

-- Логика самого процесса

```
end process;
```

В чувствительном списке перечисляются сигналы, на изменения которых должен реагировать процесс. Когда хотя бы один из сигналов в чувствительном списке меняется, процесс запускается заново. Важно отметить, что список чувствительности этого оператора включает не только входные сигналы, но и их весовые коэффициенты. Такой подход обеспечивает возможность настройки поведения нейрона в ходе обучения нейронной сети. Это позволяет эффективно моделировать и исследовать работу нейронов в сети, а также проводить оптимизацию и анализ ее функционирования. Таким образом, использование параллельного оператора *process* в VHDL обеспечивает гибкость и возможность динамической настройки нейронов в процессе обучения, что делает модель более мощным инструментом для исследования нейронных сетей.

Для описания регулярных систем связей между нейронами предлагается использовать параллельный оператор языка VHDL *generate*.

Данный оператор в языке VHDL является мощным инструментом для создания параметризуемых и повторяющихся структур в цифровых схемах. Параллельный оператор *generate* позволяет описывать регулярные системы связей между нейронами или другими компонентами, что упрощает проектирование и моделирование сложных цифровых систем.

Синтаксис параллельного оператора *generate* в VHDL выглядит следующим образом:

```
gen_label: generate
```

-- Описание генерируемых структур или компонентов

```
begin
```

-- Тело оператора *generate*

```
end generate gen_label;
```

В синтаксисе *gen_label* – это метка, которая идентифицирует оператор *generate*. Внутри оператора *generate* можно использовать циклы для создания нескольких экземпляров компонентов или структур.

Для удобства и гибкости при разработке VHDL-модели нейронной сети был использован параметрический подход, который позволяет легко изменять структуру нейронной сети, добавлять нейроны с разными активационными функциями и разным количеством входов и выходов. Таким образом, проектируемая нейронная сеть представляет собой отдельный компонент (или их совокупность), в дополнение к которому во вложенном компоненте описывается алгоритм обучения сети в виде оператора *process*. Для удобства и чистоты кода, декларации сигналов, весовых матриц, функций активации нейронов и алгоритмов обучения следует объединить в пользовательском пакете данных.

Библиографический список

1. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер.с польск. И.Д.Рудинского: учебное пособие / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – 2-е изд. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2013. – 384 с.
2. Перельройзен, Е.З. Проектируем на VHDL: учебное пособие / Е.З. Перельройзен. – Москва: СОЛОН-Пресс, 2008. – 448 с.

СЕКЦИЯ «МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В САПР»

УДК 681.51; ГРНТИ 50.43.17

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА
УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА
В СИСТЕМЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ****С.В. Скворцов, В.И. Хрюкин***Рязанский государственный радиотехнический университет
Рязань, vi_x@mail.ru*

Аннотация. В работе рассмотрено использование частотного метода синтеза микропроцессорного устройства управления для проектирования контура управления радиальным положением каретки оптической дисковой системы. Показано, что применение предложенного подхода, позволяет сократить временные затраты на реализацию алгоритма управления при сохранении приемлемых значений показателей качества переходных процессов и заданного быстродействия.

Ключевые слова: микропроцессорное устройство управления, передаточная функция объекта, логарифмическая амплитудная частотная характеристика, критерий качества.

**DESIGN OF A MICROPROCESSOR CONTROL DEVICE
FOR A TECHNICAL OBJECT POSITION IN POSITIONING SYSTEM****S.V. Skvortsov, V.I. Khryukin***Ryazan State Radio Engineering University
Ryazan, vi_x@mail.ru*

Abstract. The paper considers the use of a frequency synthesis method for a microprocessor control device for designing a control loop for the radial position of an optical disk system carriage. It is shown that the application of the proposed approach makes it possible to reduce the time spent on the implementation of the control algorithm while maintaining acceptable values of the quality indicators of transients and a given speed.

Keywords: microprocessor control device, transfer function of the object, logarithmic amplitude frequency response, criterion of quality.

В работе [1] рассматривалась задача позиционирования объекта относительно заданного положения на примере контура управления радиальным положением каретки оптической дисковой системы [2]. Было показано, что для управления таким объектом (кареткой с оптической считывающей головкой) используются двигатель вращения [3] и линейный привод, которым может быть одна из передач: с гибкой связью (тросово-барабанной); с механизмом винт-гайка; с реечным механизмом.

В такой системе для определения отклонения текущего положения каретки от заданного и формирования сигнала управления, соответствующего алгоритму [4], используется цифровой регулятор, реализуемый на основе микроконтроллера (МК). Величина отклонения здесь определяется как разность между текущим N_t и заданным N_z номерами дорожек оптического диска.

Теоретическая часть

Функциональная схема рассмотренной системы будет представлять собой последовательное соединение следующих элементов: микроконтроллера, реализующего функции датчика положения и корректирующего устройства, двигателя, привода и каретки. В результате структурная схема такой системы будет иметь вид, представленный на рисунке 1.

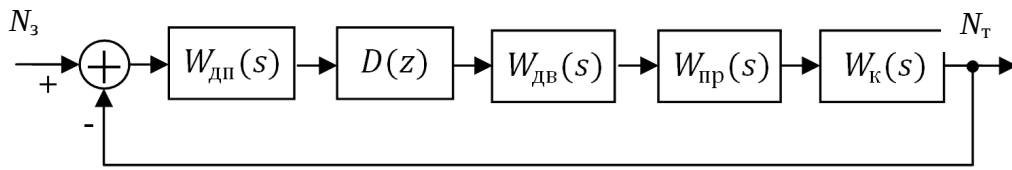


Рис. 1. Структурная схема системы управления положением каретки

На этом рисунке изображены следующие передаточные функции (ПФ).

$W_{\text{дп}}(s)$ - ПФ датчика положения (ДП), которая в соответствии с [1] определяется как

$$W_{\text{дп}}(s) = k_{\text{дп}} = \frac{\Delta U_{\text{max}}}{\Delta x_{\text{max}}}, \quad (1)$$

где s – символ преобразования Лапласа;

Δx_{max} - ширина поля записи информации на диске;

ΔU_{max} - разность напряжений, соответствующих первой и последней дорожкам диска;

$D(z)$ - ПФ цифрового корректирующего устройства следующего вида [4, 5]

$$D(z) = \frac{(1 + \frac{2\tau}{T_0})z + (1 - \frac{2\tau}{T_0})}{2z}, \quad (2)$$

где $z = e^{T_0 s}$;

T_0 - период дискретизации (время реализации алгоритма управления);

τ – постоянная времени, определяемая по ЛАЧХ исходной нескорректированной системы и требованиям к качеству переходных процессов в системе.

$W_{\text{дв}}(s)$ - ПФ двигателя, которая имеет вид

$$W_{\text{дв}}(s) = \frac{C_{\text{м}}}{r_{\text{я}}(1 + T_{\text{я}}s)}, \quad (3)$$

где $C_{\text{м}}$ – коэффициент пропорциональности двигателя, который определяется через номинальные значения тока якоря и вращающего момента следующим образом

$$C_{\text{м}} = \frac{M_{\text{ном}}}{I_{\text{яном}}};$$

$T_{\text{я}} = \frac{L_{\text{я}}}{r_{\text{я}}}$ – постоянная времени якорной цепи, вычисляемая по индуктивности $L_{\text{я}}$ и сопротивлению $r_{\text{я}}$ нагрузки якорной цепи.

$W_{\text{п}}(s)$ – ПФ привода. Выберем в качестве примера передачу с механизмом винт-гайка, которая обеспечивает наиболее точное позиционирование оптической головки. Для нее ПФ привода имеет вид [1]

$$W_{\text{пр}}(s) = \frac{2\pi\eta}{P_h}, \quad (4)$$

где P_h - ход резьбы; η - к.п.д. передачи винт-гайка.

$W_k(s)$ - ПФ каретки, которая определяется по формуле

$$W_k(s) = \frac{k}{s(1 + T_1 s)}, \quad (5)$$

где $k = \frac{1}{\mu}$ - коэффициент передачи, $T_1 = \frac{2m}{\mu}$ - постоянная времени каретки, которые вычисляются по коэффициенту сил вязкого трения μ и массе каретки m .

В результате будем иметь непрерывную часть (НЧ) системы с фиксированными параметрами, разомкнутая ПФ которой имеет вид:

$$W_{\text{нч}}(s) = W_{\text{дп}}(s)W_{\text{дв}}(s)W_{\text{пр}}(s)W_k(s). \quad (6)$$

Для этой НЧ следует определить дискретную передаточную функцию $D(z)$, которая будет реализоваться микроконтроллером в виде алгоритма управления. Такой алгоритм определяется формулой (2), в которой коэффициенты следует подобрать так, чтобы обеспечить требования к системе по точности, быстродействию и качеству переходных процессов для заданных условий эксплуатации системы.

Для решения этой задачи в [1] было предложено для проектирования системы с таким цифровым регулятором использовать метод логарифмических частотных характеристик [6, 7]. В соответствии с ним следует рассчитать время реализации алгоритма управления или период дискретизации T_0 , а также его параметры a и b , определяемые выражениями

$$a = 1 + \frac{2\tau}{T_0}; \quad b = 1 - \frac{2\tau}{T_0}. \quad (7)$$

Экспериментальные исследования

В качестве иллюстрации предложенного подхода проведем синтез микропроцессорного устройства для контура управления радиальным положением каретки для передачи с механизмом винт-гайка. Для этого зададим параметры элементов контура управления, величины которых соответствуют типовым конструкциям оптических дисковых систем.

Для электродвигателя:

- номинальный ток якоря $I_{\text{я ном}} = 1,5 \text{ А}$;
- номинальный вращающий момент $M_{\text{ном}} = 5 \text{ Н мм} = 0,005 \text{ Н м}$;
- сопротивление нагрузки якорной цепи $r_{\text{я}} = 1,3 \text{ Ом}$;
- индуктивность нагрузки якорной цепи $L_{\text{я}} = 3,9 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$;

Для передачи винт-гайка:

- ход резьбы $P_h = 3 \text{ мм} = 0,003 \text{ м}$;
- к.п.д. передачи винт-гайка $\eta = 0,7$.

Для каретки с оптической головкой:

- коэффициент сил вязкого трения $\mu = 2 \text{ г/с} = 0,002 \text{ кг/с}$;
- масса каретки $m = 33 \text{ г} = 0,033 \text{ кг}$.

Для оптической дисковой системы:

- ширина поля записи диска $\Delta x_{\max} = 3,5 \text{ см} = 0,035 \text{ м}$;
- предельная разности напряжений $\Delta U_{\max} = 10 \text{ В}$;
- диапазон предельных смещений головки $\delta_{\max} = 1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}$.

Кроме того, зададим характеристики входных воздействий и требования к системе. Контур управления кареткой должен обеспечить точность позиционирования оптической головки $\epsilon_{\max} < \delta_{\max}$ в диапазоне частот ω_g до 4 рад/с амплитудой гармонических воздействий $g_{\max} = \Delta x_{\max} = 0,035 \text{ м}$ при показателе колебательности $M = 1,5$.

Произведем расчет передаточных функций элементов системы управления.

Для этого подставим исходные данные в уравнения передаточных функций.

Передаточную функцию датчика положения вычислим по формуле (1)

$$W_{\text{дп}}(s) = \frac{10}{0,035} = 286.$$

По выражению (3) получим ПФ двигателя

$$W_{\text{дв}}(s) = \frac{0,005}{1,5 \cdot 1,3(1 + 0,00039/1,3s)} = \frac{0,0025}{1 + 0,0003s}.$$

По уравнению (4) найдем ПФ передачи винт-гайка

$$W_{\text{п}}(s) = \frac{2\pi \cdot 0,7}{0,003} = 765.$$

По выражению (5) вычислим ПФ каретки

$$W_{\text{к}}(s) = \frac{1}{0,002s(1 + 2 \cdot 0,033 / 0,002s)} = \frac{500}{s(1 + 300s)}.$$

Итоговая ПФ НЧ, определяемая формулой (6), будет иметь вид:

$$W_{\text{нч}}(s) = \frac{244800}{s(1 + 0,0003s)(1 + 300s)}. \quad (8)$$

Оценим точность и устойчивость замкнутой системы с ПФ (8) для случая, когда отсутствует цифровая коррекция, т.е. $D(z) = 1$. Для этого построим логарифмические частотные характеристики (ЛАЧХ и ЛФЧХ) для системы с такой ПФ. Вид их показан на рисунке 2.

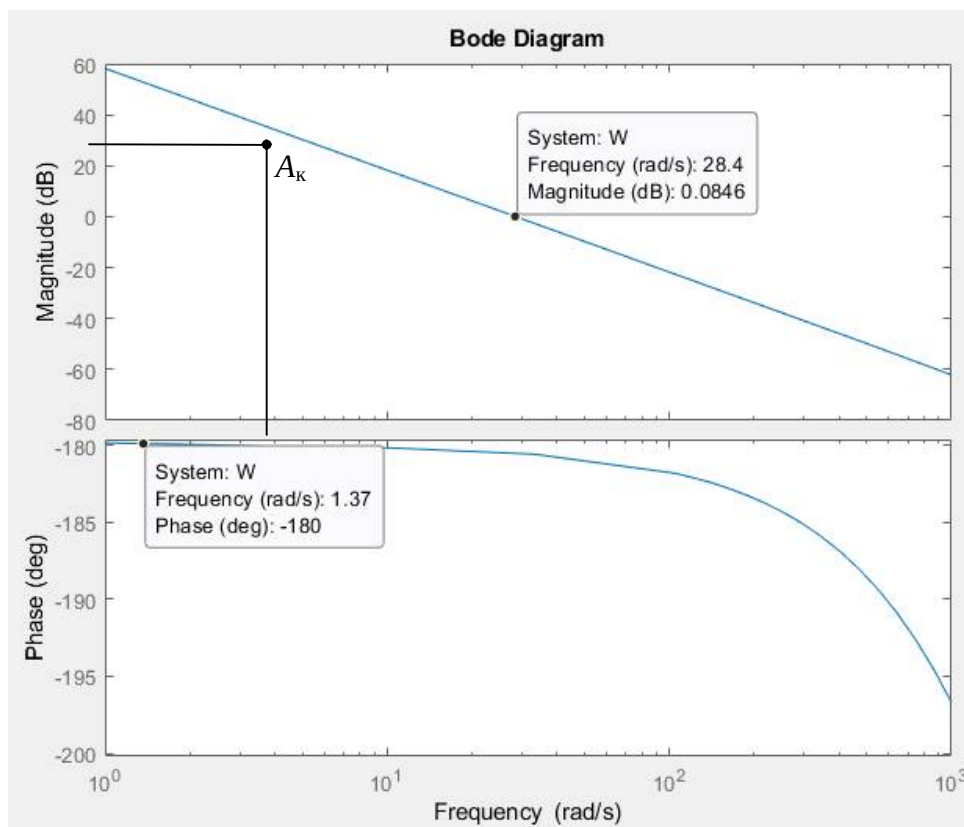


Рис. 2. ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы без коррекции

Построим на плоскости частота-амплитуда контрольную точку A_k с координатами: абсциссой $\omega_g = 10$ рад/с и ординатой $L(\omega_g) = 20 \lg g_{\max}/\varepsilon_{\max} = 31$ дБ. Такая точка лежит ниже ЛАЧХ. Это означает, что система обеспечивает заданную точность во всем диапазоне заданных частот от 0 до ω_g . Однако, как видно из рис. 2, рассматриваемая замкнутая система неустойчива, так как частота пересечения ЛАЧХ линии 0 дБ 28,4 рад/с больше частоты 1,37 рад/с, где ЛФЧХ пересекает линию -180° . Отсюда следует, что необходимо ввести цифровую коррекцию, т.е. рассчитать параметры τ и T_0 дискретной ПФ $D(z)$. Для этого используются следующие формулы [7]

$$\tau \geq \frac{1}{\lambda_0} \sqrt{\frac{M}{M-1}}; \quad (9)$$

$$T_0 \leq \frac{1}{\lambda_0} \frac{\sqrt{M(M-1)}}{M+1}, \quad (10)$$

где λ_0 – частота, на которой ЛАЧХ равна 0, которая в соответствии с рис. 2 составляет 28,4 рад/с, а показатель колебательности равен $M=1,5$ (в соответствии с требованиями к качеству переходных процессов системы). Подставляя эти значения в неравенства (9), (10), получим

$$\tau \geq \frac{1}{28,4} \sqrt{\frac{1,5}{1,5-1}} = 0,06099 \text{ с};$$

$$T_0 \leq \frac{1}{28,4} \frac{\sqrt{1,5(1,5-1)}}{1,5+1} = 0,0122 \text{ с.}$$

Примем $\tau = 0,062 \text{ с}$, $T_0 = 0,011 \text{ с}$. В результате в соответствии с (7) будем иметь

$$a = 1 + \frac{2 \cdot 0,062}{0,011} = 12,27;$$

$$b = 1 - \frac{2 \cdot 0,062}{0,011} = -10,27.$$

Для упрощения реализации алгоритма управления округлим до целых чисел значения полученных коэффициентов. Тогда в соответствии с (2), дискретная ПФ цифрового корректирующего устройства будет иметь вид

$$D(z) = \frac{12z - 10}{2z} = 6 - 5z^{-1}, \quad (11)$$

что соответствует следующему закону управления, реализуемого микроконтроллером:

$$u[nT_0] = 6e[nT_0] - 5e[(n-1)T_0],$$

где $e[nT_0], e[(n-1)T_0]$ – коды сигнала ошибки на входе МК в моменты времени $t = nT_0$, $t = (n-1)T_0$;

$u[nT_0]$ – код управляющего сигнала на выходе МК в момент времени $t = nT_0$.

На основании выполненных расчетов проведем моделирование в среде Matlab/Simulink системы управления с непрерывною частью, имеющей ПФ вида (8), и цифровым регулятором, ПФ которого задается уравнением (11).

Блок-схема такой системы для оценки времени переходного процесса и его качества представлена на рис. 3.

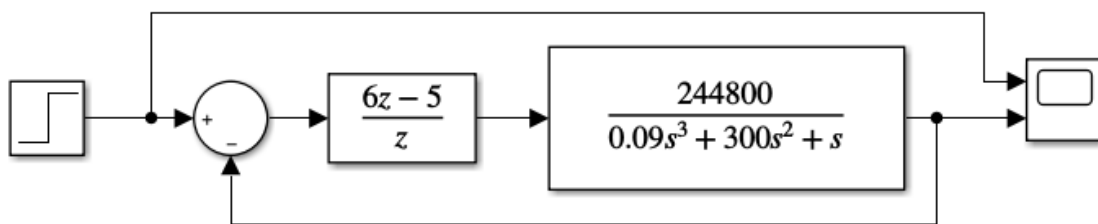


Рис. 3. Блок-схема системы позиционирования для оценки быстродействия и запаса устойчивости

Результаты моделирования такой системы представлены на рис. 4, где показана переходная характеристика, которая является реакцией на ступенчатый входной сигнал. Анализ переходной характеристики показывает, что переходные процессы в системе заканчиваются за время меньше 0,15 секунд, т.е. каретка за такое время перемещается в область диска с заданным номером дорожки. Величина перерегулирования примерно равная 35 % говорит о том, что запас устойчивости системы является удовлетворительным.

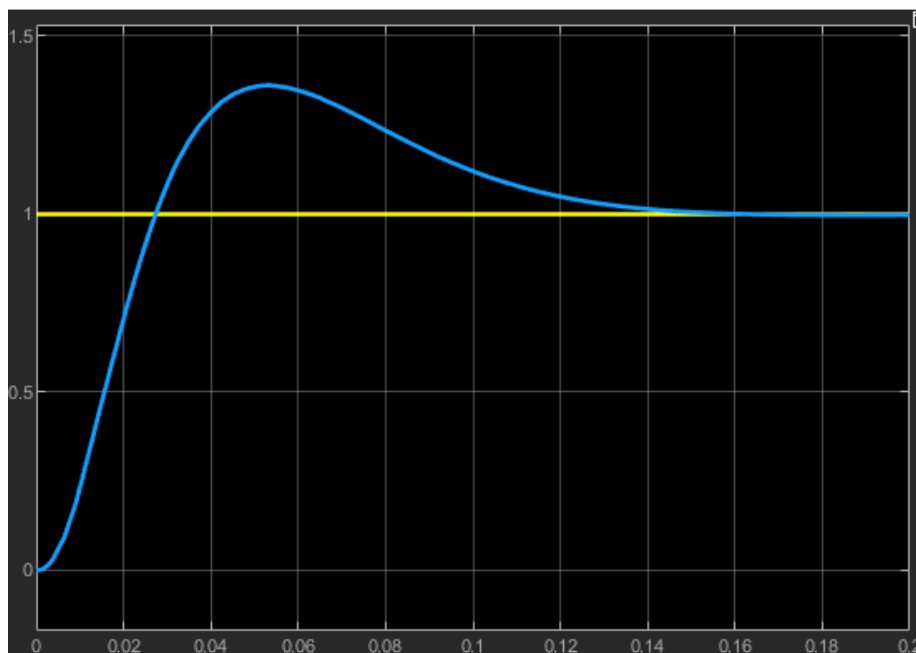


Рис. 4. Реакция системы управления на ступенчатое входное воздействие

Блок-схема системы для определения точности регулирования показана на рис. 5. По ней определяется ошибка регулирования в системе на эквивалентное гармоническое воздействие вида $g(t) = 0,002 \sin 4t$.

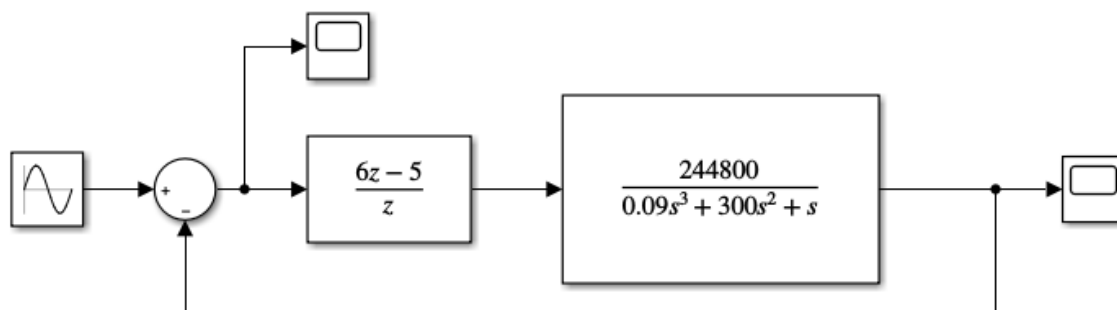


Рис. 5. Блок-схема системы позиционирования для оценки ее точности

Результаты моделирования представлены на рис. 6. Как видно из этого рисунка установившаяся ошибка на задающее воздействие также будет изменяться по гармоническому закону. Ее предельное значение, примерно равное 0,75 мм отвечает требованию по точности, так как такая ошибка не превышает заданной величины $\epsilon_{\max} = 1$ мм.

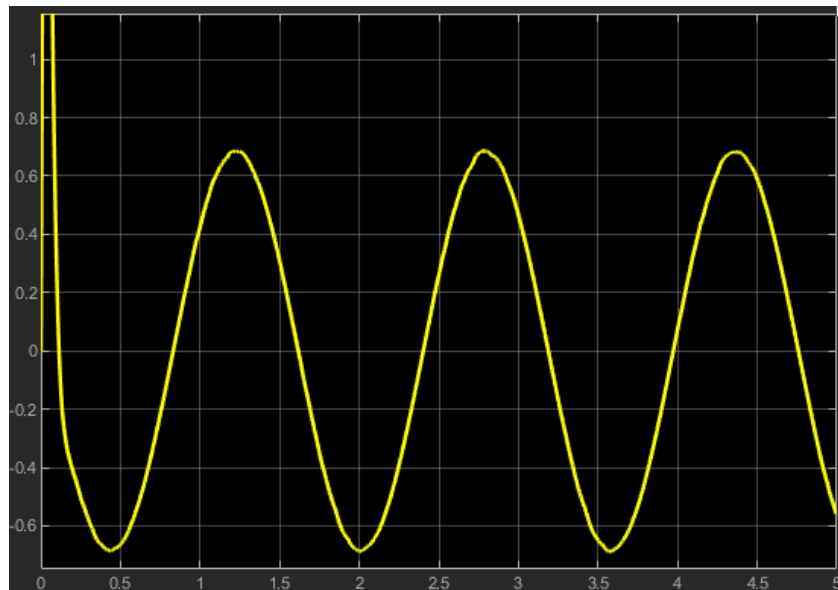


Рис. 6. Установившаяся ошибка на гармоническое входное воздействие

Выводы

Предложенная в работе методика, основанная на построении желаемой ЛАЧХ, позволяет формализовать процесс проектирования микропроцессорного устройства управления положением технического объекта в системе позиционирования. Результаты моделирования средствами пакета Matlab/Simulink показывают, что спроектированный контур позиционирования каретки с оптической головкой отвечает заданным требованиям по точности, быстродействию и качеству переходных процессов.

В дальнейшем рассмотренную методику предлагается адаптировать к проектированию специализированных систем управления, в которых используются нейронные сети, нечеткая логика и другие интеллектуальных средства обработки данных [8, 9].

Библиографический список

1. Скворцов С.В., Хрюкин В.И. Модель микропроцессорного устройства управления положением технического объекта в системе позиционирования // Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы современной науки и производства». Рязань: РГРТУ, 2023. С. 310-316
2. Оптические дисковые системы: Боухьюз Г., Браат Д., Хайсер А. и др. М.: Радио и связь, 1991. 280 с.
3. Бобиков А. И., Сурков И. И. Нейросетевое управление скоростью двигателя постоянного тока // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. № 52. С. 105-112.
4. Скворцов С.В., Хрюкин В.И. Разработка алгоритма функционирования микропроцессорной системы управления техническим объектом в реальном времени // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2023: сб. тр. VI междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.3 Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2023. С. 108-112
5. Скворцов С.В., Хрюкин В.И. Модель микропроцессорной системы управления техническим объектом в режиме реального времени // Материалы VII Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы современной науки и производства». Рязань: РГРТУ, 2022. С. 282-289
6. Филиппс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. 616 с.
7. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. М.: Профессия, 2004. 767 с.
8. Игнатьев В. В., Спиридонов О. Б., Курейчик В. М., Ковалев А. В., Игнатьева А. С. Метод гибридного управления в интеллектуальных системах на основе ПИД и ПИД-fuzzy-регуляторов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2017. № 62. С. 110-116.
9. Бобиков А. И., Бубнова Т. С. Управление неустойчивыми объектами и объектами с интегратором при помощи непрерывного иммунного ПИД-регулятора // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. № 52. С. 105-112.

УДК 004.4; ГРНТИ 50.41.25

ИЗУЧЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ШКОЛАХ И СПОСОБЫ ЕЁ МОДЕРНИЗАЦИИ

К.А. Никонов, А.Н. Сапрыкин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, saprykin.a.n@rsreu.ru*

Аннотация. В данной работе рассматриваются основные понятия, связанные с дистанционным обучением школьников. Анализируются основные преимущества и недостатки данного вида образования. Предлагаются направления улучшения уже имеющихся платформ для образования, а также по приведенным данным проводится инфологическое и даталогическое проектирования новой платформы для системы дистанционного образования, результатами которого является ER-диаграмма и схема базы данных. Также представлены способы и этапы дальнейшей программной разработки системы.

Ключевые слова: дистанционное обучение (ДО), базы данных (БД).

STUDY OF THE ORGANIZATION OF DISTANCE EDUCATION SYSTEM IN SCHOOLS AND WAYS OF ITS MODERNIZATION

K.A. Nikonov, A.N. Saprykin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, saprykin.a.n@rsreu.ru*

The summary. This paper explores the fundamental concepts related to distance learning for school students. The main advantages and disadvantages of this type of education are analyzed. Directions for improving existing education platforms are proposed, and based on this data, infological and datalogical design of a new platform for distance education system is conducted, the results of which include an ER diagram and a database schema. Methods and stages of further software development for the system are also presented.

Keywords: distance learning (DL), databases (DB).

Технический прогресс современности привнес в нашу жизнь множество изменений, и одним из таких изменений, сильно затронувшим жизнь многих людей, стало развитие сферы дистанционного обучения. Многие страны начали активно внедрять подобные технологии, что обусловлено значительным списком их преимуществ. Не являясь заменой традиционного очного обучения, дистанционное обучение выходит на первый план при невозможности или сложности реализации классического формата. В рамках данной работы, рассматривается реализация дистанционного обучения в школах, положительные и отрицательные стороны, а также способы по программной модернизации и оптимизации процессов образования.

Существует несколько подходов к определению дистанционного обучения. С одной стороны, оно рассматривается как целое семейство методов, при которых процесс обучения осуществляется без личного присутствия всех его участников в одной аудитории с помощью печатных, электронных, механических или других средств. Важным фактором является возможность асинхронности процесса. С другой стороны, дистанционное обучение воспринимается в аспекте именно образовательного процесса, осуществляемого с применением совокупности телекоммуникационных технологий, позволяющего освоить требуемый объем информации без непосредственного контакта в ходе процесса обучения [1].

Основные методы дистанционного обучения:

- Вебинары – интерактивные онлайн-лекции в реальном времени.
- Мультимедийные учебные материалы – различные информационные ресурсы, такие как видео, аудио, презентации и проч. для облегчения учебного процесса.
- Электронные учебники – предоставления доступа к электронным библиотекам и прочим информационным ресурсам.

- Чаты обсуждения – онлайн платформы, в которых ученики могут общаться между собой или связаться с учителем.
- Системы онлайн тестирования – использование специальных платформ для проверки усвоения материала.
- Индивидуальные консультации – любые дистанционные средства связи с учителем, от общения по электронной почте до видеозвонков.

Представим основные преимущества и недостатки данного вида образования в виде двух статистических диаграмм [2] (рисунки 1, 2). Значения в этих диаграммах изменяются от 0 до 10, что означает степень важность данного преимущества или недостатка соответственно.

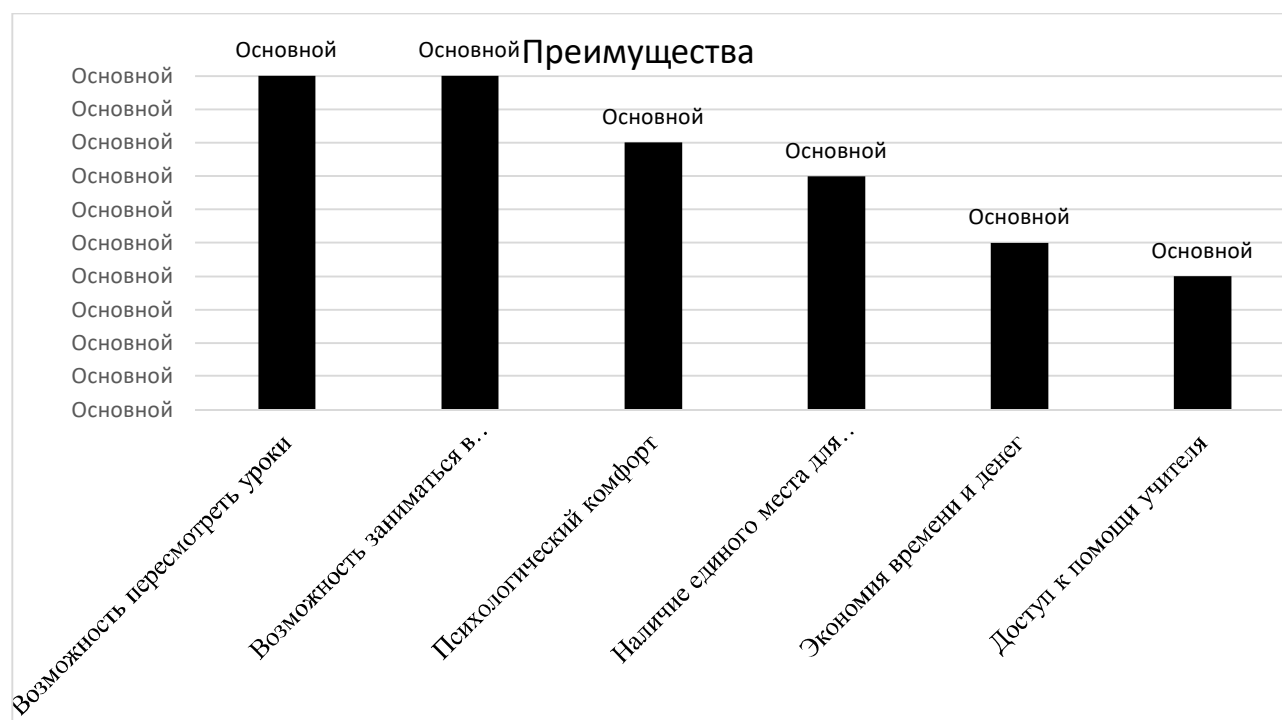


Рис. 1. Основные преимущества дистанционного обучения

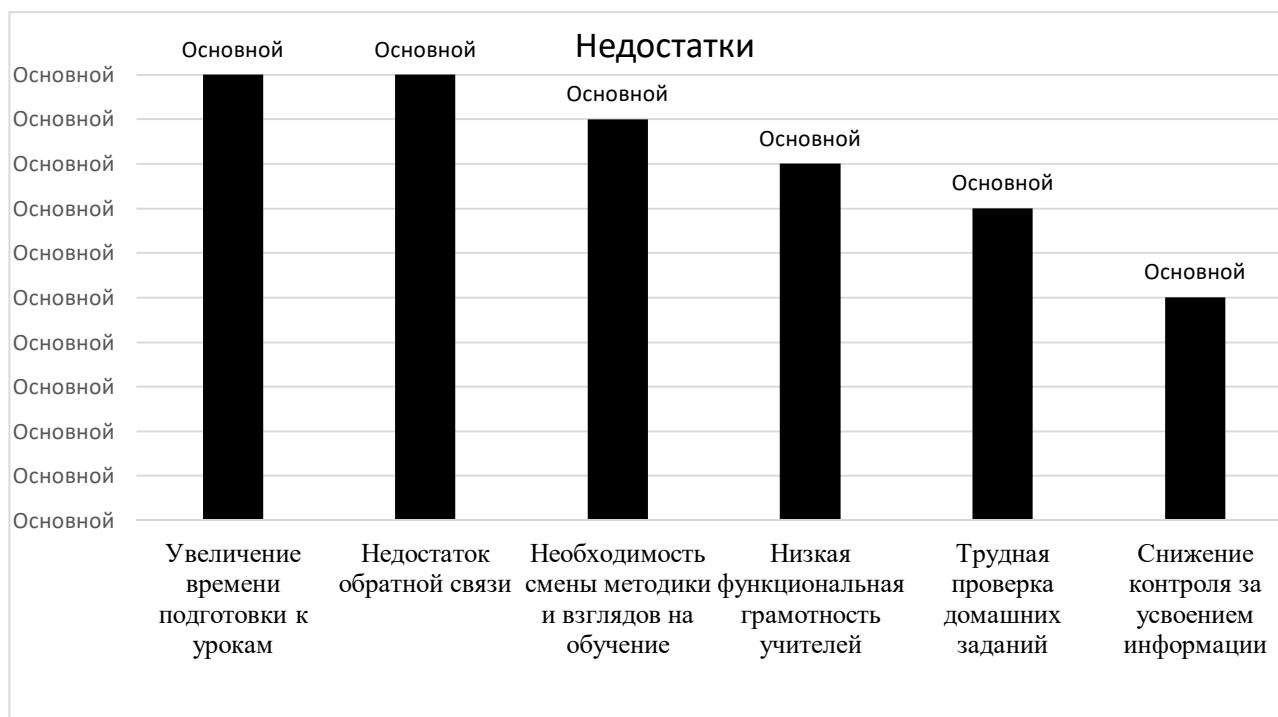


Рис. 2. Основные недостатки дистанционного обучения

Проанализировав данные недостатки, можно сделать вывод, что для улучшения дистанционного образования необходимо провести обновления текущих платформ для обучения.

Основные направления модернизации платформ:

1. Оптимизация процессов рабочей деятельности учителей с использованием информационных технологий может развиваться как в направлении упрощения проверки домашних заданий, так и в направлении усовершенствования процессов сбора и заполнения рабочих документов.

2. Создание общего учебного плана для дистанционного обучения по каждому предмету, который размещается на платформе и может быть доработан и внесен в качестве урока каждым учителем. Эта модификация поможет преодолеть низкую функциональную грамотность учителей путем удобного импорта существующей программы уроков и расширит возможности дистанционного образования.

3. Улучшение системы онлайн тестирования.

4. Объединение множества образовательных платформ для хранения справочной электронной информации. Эта модернизация поможет избежать информационной перегрузки.

5. Привлечение в область образования «наставников», как правило, это студенты ВУЗов; данный метод используется в одной из отраслей дистанционного обучения, называемой «онлайн школы».

На основе выявленных негативных и позитивных аспектов дистанционного обучения, а также при проведении инфологического и даталогического проектирования можно спроектировать информационную систему. В процессе проектирования такой системы результатом инфологического проектирования является ER-диаграмма.

ER-диаграмма – это разновидность блок-схемы, где показано, как разные «сущности» (люди, объекты, концепции и так далее) связаны между собой внутри системы.

Результатом же даталогического проектирования является схема базы данных.

Схема базы данных – её структура, описанная на формальном языке, в реляционных базах данных схема определяет таблицы.

Следует отметить, что при инфологическом проектировании структура базы данных должна соответствовать нормальной форме Бойса-Кодда (БКНФ), что обеспечивает:

- Ликвидацию избыточности данных.
- Улучшение структурированности данных.
- Улучшение структурированности данных.
- Гарантию сохранения целостности данных.
- Упрощение процесса обновления данных.

Таким образом, можно представить платформу для дистанционного образования в виде ER-диаграммы и упрощенной схемы базы данных (рисунки 3, 4).

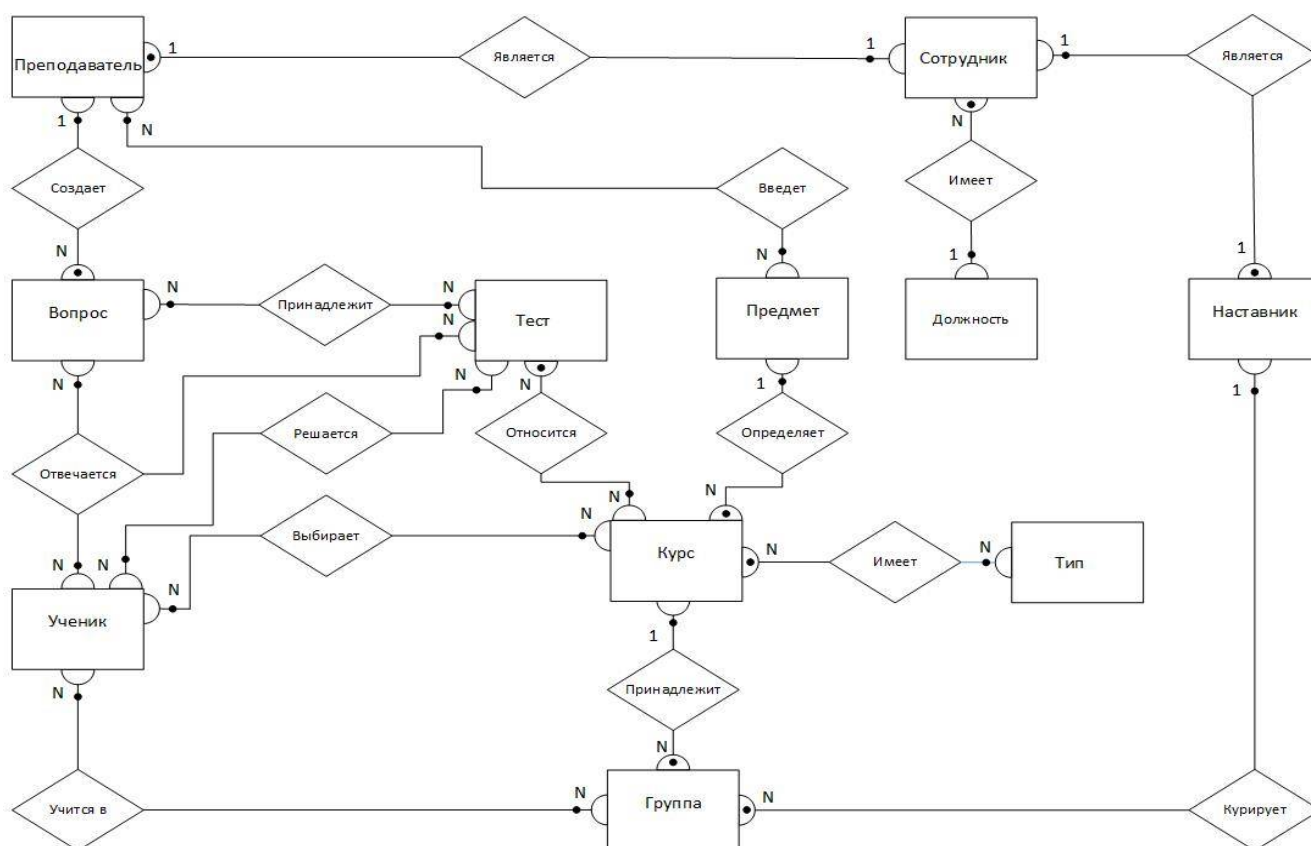


Рис. 3. ER-диаграмма платформы онлайн обучения

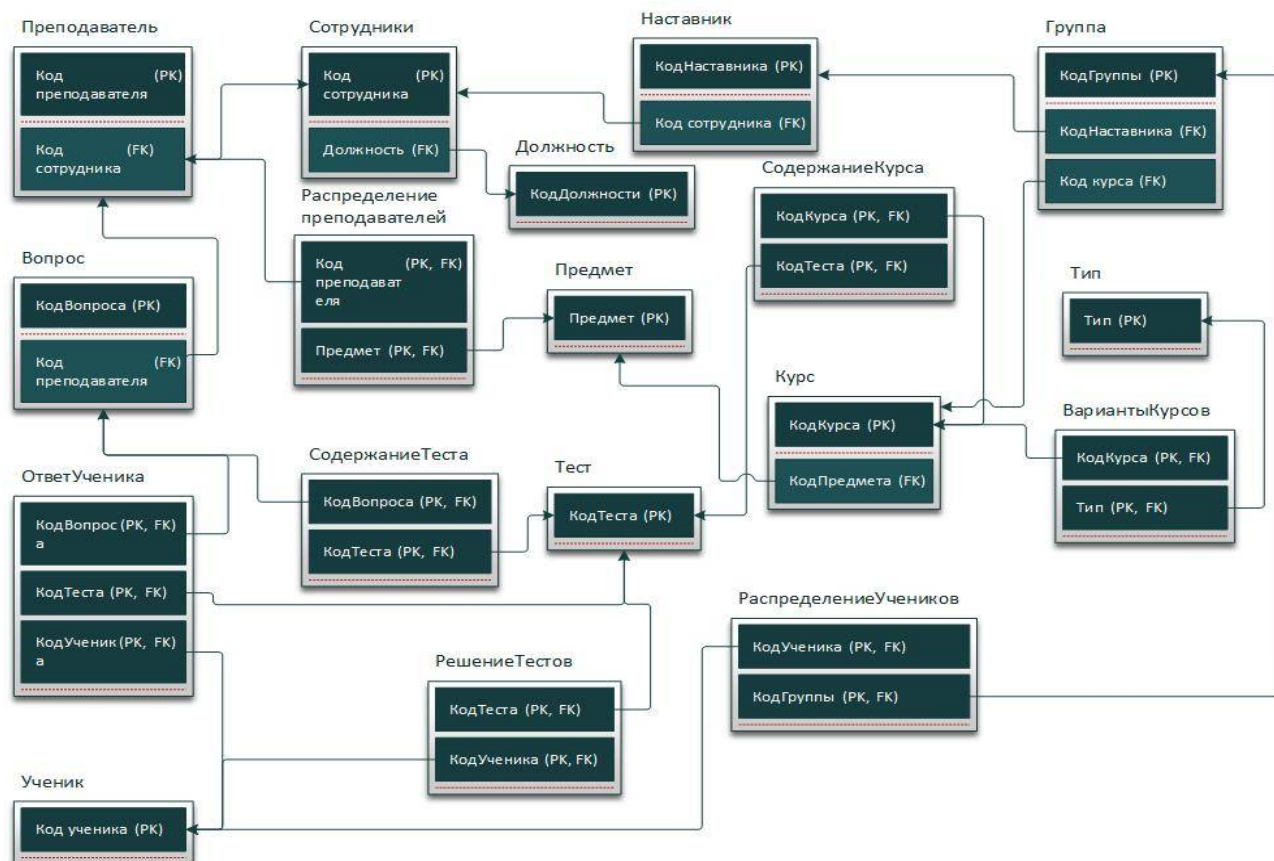


Рис. 4. Схема базы данных платформы онлайн обучения

Следующим этапом создания платформы является программная реализация, которую можно осуществить с использованием следующих веб-технологий:

1. Создание пользовательского интерфейса может быть осуществлено с помощью таких языков и фреймворков программирования, как HTML 5, CSS 3, JavaScript, jQuery, SASS, Vue, Angular.

2. Серверную часть возможно реализовать с помощью языка PHP, а также различных фреймворков. На данном этапе важно обеспечить безопасность данных на серверном уровне, то есть реализовать защиту данных от возможных атак.

3. Для создания базы могут быть использованы такие бесплатные реляционные СУБД, как MySQL, PostgreSQL или MariaDB. На этом этапе также необходимо обеспечить сохранность данных путем создания триггеров и установки ограничений.

Библиографический список

1. Gunawardena C.N., McIsaac M.S. Distance education / Handbook of research on educational communications and technology. 2013. Pp. 361-401.
2. Влияние дистанционного образования на школьном обучении в регионах. URL: <https://skillbox.ru/media/education/spetsialisty-vyyasnili-kak-distant-otrazilysya-na-shkolnom-obuchenii-v-regionakh/?ysclid=lt2og0li8a973893349>.

УДК 004.94; ГРНТИ 50.35

ОЦЕНКА ИДЕНТИЧНОСТИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

А.Д. Кошелев, М.С. Кошелева, В.И. Орешков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, adkoshelev98@gmail.com, vyacheslav.oreshkov@yandex.ru*

Аннотация. Рассматриваются концепция цифрового двойника (ЦД), а также критерии его качественной и количественной оценки. Описывается комплексная характеристика оценки, называемая «идентичность» для проектирования, разработки, оптимизации, развития в контексте «умного производства». Рассматриваются четыре атрибута идентичности, учитывающие основные компоненты ЦД, включая данные, модель и параметры: полнота, достоверность, точность и задержка. Приводится общий алгоритм оценки идентичности ЦД.

Ключевые слова: цифровой двойник, идентичность, атрибуты идентичности, оценка идентичности, умное производство.

ASSESSING THE IDENTITY OF DIGITAL TWINS

A.D. Koshelev, M.S. Kosheleva, V.I. Oreshkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, adkoshelev98@gmail.com, vyacheslav.oreshkov@yandex.ru*

Abstract. The concept of a digital twin (DT), as well as the criteria for its qualitative and quantitative assessment, are considered. Describes a comprehensive assessment characteristic called “identity” for design, development, optimization, development in the context of “smart manufacturing”. Four identity attributes are considered, taking into account the main components of the data center, including data, model and parameters: completeness, reliability, accuracy and delay. A general algorithm for assessing CD identity is presented.

Keywords: digital twin, identity, identity attributes, identity assessment, smart manufacturing.

Введение

Цифровой двойник (ЦД, digital twin) — виртуальная копия физического объекта, процесса или системы, созданная на основе различных данных, полученных на стадиях разработки и изготовления продукта, или данных о текущем состоянии уже работающего процесса (например, показатели систем мониторинга и диагностики) [2].

Концепция ЦД начала развиваться в производственной сфере. Она использовалась для имитации различных ситуаций, позволяющих впоследствии подбирать наиболее адекватные сценарии поведения технических систем, машин или процессов в целях контроля качества и предотвращении сбоев.

В настоящее время, благодаря повсеместному внедрению искусственного интеллекта и Интернета вещей, используемых в цифровых двойниках для сбора и обработки информации, наметилась устойчивая тенденция применения ЦД в различных отраслях промышленности, а также в автоматизации бизнес-процессов[1].

Структура каждого ЦД существенно зависит от конкретного варианта использования и желаемого конечного результата, поэтому цифровые двойники, как правило, рассматриваются с точки зрения соответствия виртуального представления объекта его назначению, а не идентичности его физическому аналогу, поскольку достижение точного соответствия во многих случаях может быть как невозможным, так и ненужным.

Чтобы оценить способность ЦД адекватно представлять свой физический прототип, анализируется набор его характеристик с учетом содержания и производительности. Поскольку данные и модели являются фундаментальными компонентами ЦД, применяются соответствующие методы их оценки. Детализация используется в качестве параметра для управления данными-двойниками на протяжении всего их жизненного цикла. С точки зрения разработки моделей, характеристики, участвующие в создании ЦД, включают надежность (верность), сложность, стандартизацию и функциональность.

Каждая характеристика оценивает физическое представление только с одной стороны, например, точность описывает, насколько адекватен ЦД, тогда как согласованность учитывает синхронизацию между физическим объектом и цифровым двойником. Следовательно, существующие критерии не могут дать комплексную оценку в связи с тем, что она производится в рамках отдельно взятой цели (данных, модели и т.д.) или перспективы (реализм, синхронизация и т.д.). При этом одни характеристики оцениваются количественно, а другие – качественно. Хотя качественные результаты, такие как уровень точности и уровень зрелости, могут приблизительно отражать свойства цифрового двойника, важно иметь методы и количественной оценки.

Понятие идентичности цифрового двойника

Для качественного или количественного описания содержания и функциональности ЦД в литературе [5] широко предлагаются следующие основные характеристики:

- *верность* – показатель, означающий, насколько адекватно модели цифрового двойника могут представлять физический аналог;
- *зрелость* – модели зрелости разработаны для понимания уровня реализации ЦД и их функциональных возможностей. Выделяют четыре уровня зрелости: доцифровой, цифровой, адаптивный и интеллектуальный;
- *согласованность* – это характеристика моделей в ЦД, которая в первую очередь отражает, насколько они адекватны реальным физическим объектам.

Концепция идентичности расширяет существующие в литературе характеристики цифровых двойников, рассматривая три ключевых аспекта: объект оценки, её перспективу и конкретную цель ЦД. При таком подходе основные элементы и понимание других характеристик включены в определение *идентичности* – способности цифрового двойника представлять аналог всесторонне, реалистично и синхронно.

Учитывая три измерения оценки, она подразумевает использование следующих элементов:

$$I = \langle R, C, P, D \rangle,$$

где *R* – полнота, *C* – достоверность, *P* – точность, *D* – задержка.

Полнота. Полнота направлена на оценку того, насколько всесторонне ЦД представляет свой физический прототип. Как правило, он разрабатывается для производственного сценария с конкретной целью, которая определяет распределение важности производственной информации в цифровом представлении. Соответственно, полнота определяется как сумма целевых весов, связанная со всей репрезентативной информацией, которая может быть отобрана из физического пространства в виртуальное.

Полнота включает три составные части:

- компоненты производственного процесса (например, окружающая среда);
- действия производственного процесса (например, механические), при этом каждое действие выполняется компонентом и может рассматриваться как его поведение;
- свойства производственного процесса, которые можно разделить на два типа – статические и динамические. Статические представляют собой физические атрибуты компонентов и действий в производственном процессе, например, характеристики сырья или максимальная скорость обработки 3D-изображения. Динамические свойства – это изменения компонентов в реальном времени в ходе производственного процесса (данные датчиков или показатели производительности компонентов).

Достоверность показывает, насколько цифровой двойник приблизился к своему физическому прототипу. Оценивается по трем критериям:

- представление физических свойств в определенном домене;

- объединение данных и параметров в реальном времени для представления поведения и внешнего вида физического объекта. Модели внешнего вида, такие как геометрические, модели освещения и тени, могут передавать положение, форму и размеры физического объекта;

- описание достоверности параметров в цифровом представлении (например, коэффициенты моделей). Верность параметров, являющихся ключевыми компонентами цифровых моделей, может существенно повлиять на результаты работы модели и на ее производительность.

Точность показывает, насколько реалистичен цифровой двойник. Включает два компонента:

- точность данных учитывает значимость данных из физического мира. Из-за неизбежных случайных ошибок в каждой процедуре измерения существуют различия в интерпретации данных из всевозможных источников;

- точность моделей оценивает вероятность получения согласованных результатов, полученных при их использовании с одинаковыми входными условиями. Например, для модели на основе нейронной сети, которая предсказывает значения конкретного физического параметра системы, точность определяется стандартным отклонением значений, полученных в результате нескольких повторяющихся тестов с одинаковыми входными данными.

Задержка. Режим реального времени является ключевой характеристикой цифрового двойника, для оценки которой предлагается задержка, как максимальный временной интервал, необходимый для реализации виртуальных состояний относительно физических. Если между ЦД и его прототипом существует обратная связь, то задержка состоит из двух частей:

- физически-цифровая задержка представляет собой максимальную задержку информации, передаваемой с физической на цифровую сторону двойника. Информацию можно разделить на физические данные, такие как температура, давление, размеры и показатели производительности, например, точность размеров. Когда происходит изменение на физической стороне ЦД, между ним и его реализацией существует временная задержка, которая состоит из временных затрат на передачу и выборку данных;

- цифро-физическая задержка определяет время, необходимое для передачи цифровой информации, возникшей в процессе работы ЦД, в физическую среду, а также реализацию связанных с ней оптимизационных решений.

Оценка идентичности цифрового двойника

Одним из важнейших применений ЦД в настоящее время является умное производство (Smart Manufacturing) – компьютерно-интегрированное производство, подразумевающее использование цифровых информационных технологий, таких как облачные вычисления, искусственный интеллект, Интернет вещей и киберфизических систем (Cyber-physical system, CPS), на всех этапах разработки продукции. Оно имеет высокий уровень адаптивности, гибкую подготовку технического персонала, оптимальные цепочки поставок и т.д. [4].

Решающим фактором повсеместного внедрения умного производства является достижение киберфизического слияния. Хотя технология CPS обеспечивает основу и механизм для плавного взаимодействия между физическими и киберкомпонентами, она в основном фокусируется на проверке научных принципов, а не на практической оптимизации инженерных задач. В данном контексте ЦД, как технология, обеспечивающая умное производство, рассматривается с точки зрения способа киберфизического слияния. Поэтому задача оценки идентичности цифровых двойников является особенно актуальной для проектирования, разработки, оптимизации в рамках «умного производства».

Процесс оценки идентичности ЦД можно разбить на два основных этапа:

1) Анализ производственных сценариев, т.е. анализируются и интегрируются производственный процесс и конкретная цель ЦД для создания информационной модели с целевыми весами.

Шаг 1. Разработка онтологии производства для идентификации репрезентативной информации в производственном процессе. Поскольку онтология разрабатывается исходя из конкретной цели, в нее включается только производственная информация, связанная с этой целью. Чтобы обеспечить функциональную совместимость и возможность повторного использования онтологии, рассматривается или адаптируется ряд онтологий верхнего уровня, уровня предметной области и существующих онтологий [3]. В соответствии с нисходящим подходом и целью цифрового двойника используется алгоритм, включающий шесть итераций:

- определение спецификации онтологии;
- разработка вопросов о компетентности, которые уточняют, какие знания должны быть включены в онтологию. Предлагается рассматривать четыре аспекта: содержание, поведение, представление и возможности производственного процесса;
- поиск производственных ресурсов, которые необходимо включить в онтологию, а именно персонал, оборудование, материалы, процессы, объекты, окружающую среду, продукцию и соответствующую документацию;
- концептуализация репрезентативной информации. Сначала определяется степень детализации элементов в онтологии, затем концептуализируются сущности, их атрибуты и отношения. Эти концепции выбираются путем оценки их связи с целью ЦД;
- разрабатывается онтология, базирующаяся на выбранной репрезентативной информации. На основе языка онтологии впоследствии создаются экземпляры классов, свойств объектов и данных;
- уточнение и проверка разработанной онтологии. Разработанная онтология уточняется путем ее сравнения с ранее созданной онтологией, корректируются дополнительные или недостающие понятия.

Шаг 2. Производственная онтология представляет информацию и знания о физическом мире в формате классов и свойств объектов. Понятия в онтологии сортируются по трем информационным классам: компонент, активность и свойство.

Шаг 3. Принятия решения на основе АНР. Аналитический иерархический процесс (Analytic Hierarchy Process, АНР) используется для получения весов различных факторов, базирующихся на человеческих знаниях и опыте. Чтобы снизить риск субъективизма при использовании АНР, необходимо соблюдать несколько правил. Сначала разрабатывается последовательная шкала с четкими определениями. Затем результаты сравнения двух факторов присваиваются на основе нескольких источников информации, включая результаты экспериментов и предпочтений разработчика, проводится анализ чувствительности, чтобы определить влияние различных предположений и предпочтений на окончательное решение.

2) Оценка идентичности на основе информационной модели и весов. Данный этап включает четыре шага:

Шаг 1. Создание хранилища данных, модели и параметров в цифровом представлении ЦД.

Шаг 2. Сопоставление цифрового представления и информационной модели для присвоения целевых весов и обновления статуса репрезентативности.

Шаг 3. Определение атрибутов каждого элемента цифрового представления, таких как: полнота, достоверность, точность, задержка.

Шаг 4. Интеграция атрибутов каждого элемента и назначение ему целевого веса для вычисления окончательных результатов оценки.

Заключение

Таким образом, в данной статье вводится понятие идентичности цифровых двойников, рассматривается один из возможных методов её оценки. Для этого предлагается использовать четыре атрибута: полноту, достоверность, точность и задержку. Объектами оценки являются данные, модель и параметры в цифровом представлении. Алгоритм оценки определяется целью ЦД и информацией о его физическом прототипе, включая анализ сценариев его функционирования.

Библиографический список

1. Паклин, Н.Б. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям: учебное пособие / Н.Б. Паклин, В.И. Орешков. - 2-е изд., доп. и перераб. — СПб: Питер, 2013. — 704 с.
2. Стариковская, Н.А. Цифровой бизнес и сквозные цифровые технологии: теория и практика: учебное пособие / Н.А. Стариковская, А.И. Стариковский, М.В. Куц. — Москва: РТУ МИРЭА, 2022 — Часть 1 — 2022. — 259 с.
3. Singh S., Shehab E., Higgins N., Fowler K., Reynolds D., Erkoyuncu J.A., Gadd P. Data management for developing digital twin ontology model, Proc. Inst. Mech.Eng., Part B: J. Eng. Manuf. 235 (14), (2021), 2323–2337.
4. Tao F., Zhang M., Nee A. Chapter 1 - Background and concept of digital twin. In: Tao F, Zhang M, Nee A, editors. Digital twin driven smart manufacturing. Academic Press; 2019, p. 3–28.
5. Wärmefjord K., Söderberg R., Schleich B., Wang, H. Digital twin for variation management: A general framework and identification of industrial challenges related to the implementation. Applied Sciences (Switzerland), 10, (2020).

УДК 004.896; ГРНТИ 50.51.17

АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ

Д.А. Перепелкин, В.Ю. Ликучев

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, v.likuchov@yandex.ru*

Аннотация. В работе представлена архитектура программного комплекса автоматизированного размещения компонентов на печатной плате, в основу построения и функционирования которого заложены модели и принципы решения данной задачи с использованием мультиагентного подхода. Описаны основные структурные части архитектуры, приведена ее схема.

Ключевые слова: программный комплекс, программная архитектура, автоматизация проектирования, топологическое проектирование, размещение элементов, мультиагентная система, электронный модуль, печатная плата.

ARCHITECTURE OF THE SOFTWARE COMPLEX AUTOMATED COMPONENT PLACEMENT BASED ON MULTI-AGENT SYSTEMS

D.A. Perepelkin, V.Y. Likuchev

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, v.likuchov@yandex.ru*

The summary. The article presents the architecture of a software package for automated placement of components on a printed circuit board, the construction and operation of which is based on models and principles for solving this problem using a multi-agent approach. The work describes the main structural parts of the architecture and provides its diagram.

Keywords: software package, software architecture, design automation, topological design, placement of elements, multi-agent system, electronic module, printed circuit board.

Сокращение сроков разработки современной радиоэлектронной аппаратуры, которая характеризуется повышенной функциональной сложностью и большим числом предъявляемых к ней требований, толкает к использованию средств автоматического решения задач проектирования. Одной из самых трудоемких процедур, при этом располагающей к повышению уровня автоматизации выполнения, является процедура топологического проектирования модулей первого уровня, и, в частности, задача размещения компонентов на печатной плате. Однако стоит понимать, что от результатов размещения зависит не только скорость последующей трассировки печатных проводников, но и качество устройства, его надежность и объем возможных затрат на доработку изделия. Поэтому, даже при значительной автоматизации, выполнение данной процедуры должно сопровождаться постоянным контролем, который обеспечивается предоставлением полной информации об объекте и ходе проектирования, а также возможности объектной настройки процесса оператором.

В функциональный состав инструментального средства автоматизированного размещения радиоэлектронных компонентов на печатной плате вне зависимости его интеграции с САПР целесообразно включить следующие механизмы:

1. Предоставление оператору информации об объекте размещения, которая, по крайней мере, должна включать данные о компонентах и цепях, их списки, а также графовые и матричные представления схемы.
2. Интерактивная настройка процесса размещения, возможность задания оператором условий, ограничений и критериев.
3. Возможность промежуточного контроля размещения и его «горячей» настройки.

Эти функции обеспечиваются реализацией инструментального средства как визуальной среды с интерактивным интерфейсом для взаимодействия с оператором.

В основе математического обеспечения рассматриваемого инструментального средства лежит мультиагентная модель представления объекта размещения [2,3], поэтому его архитектура должна поддерживать следующий информационный процесс:

- Шаг 1. Получение данных об объекте размещения.
- Шаг 2. Представление объекта размещения как мультиагентной системы (МАС).
- Шаг 3. Структурирование полученной МАС.
- Шаг 4. Решение задачи оптимизации для МАС.
- Шаг 5. Интерпретация и передача полученного решения.

Состав предоставляемой оператору информации должен быть дополнен данными об агентах, структуре МАС, графовыми и матричными представлениями структуры.

На основе положений, выведенных в работах [1-3], а также приведенных требований определена архитектура рассматриваемого инструментального средства (см. рисунок 1).

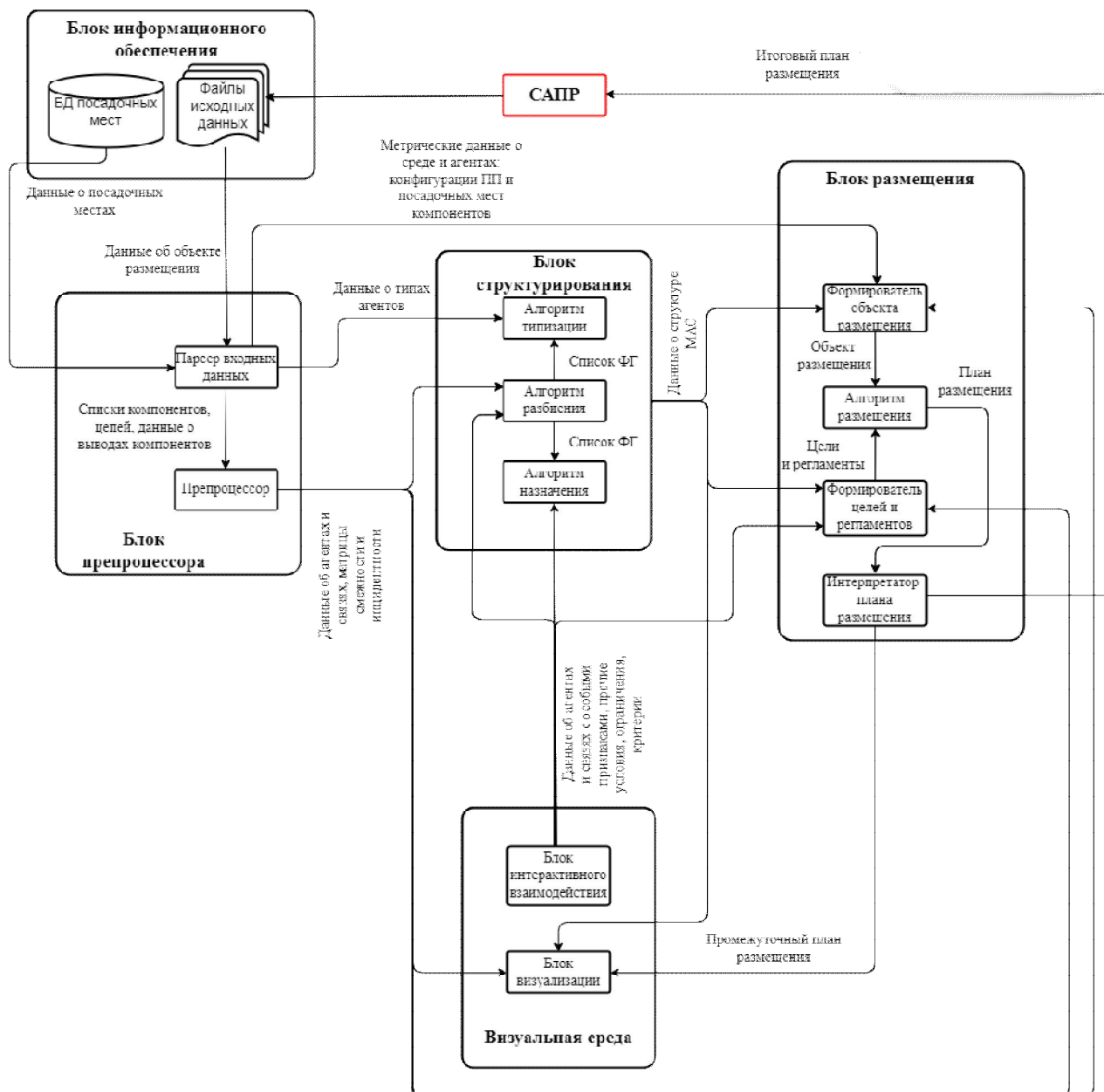


Рис. 1. Архитектура программного средства автоматизированного размещения компонентов

Основными компонентами архитектуры рассматриваемого программного средства являются:

1. Блок информационного обеспечения, который включает
 - файлы данных об объекте проектирования, полученные из САПР (файл схемы в формате .ips, файл контура платы в формате .dxf и другие);
 - база данных посадочных мест компонентов.
2. Блок препроцессора, включающий
 - парсер для выделения необходимой информации из файлов входных данных;
 - препроцессор для представления выделенной информации в формах, необходимых для работы основных алгоритмов (здесь происходит формирование списков агентов и связей, графовых и матричных представлений системы).
3. Алгоритмический блок структурирования, в котором происходит определение структуры мультиагентной системы и который включает
 - алгоритм выделения функциональных групп (разбиение) [1];

- алгоритм выделения структурно-подобных групп (типизация) [1];
- алгоритм выделения групп с особыми признаками (назначение) [1].

4. Блок размещения, включающий

- формирователь объекта размещения, в котором на основании данных о посадочных местах, конфигурации платы и начального состояния агентов формируется представление объекта, необходимое для работы алгоритма размещения;
- формирователь целей и регламентов, в котором на основании структуры системы и данных интерактивной настройки формируются критерии поиска для агентов разных кластеров [1] и правила их перемещения;
- алгоритм размещения агентов и групп агентов;
- интерпретатор плана размещения для его графического представления в визуальной среде или в формате, необходимом для передачи в САПР.

5. Визуальная среда с интерактивным интерфейсом для реализации контроля процесса размещения на этапах структурирования и решения оптимизационной задачи.

Приведенная архитектура может служить основой для построения инструментального средства автоматизированного размещения компонентов на основе мультиагентных систем.

Стоит отметить, что включение в функционал программного средства процедур схемного упорядочивания, алгоритмы которых отличны от рассмотренных в контексте мультиагентного подхода, позволит использовать его в качестве экспериментальной среды для сравнения эффективности различных методов в решении оптимизационной задачи размещения.

Так как в состав рассматриваемого программного средства входят два компонента, выполняющие законченные, взаимосвязанные функции (структурирование и размещение), оно может быть определено как программный комплекс [4].

Библиографический список

1. Перепелкин Д.А., Ликучев В.Ю. Структура программного модуля автоматизированного размещения компонентов на основе мультиагентных систем. VI Международный научно-технический форум СТНО-2023. Сборник трудов. Том 3. С. 116-125.
2. Корячко В.П., Перепелкин Д.А., Ликучев В.Ю. Математическая модель представления мультиагентных систем и ее применение в задачах топологического проектирования модулей радиоэлектронных средств // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2023. №83. С. 48-61. DOI:10.21667/1995-4565-2023-83-48-61.
3. Перепелкин Д.А., Ликучев В.Ю. Мультиагентный подход автоматизированного проектирования модулей радиоэлектронных устройств на основе анализа инженерных стратегий. V Международный научно-технический форум СТНО-2022. Сборник трудов. Том 3. С. 124-132.
4. ГОСТ 19.101-77 «Единая система программной документации. Виды программ и программных документов».

СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ»

УДК 004.056 ; ГРНТИ 81.93.29

ПРИМЕНЕНИЕ ФАЗЗИНГ-ПРОГРАММЫ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ОШИБОК И УЯЗВИМОСТЕЙ ПО

М.И. Колесников, Ю.М. Кузьмин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, makkoar@gmail.com, kuzmin_yurii@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются способы использования фаззинг-программы для проверки программы на наличие ошибок и уязвимостей. Приводятся инструкция для установки фаззинг-программы на систему под управлением Linux, а также проводится пробное тестирование программы.

Ключевые слова: фаззинг-программа, инструкция установки, тестирование программы, автоматизированное тестирование, уязвимости программ.

APPLICATION OF THE FAZZER PROGRAM TO CHECK THE SOFTWARE ERRORS AND VULNERABILITIES

M.I. Kolesnikov, Y.M. Kuzmin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, makkoar@gmail.com, kuzmin_yurii@mail.ru*

The summary. The paper considers ways of using a fuzzing program to check the program for errors. Instructions for installing the fuzzing program on a system running Linux are given, as well as a trial test of the program.

Keywords: fuzzing program, installation instructions, program testing, automated testing, program vulnerabilities.

Введение

С ростом сложности программного обеспечения и увеличением числа потенциальных угроз безопасности становится жизненно важным обеспечение высокого уровня защиты программных продуктов. Одним из ключевых аспектов в этом контексте является обнаружение и устранение ошибок в коде, которые могут стать потенциальными точками входа для вредоносных атак.

Фаззинг [1] позволяет находить неочевидные и неиспользованные пути выполнения программы, которыми мог бы воспользоваться злоумышленник для атаки на ПО. Фаззинг, позволяет выявлять такие ошибки (уязвимости) программных продуктов, которые могут остаться незамеченными при традиционном тестировании.

Фаззинг - технология тестирования ПО, в рамках которой вместо ожидаемых (правильных, корректных) входных данных программе передаются случайные или специально сформированные данные. Программе чаще всего подают на вход специально подобранные (автоматически сгенерированные) заведомо неправильные данные, при этом отслеживаются ситуации, когда программа не может их обработать, наступает программное исключение, за которым следует аварийное завершение работы. Наступление таких ситуаций считается проявлением дефектов в программе, которые являются следствием или могут привести к появлению уязвимостей ПО.

Заведомо некорректные данные передаются на вход программным интерфейсам (узлам стыковки с другими программами и внешним миром), включающим:

- файлы (файловый фаззинг);
- сетевые порты (фаззинг сетевых протоколов);
- API (Application Programming Interface) (API-фаззинг).

Установка фаззинг-программы на ОС LINUX

Фаззинг-программа AFL (American Fuzzy Loop) [2], используемая в данной работе, является бесплатной и размещается по адресу <https://github.com/google/AFL>. Существуют и другие варианты AFL, к которым относятся:

- AFL++, информация о котором доступна по адресам: <https://www.kali.org/tools/aflplusplus/> и https://ubuntu.pkgs.org/22.04/ubuntu-universe-amd64/afl-clang_4.00c-1ubuntu1_all.deb.html

- WinAFL, информацию о котором можно найти по адресу <https://github.com/ivanfratric/winafl>.

Существует вариант ОС Linux, где AFL уже встроен - это ОС Parrot Security, которую можно найти по адресу <https://parrotsec.org/>.

В рамках данной работы используется операционная система: LUbuntu, дистрибутив которой размещается по адресу <https://lubuntu.me/>. Это облегчённая версия Linux, основанная на ОС «Ubuntu».

Подключение к ОС LUbuntu может быть выполнено с использованием следующих учетных данных:

Логин: user

Пароль: password.

Для установки и начала использования AFL необходимо в ОС LUbuntu выполнить следующие действия:

- открыть консоль;

- обновить установщик пакетов командой

apt-get update

- установить cmake командой

sudo apt install cmake

- установить git командой

sudo apt install git

- клонировать репозиторий AFL командой

git clone https://github.com/google/AFL

- перейти в каталог AFL командой

cd AFL

- собрать AFL командами

sudo make

sudo make install

- создать папки input и output для входных и выходных файлов, введя соответственно команды

mkdir input

mkdir output

Если при работе с AFL появляется следующая ошибка:

```
[ - ] PROGRAM ABORT : Pipe at the beginning of 'core_pattern'  
Location : check_crash_handling(), afl-fuzz.c:7347
```

то нужно выполнить следующие действия:

- войти под учётной записью администратора (пароль указан ранее), введя команду

sudo su

- прописать путь к ядру шаблонов командой

echo core >/proc/sys/kernel/core_pattern

- выйти из учётной записи администратора командой

exit

Проведение пробного тестирования с использованием AFL

Для проведения пробного тестирования можно воспользоваться специально подготовленной программой, взяв ее по адресу https://github.com/hardik05/Damn_Vulnerable_C_Program.

Ниже приведен текст этой программы:

```
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
#include<string.h>
struct Image
{
    char header[4];
    int width;
    int height;
    char data[10];
};
void stack_operation(){
    char buff[0x1000];
    while(1){
        stack_operation();
    }
}
int ProcessImage(char* filename){
    FILE *fp;
    struct Image img;
    fp = fopen(filename,"r");        //Statement 1
    if(fp == NULL)
    {
        printf("\nCan't open file or file doesn't exist.\r\n");
        exit(0);
    }
    while(fread(&img,sizeof(img),1,fp)>0)
    {
        //if(strcmp(img.header,"IMG")==0)
        //{
            printf("\n\tHeader\twidth\theight\tdata\t\r\n");

printf("\n\t%s\t%d\t%d\t%s\r\n",img.header,img.width,img.height,img.data);
            //integer overflow 0x7FFFFFFF+1=0
            //0x7FFFFFFF+2 = 1
            //will cause very large/small memory allocation.
            int size1 = img.width + img.height;
            char* buff1=(char*)malloc(size1);
            //heap buffer overflow
            memcpy(buff1,img.data,sizeof(img.data));
            free(buff1);
            //double free
            if (size1/2==0){
                free(buff1);
```

```
    }
    else{
        //use after free
        if(size1/3 == 0){
            buff1[0]='a';
        }
    }
    //integer underflow 0-1=-1
    //negative so will cause very large memory allocation
    int size2 = img.width - img.height+100;
    //printf("Size1:%d",size1);
    char* buff2=(char*)malloc(size2);
    //heap buffer overflow
    memcpy(buff2,img.data,sizeof(img.data));
    //divide by zero
    int size3= img.width/img.height;
    //printf("Size2:%d",size3);
    char buff3[10];
    char* buff4 =(char*)malloc(size3);
    memcpy(buff4,img.data,sizeof(img.data));
    //OOBR read bytes past stack/heap buffer
    char OOB = buff3[size3];
    char OOB_heap = buff4[size3];
    //OOBW write bytes past stack/heap buffer
    buff3[size3]='c';
    buff4[size3]='c';
    if(size3>10){
        //memory leak here
        buff4=0;
    }
    else{
        free(buff4);
    }
    int size4 = img.width * img.height;
    if(size4/2==0){
        //stack exhaustion here
        stack_operation();
    }
    else{
        //heap exhaustion here
        char *buff5;
        do{
            buff5 = (char*)malloc(size4);
        }while(buff5);
    }
    free(buff2);
//}
//else
//    printf("invalid header\r\n");
}
```

```

        fclose(fp);
        return 0;
    }
    int main(int argc, char **argv)
    {
        if (argc < 2) {
            fprintf(stderr, "no input file\n");
            exit(-1);
        }
        ProcessImage(argv[1]);
        return 0;
    }

```

Перечень специально внесенных в эту программу уязвимостей (vulnerabilities) наиболее распространенных типов описан следующим образом:

- integer overflow (целочисленное переполнение);
- integer underflow (целочисленная потеря значимости);
- Out of bound Read (выход за границы области памяти при чтении);
- Out of bound Write (выход за границы области памяти при записи);
- Double Free (повторное освобождение памяти);
- Use After Free (использование памяти после освобождения);
- Memory leaks (утечки памяти);
- Stack exhaustion (исчерпание стека);
- Heap exhaustion (исчерпание кучи).

Задача фаззера состоит в том, чтобы эти ошибки(уязвимости) найти.

Для запуска установленной программы-фаззера AFL с использованием подготовленной программы необходимо выполнить следующие шаги:

Подготовка к тестированию:

- перейти в каталог AFL командой

cd AFL

- клонировать тестовый репозиторий командой

git

clone

https://github.com/hardik05/Damn_Vulnerable_C_Program_DVCP

- скопировать входной тестовый файл из директории (папки)
CP/libAFL/libafl_forkserver_fuzzer/corpus/1.img

в папку

input

Компиляция тестируемой программы:

- скомпилировать тестируемую программу командой

afl-gcc -g -fsanitize=address DVCP/imgRead.c -o imgread

где **DVCP/imgRead.c** - путь к исходному файлу программы,

imgread - путь к скомпилированному файлу программы.

- при успешной компиляции появится сообщение:

```

afl-gcc 2.57b by <lcantuf@google.com>
afl-as 2.57b by <lcantuf@google.com>
[+] Instrumented 29 locations (64-bit, ASAN/MSAN mode, ratio 33%).

```

Запуск теста программы:

- запустить тест программы с использованием AFL командой

afl-fuzz -i input -o output -m none -- ./imgread @@

- где **-i input** - путь до директории с входными файлами,
-o output - путь до директории с выходными файлами,
-m none - снимает ограничения на выделение памяти программе,
 знак «--» - разделяет параметры AFL от параметров тестируемой программы,
 «@@» - плейсхолдер для входных данных.
- если в консоли появится сообщение о недостатке места

**Your terminal is too small to display the UI.
 Please resize terminal window to at least 80x25.**

то необходимо развернуть окно терминала на весь экран, так как интерфейсу AFL не хватает места .

- в процессе фаззинга AFL на экране отображает следующее окно

```

american fuzzy lop 2.57b (imgread)

process timing                                overall results
0 days, 0 hrs, 4 min, 40 sec                  1025
none yet                                     1
0 days, 0 hrs, 3 min, 39 sec
none seen yet                                0

cycle progress                                map coverage
0 (0.00%)                                    0.01% / 0.01%
0 (0.00%)                                    1.00 bits/tuple

stage progress                                findings in depth
havoc                                         1 (100.00%)
126/256 (49.22%)                             1 (100.00%)
263k
908.2/sec                                    4769 (5 unique)
fuzzing strategy yields                       path geometry
0/32, 0/31, 0/29                             1
0/4, 0/3, 0/1                                 0
0/224, 0/25, 0/0                              0
0/25, 0/84, 0/44                             0
0/0, 0/0, 0/0                                 n/a
7/263k, 0/0                                   100.00%
n/a, 0.00%

```

- в правом верхнем углу окна AFL видно результаты (overall results):

```

1193
1
0

```

где **uniq crashes** - найденные AFL уникальные исключения (ошибки) программы.

Завершение теста:

- завершить тест командой
Ctrl+C»

Просмотр результатов:

- результаты выполнения программы будут доступны в папке по пути
AFL/output/crashes

в которой обычно располагаются следующие файлы, где описание исключения (ошибки) и причины ошибки описаны в названии файла:



– формат файла с результатами имеет следующий вид:

Id:000000,sig:06,src:000000,op:havoc,rep:16

где:

- **Id** : уникальный идентификатор исключения;
- **sig** : номер сигнатуры, связанной с исключением;
- **src** : исходный код, который привел к крашу (исходный файл);
- **op** : операция, выполненная перед исключением;
- **rep** : количество повторений операции, которая была выполнена перед исключением.

Использование AFL для проведения сертификационных испытаний ПО на безопасность описано в работе [3].

Интересный практический пример использования AFL для нахождения уязвимостей ПО разбирается в работе [4].

Выводы

В статье были рассмотрены практические шаги фаззинга как эффективного метода динамического тестирования программного обеспечения. Фаззинг позволяет автоматически менять входные данные программы обнаруживать потенциальные уязвимости и ошибки в программном коде. ОС Linux с установленной фаззинг-программой предоставляет разработчикам и тестировщикам ПО инструмент поиска ошибок и уязвимостей, способствуя повышению безопасности разрабатываемых программ.

Внедрение фаззинга в жизненный цикл создания ПО позволяет выявлять скрытые уязвимости ПО, которые часто остаются незамеченными при традиционных (статических) методах тестирования.

Библиографический список

1. Саттон М., Грин А., Амини П. Fuzzing-Исследование уязвимостей методом грубой силы. - М.: Символ-Плюс. - 2009 - 525 с.
2. Ari Takanen, Jared Demott, Charles Miller Fuzzing for Software Security Testing and Quality Assurance, 2nd Edition // Artech House. - 2018. - 330 p.
3. Бегаев А.Н., Кашин С.В., Маркевич Н.А., Марченко А.А. Выявление уязвимостей и недеklarированных возможностей в программном обеспечении – СПб: Университет ИТМО. - 2020. – 38 с. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://books.ifmo.ru/file/pdf/2581.pdf>. - Дата доступа: 15.02.2024.
4. Динамическая инструментация - не просто, а тривиально: пишем yet another инструментацию для American Fuzzy Loop. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/332076/>. - Дата доступа: 15.02.2024.

УДК 004.056.53; ГРНТИ 81.93.29

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА НА ОСНОВЕ ЛОЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ю.В. Конкин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, konkinjv@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются современные технологии построения ложных информационных систем (ЛИС) в качестве перспективного подхода к созданию систем защиты информации от несанкционированного доступа. Рассмотрены известные технологии обмана злоумышленников Honeypots, Honeynets, Sandboxing и Deception Platform. Показаны их преимущества, а также ограничения и недостатки. Приводятся примеры отечественных и зарубежных компаний, активно занимающихся рассматриваемыми в работе технологиями. В заключении работы делается вывод о возможности использования рассмотренных технологий в системах защиты от несанкционированного доступа.

Ключевые слова: защита информации, ложные информационные системы, технологии обмана, несанкционированный доступ, ловушка.

ANALYSIS OF THE FEATURES OF BUILDING INFORMATION PROTECTION SYSTEMS AGAINST UNAUTHORIZED ACCESS BASED ON FALSE INFORMATION SYSTEMS

Yu.V. Konkin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, konkinjv@yandex.ru*

The summary. The paper considers modern technologies for building false information systems (FIS) as a promising approach to creating information protection systems against unauthorized access. The known technologies of deception of intruders are considered Honeypots, Honeynets, Sandboxing and Deception Platform. Their advantages, as well as limitations and disadvantages are shown. Examples of domestic and foreign companies actively engaged in the technologies discussed in the article are given. At the end of the work, it is concluded that the considered technologies can be used in systems of protection against unauthorized access.

Keywords: information protection, false information systems, deception technologies, unauthorized access, trap.

В настоящее время одним из перспективных подходов к повышению уровня защищённости информации является создание для нарушителя условий неопределённости о составе и структуре атакуемой им информационной системы. Средства защиты информации, применяемые для этого, получили название ЛИС. О возможности применения ЛИС для защиты от несанкционированного доступа указывается в нормативном правовом акте [1].

Для реализации ЛИС широко используются технологии обмана или «технологии deception». Это набор способов моделирования информационной структуры предприятия и обмана нарушителей, которые применяются для обнаружения и защиты от атак нарушителей. В результате использования данных технологий атака может быть предотвращена до нанесения существенного ущерба.

Технологии Honeypots, Honeynets и Sandboxing

Данные технологии относятся к технологиям обмана нарушителей. Они впервые появились в 1990-х годах. Honeypots или ресурсы-приманки [2], предназначены для отвлечения нарушителя на ложный ресурс и обнаружения его действий. Как правило, ресурс-приманка является выделенным сервером или программным сервисом на реальном хосте системы. При этом он имитирует различные сетевые службы и протоколы реальных операционных систем, например FTP, HTTP или Telnet. Однако, ресурсы-приманки являются сложными в техниче-

ском сопровождении и администрировании. Все недостатки в конфигурации этих ресурсов могут быть использованы нарушителем как уязвимости для реализации атаки.

При объединении множества ресурсов-приманок в сеть возможно получение более эффективной системы защиты. Такая сеть представляет собой имитационную модель ложной сети предприятия, в которую входят различные сервера, другое оборудование и сервисы. Это поможет изучить цели активности нарушителей и заставить работать с ложными ресурсами сети. Сеть ресурсов-приманок обычно функционирует параллельно с настоящей сетью и они полностью изолированы друг от друга. Такую «сеть» можно опубликовать в Интернет по отдельному каналу, под нее также можно выделить отдельный диапазон IP-адресов. Смысл применения honeypot — показать хакеру, что он якобы проник в корпоративную сеть организации, на самом деле злоумышленник находится в «изолированной среде» и под наблюдением специалистов по информационной безопасности (ИБ).

Sandbox («песочница») позволяет нарушителям устанавливать и запускать вредоносные программы в изолированной среде, где ИТ-специалисты могут отслеживать их действия с целью выявления потенциальных угроз и принятия необходимых защитных мер. Обычно «песочница» запускается на специально выделенных виртуальных ресурсах. Данная технология только демонстрирует поведение нежелательных программ, а технология ресурсов-приманок делает возможным анализ тактик и техник нарушителя.

Применение технологии сети ресурсов-приманок позволяет отвлечь нарушителей на ложные цели в корпоративной сети. Такие атаки не затрагивают реальную информацию и, как правило, останавливаются без всякого успеха. Обычно технологии сетей ресурсов-приманок используются в крупных правительственных и финансовых организациях, так как здесь высока вероятность масштабных хакерских атак. Однако, предприятия малого и среднего бизнеса также нуждаются в эффективных инструментах для предотвращения инцидентов ИБ.

Технологии обмана имеют и недостатки, а именно::

- сети ресурсов-приманок планировались разработчиками для обнаружения угроз, находящихся за периметром сети компании, нужны для изучения тактик и техник нарушителей и не используются для расследования инцидентов ИБ;
- нарушители хорошо изучили признаки ресурсов-приманок в корпоративных сетях и способы их обхода ;
- сети ресурсов-приманок слабо взаимодействуют с имеющимися системами защиты информации корпоративной сети, поэтому с помощью приманок сложно собрать полную информацию о проникновениях и нарушителях, а также своевременно расследовать инциденты ИБ. При этом случается много ложных инцидентов ИБ;
- если ресурс-приманка был скомпрометирован, то нарушители могут на его основе развить атаку на корпоративную сеть организации;
- ресурсы-приманки сложно масштабировать, настраивать, они сильно загружают систему. Кроме того, они требуют специалистов соответствующей квалификации, сложны в управлении и использовании в облачных системах.

Технология Distributed Deception Platform (DDP)

Новые подходы обмана атакующих реализованы в технологии Distributed Deception Platform (DDP), или Deception Platform (инструментальных средствах для автоматизации разработки, развертывания и управления распределенными ЛИС) [3, 4]. Данная технология позволяет создавать и использовать большое количество ложных ресурсов и легко управлять ими.

В рамках данной технологии в корпоративной сети компании устанавливаются так называемые ловушки — модели устройств под управлением реальных операционных систем (Windows или Linux) с различным функционалом. Как правило, легальным пользователям

нет необходимости работать с такими устройствами, поэтому всякое обращение к ним можно расценивать как вторжение нарушителя в систему. Ресурсы ловушки создаются и используются для того, чтобы заставить атакующего потратить время на ложные цели вместо реальных активов компании. При этом у специалистов по ИБ появляется возможность мониторить информацию о действиях нарушителя, т. е. его инструментах, способах вторжения и локализации. Этого может быть достаточно, чтобы предотвратить развитие и реализацию атаки.

Ловушки могут представлять собой имитационные модели различной сложности сетевых сервисов операционных систем или реальных устройств, таких как терминалы, коммутаторы, различное оборудование и т. д. В информационной системе компании технологии обмана позволяют установить тысячи ловушек.

Нарушитель, следуя за приманками, обязательно встретится с ловушками на этапе разведки корпоративной сети предприятия. Приманки — это подложные данные, размещаемые на реальных устройствах сети, например конфиденциальные документы, базы данных, которые заинтересуют злоумышленников. Эффективность технологии обмана нарушителей максимально проявляется в начале реализации атаки, на этапе сбора данных нарушителем о корпоративной сети предприятия. Эти данные необходимы нарушителю для продвижения к другим узлам сети. Однако, использование технологии DDP применимо для всех этапов возможной атаки, которые представляются моделью Cyber Kill Chain. Слой инфраструктуры сети, состоящий из ловушек и приманок, позволяет изучить тактику нарушителей и использовать полученные данные против них, в том числе с помощью методов машинного обучения.

Необходимым условием успешного использования ловушек и приманок является их точная имитация реальных устройств и сервисов сети. В противном случае нарушитель легко распознает ловушку. Для того чтобы смоделированные ресурсы были подобны настоящим ресурсам сети, разработчики технологий обмана используют методы искусственного интеллекта, искусственных нейронных сетей и машинного обучения. Имитационные модели реальных устройств формируются по результатам анализа реальной сети, учитывают особенности организации и предполагаемые векторы атак.

В результате инфраструктура сети предприятия представляется двумя слоями: реальным и поддельным. При этом имитацию необходимо делать так, чтобы поддельный слой был более интересен для нарушителя. Установленные в сети ловушки и приманки должны отвлечь нарушителя от реальных целей и переключить его на фиктивную инфраструктуру. Это позволит специалистам по ИБ обнаружить действия нарушителя и принять меры для защиты информации, а следовательно сохранить информацию компании. Кроме того, действия нарушителя подвергаются мониторингу со стороны специалистов по ИБ, которые также могут анализировать его инструментальные средства проникновения в систему и следовательно, обнаруживать такие атаки в дальнейшей работе. Средства моделирования для формирования и использования слоя ложных целей обладают достаточным быстродействием чтобы не перегружать вычислительные ресурсы реального слоя информационной системы компании и не отвлекают специалистов ИБ расследованием ложных событий.

DDP решает несколько основных задач, а именно:

- платформа создаёт поддельную инфраструктуру на базе существующей;
- DDP помогает обнаружить злоумышленника на начальном этапе проникновения в сеть при сканировании сетей или портов;
- происходит обнаружение атакующего на этапе горизонтального перемещения (lateral movement) — например, если хакер скомпрометировал одно из автоматизированных рабочих мест (АРМ) и хочет переместиться на соседнее;

- интеграция с другими средствами защиты, такими как Security Information and Event Management (SIEM), межсетевые экраны, Endpoint Detection and Response (EDR), песочницами;

Технология DDP разработана с учётом анализа мышления и поведения нарушителя и позволяет распознать вторжение в самом начале. Это позволяет специалистам по ИБ перехватить инициативу у нарушителей и подготовиться к дальнейшим действиям. Специалисты получают возможность изучить пути вторжения нарушителя в систему и его средства доступа.

Перспективой развития систем на основе технологий обмана нарушителей является их взаимодействие с системами защиты информации.

Технологии Honeypot и DDP сильно различаются [5], начиная от основополагающей идеи и заканчивая эффективностью работы.

Ресурсы-приманки устанавливаются вне сети компании, чтобы перенаправить нарушителя от ценной информации к ложной. Технология ресурсов-приманок основана на использовании информации о структуре корпоративной сети, при этом приманка может быть использована нарушителем для реализации атаки.

Технология DDP учитывает поведение нарушителя, поэтому атака выявляется в ее начале. Это позволяет специалистам по ИБ работать на опережение и более эффективно реагировать на угрозы.

Технология honeypots рассчитана на привлечение интереса нарушителей к ложной цели в ресурсе-приманке. Таким образом, что нарушитель все-таки должен добраться до ресурса, и далее он может быть остановлен, следовательно нарушитель будет присутствовать в сети продолжительное время, что может привести к нарушению конфиденциальности, целостности и доступности информации.

Технология DDP точно моделирует настоящую инфраструктуру корпоративной сети компании. Ее использование отвлекает нарушителя и направляет его по ложному пути с целью не допустить к защищаемой информации компании.

Технологии honeypots и honeynets имеют проблемы с увеличением сложности системы, так как для увеличения ресурсов-приманок в сети компании необходимо устанавливать новые хосты, устанавливать операционные системы, настраивать сервисы, обеспечивать лицензии, определять для них IP адреса. Для настройки таких систем нужны подготовленные администраторы безопасности и системные администраторы.

Платформы DDP имеют возможность автоматического развертывания при усложнении инфраструктуры. Накладные расходы при этом минимальны.

При использовании технологий honeypots и honeynets даже легитимный пользователь может обратиться к ресурсу-приманке. Это будет приводить к ложным инцидентам ИБ, которые будут мешать специалистам по ИБ. Ресурсы в технологии DDP предназначены для их использования нарушителем, таким образом любое обращение к сервисам ресурсов не может быть выполнено обычным пользователем системы и является попыткой реализовать угрозу на ложном ресурсе.

В настоящее время из отечественных производителей активно представлены решения компаний Xello, AVSoft, R-Vision, Bastion [6]. Из зарубежных производителей представлено несколько компаний: Illusive Networks, Guardicore, TrapX Security, Fidelis Cybersecurity, Smokescreen Technologies, Cymmetria, Acalvio Technologies, Attivo Networks [7].

Выводы

Технологии обмана honeypots и honeynets при корректной настройке могут ввести злоумышленника в заблуждение, выигрывая время для отдела безопасности, что позволяет повысить шансы защитить конфиденциальные данные организации. Решения данного класса требуют высокой квалификации персонала, а также могут повышать нагрузку на сеть. Ос-

новные недостатки - отсутствие централизованного управления, сложность развертывания и конфигурации. Кроме того, на данный момент хорошо изучены признаки, демаскирующие honeypot в сети, особенно если администратор оставил параметры ловушек «по умолчанию».

Технологии DDP представляют собой техники имитации ИТ-инфраструктуры предприятия и введения в заблуждение нарушителей. Технология DDP существенно опережает технологию ресурсов-приманок и по возможностям и по качеству работы. Средства технологии DDP имеют в своем составе ловушки и приманки, имитирующие реальные приложения, сервисы и другие ресурсы сети. К плюсам технологии DDP относятся централизованное управление и автоматизация развертывания с помощью методов искусственного интеллекта.

Практика использования DDP показывает [7], что они могут успешно применяться для автоматизации распознавания угроз, расследования атак и ответных реакций. Успех их использования напрямую зависит от точности имитации приманками и ловушками реальных серверов и сервисов корпоративной сети.

Библиографический список

1. Требования о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах. Утверждены приказом ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fstec.ru/component/attachments/download/566>.
2. V. Viola, From Honeypots to Distributed Deception Platforms // — Politecnico Di Torino, 2019 — 78 с.
3. Использование ловушек (Deception) для обнаружения злоумышленников в инфраструктуре. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.anti-malware.ru/analytics/Technology_Analysis/Intruder-Detection-Using-Deception.
4. Инфраструктура ложных целей — маркетинговый тренд или реальный инструмент. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.anti-malware.ru/analytics/Technology_Analysis/Distributed-Deception-Platform-marketing-trend-or-real-SecOps-tool.
5. Honeypot vs Deception на примере Xello. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/tssolution/blog/522374/>.
6. Distributed Deception Platform (DDP). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.tadviser.ru/index.php/Distributed_Deception_Platform_\(DDP\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Distributed_Deception_Platform_(DDP)).
7. Обзор рынка платформ для создания распределенной инфраструктуры ложных целей (Distributed Deception Platform). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.anti-malware.ru/analytics/Market_Analysis/Distributed-Deception-Platform.

УДК 004.492.3; ГРНТИ 50.41.27

АНТИВИРУСНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НАПРАВЛЕННОЕ НА ВЫЯВЛЕНИЕ ПРОГРАММ-КЕЙЛОГГЕРОВ

Н.С. Левакин, Т.И. Калинкина

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, levakinnikita2024@yandex.ru, tkalinkina2014@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается вариант антивирусного программного обеспечения, направленного на выявление вредоносных программ (кейлоггеров), функционирующих в системе. Обсуждается метод динамического анализа событий, фокусируясь на модификации файлов и сетевом трафике как ключевых аспектах системного взаимодействия. Приведены детали работы разработанной программы, сопровождаемые иллюстрациями для наглядности. Заключительная часть статьи выделяет перспективы развития программного продукта и делает выводы о его текущем состоянии. Обсуждаются возможные улучшения и дополнительные функциональности, подчеркивая важность дальнейшего развития данного антивирусного решения. Эта работа предоставляет полное понимание функционала программы, ее применимости и позволяет читателю сделать выводы о ее потенциале в сфере обнаружения и противодействия вредоносным программам.

Ключевые слова: антивирусное программное обеспечение, кейлоггер, динамический анализ, сетевые события, файловые события.

ANTIVIRUS SOFTWARE, AIMED AT IDENTIFYING PROGRAM-KEYLOGGERS

N.S. Levakin, T.I. Kalinkina

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, levakinnikita2024@yandex.ru, tkalinkina2024@mail.ru

The summary. This work discusses the option of anti-virus software, aimed at identifying malicious programs (keyloggers), that are operating in the system. The method of dynamic analysis of system events is discussed, focusing on file modification and network traffic as key aspects of system interaction. Details of the work of the developed program are given, accompanied by illustrations for clarity. The final part of the article highlights the prospects for the development of the software product and draws conclusions about its current state. Possible improvements and additional functionality are discussed, emphasizing the importance of further development of this anti-virus solution. This work provides a thorough understanding of program's functionality, its applicability, and allows the reader to draw conclusions about its potential, in the field of malware detection and counteraction.

Keywords: anti-virus software, keylogger, dynamic analysis, network events, file events.

В современном информационном обществе, где цифровые технологии стали неотъемлемой частью нашей повседневной жизни, обеспечение безопасности компьютерных систем становится одним из приоритетных вопросов. Антивирусное программное обеспечение играет в этом важную роль, предоставляя надежную защиту от разнообразных вирусов, а именно от семейства троянских программ – программ-кейлоггеров.

Кейлоггер, кейлоггер (от англ. key — клавиша и logger — регистрирующее устройство) – это программное обеспечение или аппаратное устройство, которое записывает и сохраняет все клавиатурные события (т.е. данные, вводимые с помощью клавиатуры) пользователя. Такие действия могут быть направлены на сбор информации о паролях, сообщениях и других конфиденциальных данных пользователя. Кейлоггер может быть установлен на компьютер или сервер в виде программного обеспечения, а также быть встроенным в аппаратное обеспечение, такие как клавиатуры или материнские платы. Этот тип программного обеспечения может использоваться для несанкционированного сбора информации и является распространенным инструментом для скрытого наблюдения за действиями пользователя.

Вышеописанные программы не всегда распознаются антивирусным программным обеспечением (далее: антивирусное ПО), а учитывая, что такие программы относятся к семейству вирусов, относимых к троянским программам (т.е. к таким, которые устанавливаются с разрешения пользователя), то обычная установка вроде бы проверенного программного продукта может стать установкой и скрытой от глаз пользователя программы-шпиона.

В настоящее время скрыть действия подобного программного продукта не составляет сложности. Скрыть в панели задач и (или) в диспетчере задач, установить свое расположение в исключения антивирусного ПО (т.е. антивирусов), не исключается и вариант, в котором структура программы настолько запутана, что разработанные варианты сигнатурного анализа не выдадут в такой программе ничего подозрительного.

Чтобы исключить подобные возможности встраивания нежелательного программного обеспечения была разработана программа по отслеживанию файловых и сетевых событий в системе. Так как кейлоггеры по записи информации делятся на файловые, т.е. которые используют файл для сохранения действий, производимых пользователем, и сетевые, которые передают незамедлительно данные на внешний сервер при помощи активного интернет-соединения, то для выявления подобных скрытых программ был разработан способ динамического наблюдения за событиями в системе, а именно наблюдение за файловыми и сетевыми событиями. В случае файловых событий могут наблюдаться только те файлы, которые обновляются в определенные моменты времени (в моменты нажатия клавиш), а в случае сетевых событий наблюдается исходящий сетевой трафик в те же моменты времени.

В качестве операционной системы для разработки программы были использованы ОС Windows 10-11. Так как данные системы «из коробки» не позволяют отслеживать сетевой трафик компьютера, то для получения такой возможности потребуется установить дополнительный продукт: WinPcap.

Разработанная программа была написана на языке программирования: Python 3.10 [1]; состоит из двух окон: окно журнала событий и окно краткой сводки по обнаруженным событиям. Запуск программы производится по кнопке «Начать проверку». Завершение программы выполняется по кнопке «Выход» или значку крестика в правом верхнем углу окна.

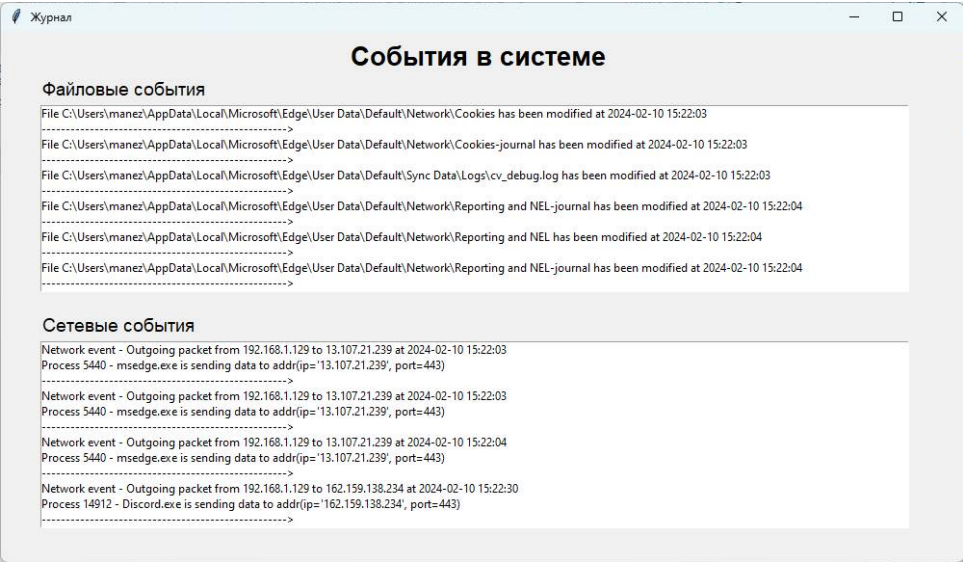


Рис. 1. Окно журнала событий

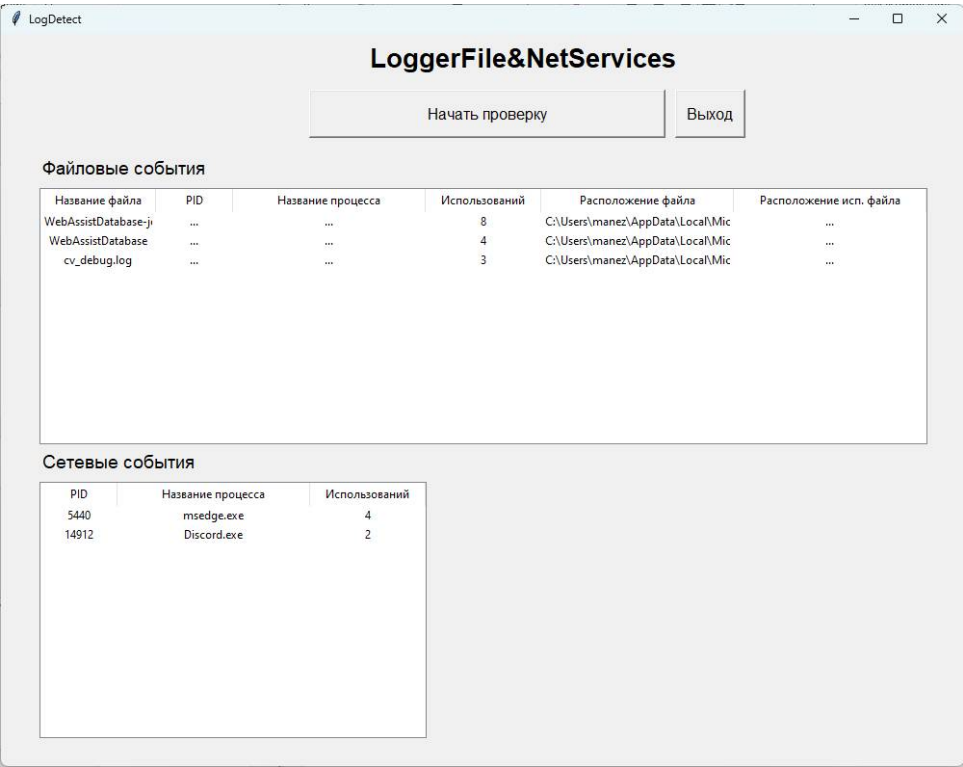


Рис. 2. Окно краткой сводки

Разберем каждый из вариантов наблюдения за событиями системы:

Файловые события

Для наблюдения за модификацией файлов в реальном времени в момент взаимодействия пользователя с клавиатурой используется дочерний поток [1]. В нем проводится анализ всех дисковых накопителей в системе на модификацию файлов на них при помощи библиотеки `watchdog.events`, а именно класса `FileSystemEventHandler`. Функция `is_directory`, входящая в состав выше указанного класса, в случае положительного результата возвращает путь до модифицированного файла. Так как изменения в файл могут быть записаны с некоторой задержкой во внешний файл, то после нажатия клавиши установлена задержка в 500 мс. Найденные результаты записываются в окно журнала событий (Рис. 3) и в окно краткой сводки, которое содержит название модифицированного файла, его расположение и количество обращений к файлу (рис. 4).

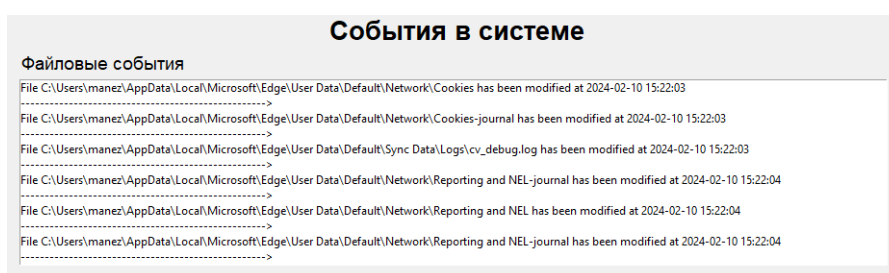


Рис. 3. Окно журнала. Файловые события

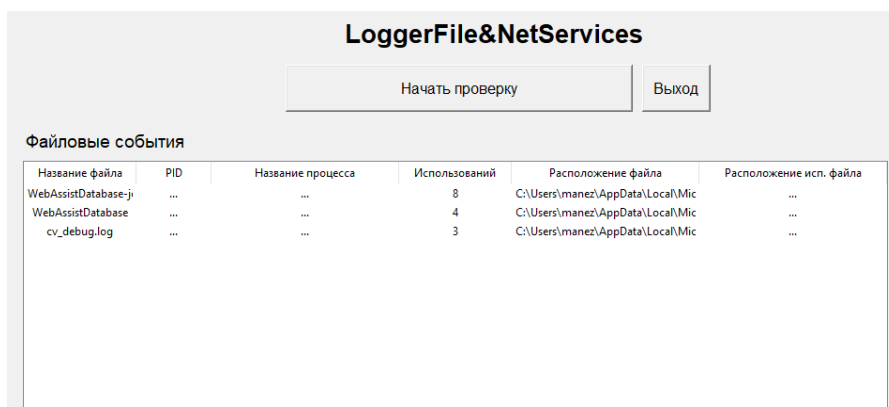


Рис. 4. Окно краткой сводки. Файловые события

Список найденных файловых событий с каждым новым событием упорядочиваются в порядке убывания количества обращений к файлам, что в итоге приводит к выявлению скрытых действий процессов в системе, осуществляемых программами-кейлоггерами в случае их внешнего хранения данных.

Программа также позволяет определить место исполнительного файла. Так как программа-шпион с большей вероятностью запускается вместе с системой, то процесс является активным на протяжении всего цикла работы устройства, а это означает, что, узнав идентификатор процесса (PID) можно при помощи сторонних библиотек в Python [2] выяснить месторасположение исполнительного файла. Для того, чтобы узнать какой именно процесс вносил изменения в замеченный файл потребуется дополнительная программа Sysinternals Suite, предоставляемая компанией Microsoft.

Чтобы воспользоваться такой функцией достаточно нажать левой кнопкой мыши (ЛКМ) по строке с интересующей записью файла и после некоторого времени ожидания программа заполнит неопределенные поля строки (т.е. «...») найденной информацией (Рис. 5),

после чего откроет при помощи проводника месторасположение файла (Рис. 6) или если процесс не является активным выведет сообщение «Процесс не является активным», а в полях строки таблицы вместо неопределенных значений появится надпись «Unknown» (т.е. «Неизвестно») (рис. 7).

Файловые события

Название файла	PID	Название процесса	Использований	Расположение файла	Расположение исп. файла
8b82f066-1289-48ff-a...	...	...	3	C:\Users\manez\AppData\Local\Mic...	...
ExtensionActivityEdg	25308	msedge.exe	3	C:\Users\manez\AppData\Local\Mic...	C:\Program Files (x86)\Microsoft.Ed...
608e9422-09ee-48ae-...	...	...	2	C:\Users\manez\AppData\Local\Mic...	...
TransportSecurity	...	...	2	C:\Users\manez\AppData\Local\Mic...	...
PYTHON.EXE-31868B	...	...	2	C:\Windows\Prefetch\PYTHON.EXE-	...
msvcp140_app.dll	...	...	2	C:\Windows\SystemApps\Microsoft	...
vcruntime140_app.dll	...	...	2	C:\Windows\SystemApps\Microsoft	...
ntuser.dat.LOG1	...	...	1	C:\Users\manez\ntuser.dat.LOG1	...
f_0228f2	...	...	1	C:\Users\manez\AppData\Local\Mic...	...
f_0228f6	...	...	1	C:\Users\manez\AppData\Local\Mic...	...
backgroundTaskHost	...	...	1	C:\Windows\System32\background	...
S-1-5-21-3879273776	...	...	1	C:\ProgramData\Microsoft\Window	...

Рис. 5. Успешное получение информации по процессу

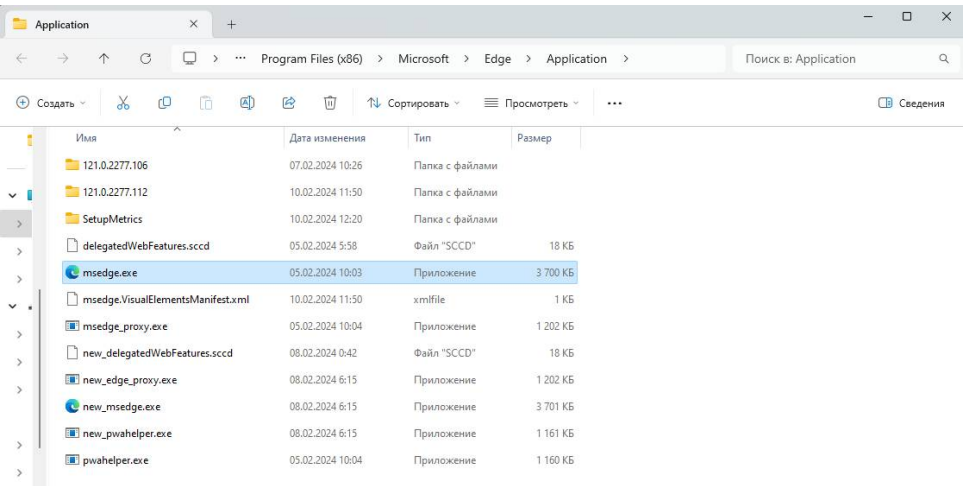


Рис. 6. Расположение обнаруженного исполнительного файла

Файловые события

Название файла	PID	Название процесса	Использований	Расположение файла	Расположение исп. файла
e5b50294-7b3e-470a-...	Unknown	Unknown	3	C:\Users\manez\AppData\Local\Mic...	Unknown
TransportSecurity	...	...	2	C:\Users\manez\AppData\Local\Mic...	...
5518d939-277c-49eb-...	...	...	2	C:\Users\manez\AppData\Local\Mic...	...
4464fec6-1afb-4658-...	...	...	2	C:\Users\manez\AppData\Local\Mic...	...
S-1-5-21-3879273776	...	...	1	C:\ProgramData\Microsoft\Window	...
SnippingTool.exe	...	...	1	C:\Program Files\Win...	...
Preferences	...	...	1	C:\Users\manez\AppData...	...
DEFAULT.LOG2	...	...	1	C:\Windows\System...	...
SNIPPINGTOOL.EXE-...	...	...	1	C:\Windows\Prefet...	...

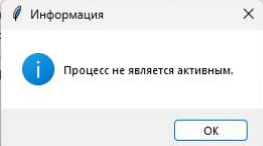


Рис. 7. Неудачный поиск информации по процессу

Процесс поиска реализован при помощи библиотек subprocess (для получения PID процесса (для этой функции требовалась установка Sysinternals Suite)) и psutil (для поиска месторасположения исполнительного файла процесса).

Сетевые события

Для наблюдения за сетевыми событиями в системе, точнее за исходящими пакетами, используется библиотека scapy [3], а именно класс sniff. Последний позволяет запускать «сниффер» (поток, предназначенный для мониторинга, захвата и анализа сетевого трафика),

который выявит все исходящие пакеты и PID процесса, осуществляющего отправку трафика, а при помощи библиотеки psutil по обнаруженному PID будет обнаружен процесс, который осуществил отправку пакетов.

Как и в случае с файловыми событиями сетевые события регистрируются в журнале событий (рис. 8) и краткой сводке событий (рис. 9), расположенных на двух формах программы.

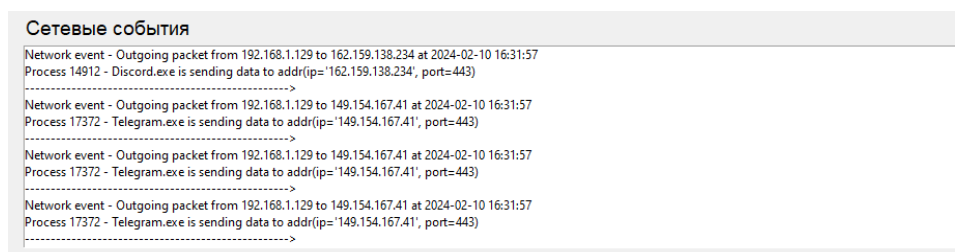


Рис. 8. Окно журнала. Сетевые события

PID	Название процесса	Использований
5440	msedge.exe	93
17372	Telegram.exe	12
14912	Discord.exe	2

Рис. 9. Окно краткой сводки. Сетевые события

Также, сетевые события поддерживают определение месторасположения исполнительного файла. Достаточно лишь ЛКМ нажать на интересующий процесс и в случае успешного нахождения программа откроет при помощи проводника директорию с файлом, иначе выведет сообщение «Не удалось получить информацию о процессе».

За рамками данной статьи остается вопрос об автоматическом выявлении, определении программы как вредоносной и удалении такого программного обеспечения. На данном этапе программа работает на половину в ручном режиме, так как все решения о полученной информации пользователь принимает самостоятельно. Но уже на представленной стадии разработанной программы при своевременном использовании может обеспечиваться конфиденциальность данных пользователя и выявление нежелательного программного обеспечения в системе пользователя.

Библиографический список

1. Джастин Зейтц, Тим Арнольд, Black Hat Python: программирование для хакеров и пентестеров. 2-е изд. – Санкт-Петербург: Питер, 2022.
2. Кольцов Д. М., Python. Полное руководство. – Санкт-Петербург: Издательство Наука и Техника, 2022.
3. Giampaolo Rodola, psutil Documentation, Release 5.7.3. – 2020. Retrieved from https://psutil.readthedocs.io/_/downloads/en/stable/pdf/.

УДК 004.056.53; ГРНТИ 81.93.29

СПОСОБЫ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ УЧЁТНЫХ ДАННЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»

А.Г. Агафонов, Н.А. Колесенков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань*

Аннотация. В работе были рассмотрены способы и методы защиты учётных данных пользователей в сфере информационно-телекоммуникационных технологий, в частности, информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

Ключевые слова: аутентификация, биометрия, информация, защита информации, электронная подпись.

WAYS AND METHODS OF PROTECTING USER CREDENTIALS ON THE INTERNET

A.G. Agafonov, N.A. Kolesenkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan*

Abstract. The paper considered the ways and methods of protecting user credentials in the field of information and telecommunications technologies, in particular, the information and telecommunications network Internet.

Keywords: authentication, biometrics, information, information security, electronic signature.

В данной работе рассматриваются предоставляемые современными информационными технологиями способы и методы, которые могут быть использованы в целях обеспечения безопасности и защиты информации в сфере информационно-телекоммуникационных технологий, в частности, информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

Актуальность рассматриваемого вопроса обусловлена следующими факторами:

- во-первых, распространение и укоренение в жизни обычных пользователей информационных технологий;
- во-вторых, недостаточная осведомлённость пользователей о содержании используемых технологий;
- в-третьих, циркуляция в информационных системах и информационно-телекоммуникационных сетях (далее – информационные системы и сети) информации, которая касается не только конкретного человека (его персональные данные и т. п.), но и деятельности различных организаций, предприятий и государственных учреждений.

Данный вопрос рассматривается с точки зрения того, что конкретно может использовать обычный пользователь информационных систем и сетей, в частности, сети «Интернет», применяющий компьютер в бытовых или профессиональных целях, для обеспечения безопасности личной или служебной информации.

В настоящее время с целью улучшения качества обслуживания граждан, повышения доступности услуг, предоставляемых различными организациями, в информационную сферу перешло много привычных для человека функций, таких как запись к врачу, перевод денежных средств, оплата налогов и штрафов, ведение бизнеса, получение различных выписок и справок и так далее.

Одним из главных Интернет-порталов в России можно считать портал «Госуслуги», который используется для получения электронных услуг, оплаты штрафов, налоговых задолженностей, оплачивания госпошлин по некоторым категориям и хранения документов в личном кабинете. Так как данный Интернет-портал содержит и предоставляет для обработки определённым ведомствам и организациям конфиденциальную информацию граждан Российской Федерации, то вопрос обеспечения безопасности информации в нём стоит остро, особенно учитывая тот факт, что: «Количество утечек баз персональных данных в России в I

полугодии 2023 года выросло в четыре раза в сравнении с аналогичным периодом 2022 года. С начала 2023 года случилось уже 76 таких инцидентов против 19 в первые месяцы 2022...» [1].

Учитывая, тот факт, что даже крупным компаниям и государственным организациям сложно обеспечить полную защиту информации от несанкционированного доступа и утечек, то на пользователя так же ложится ответственность за обеспечение безопасности его данных. Для этого современные информационные технологии предоставляют широкий спектр средств и механизмов, которые могут быть использованы рядовым пользователем для обеспечения безопасности его личной информации, циркулирующей в информационных системах и сетях.

Один из наиболее распространённых механизмов контроля доступа является механизм аутентификации. Когда говорят о том, что во время процесса аутентификации от пользователя требуется предъявить несколько видов аутентификационной информации, то говорят о многофакторной аутентификации – более совершенном механизме осуществления доступа, по сравнению с однофакторной аутентификацией.

Основная суть многофакторной аутентификации заключается в том, что если конфиденциальность первичной (базовой) аутентификационной информации нарушена, то есть она станет известна нарушителю, то для него всё равно не представится возможным получить доступ к интересующей его информации, так как им будет пройден только один из этапов проверки. Таким образом многофакторная аутентификация выстраивает проверку подлинности субъекта доступа (пользователя) из нескольких этапов, на каждом из которых от пользователя требуется предъявить специфическую для данного этапа аутентификационную информацию. При этом такая информация как правило от этапа к этапу меняется, то есть, например, на первом этапе от пользователя требуют предъявить пароль, на втором код из специального сообщения на мобильный телефон и другое.

Теперь в целях повышения безопасности аккаунтов пользователей и их персональных данных в упомянутом портале «Госуслуги» с 1 октября 2023 года для всех пользователи станет обязательным использование двухфакторной аутентификации [2]. Названный выше Интернет-портал предоставляет пользователям возможность использования двухфакторной аутентификации со следующими видами вторичной аутентификационной информации: код из сообщения на «привязанный» к учётной записи телефон и(или) одноразового кода, а также возможность использования для входа электронной подписи и(или) биометрии. Остановимся на двух последних вариантах более подробно.

Несмотря на то, что электронная подпись появилась давно, её активное использование в обычной жизни началось сравнительно недавно. Можно сказать, что активное использование электронных подписей среди физических лиц для покупки недвижимости и регистрации бизнеса пришлось на время пандемии в 2020 году [3]. Так как люди были вынуждены находиться вне работы, то для облегчения процесса документооборота на помощь пришли электронные подписи, как цифровой аналог рукописной подписи. Вместе с этим, подобные подписи служат и средством аутентификации.

Электронная подпись – информация в электронной форме, которая присоединена к другой информации в электронной форме (подписываемой информации) или иным образом связана с такой информацией и которая используется для определения лица, подписывающего информацию [3].

В силу криптографического характера электронных подписей и их регулирования в специальных удостоверяющих центрах, вероятность их компрометации путём подделки крайне мала, но вероятность их хищения или пропажи в силу человеческого фактора высока. Поэтому электронные подписи получили своё развитие в виде облачных вариантов, т.е. без физического носителя непосредственно в руках пользователя, но в тоже время это влечёт по-

тенциальную угрозу их утечки из баз данных или несанкционированного доступа при утечках аутентификационной информации от сервисов, занимающихся их регулированием.

Осуществления входа в систему, путём использования биометрических данных человека, является современной альтернативой обычному парольному входу. В процессе биометрического входа от пользователя требуется предъявить системе в качестве подтверждающей аутентификационной информации биометрическую информацию. Такая информация для каждого человека является уникальной, и к ней можно отнести: лицо, отпечаток пальца, сетчатка глаза, рисунок вен и голос. Биометрическая информация тесно связана со своим носителем – человеком, являясь его неотъемлемой частью, но несмотря на это она является подделываемой, в частности, что касается лица и голоса.

При наличии определённого объёма фотографической информации, содержащей изображение внешности человека, или информации являющейся звукозаписью его голоса, особенно продвинутые нейросети могут запросто сгенерировать подвижную (анимированную) модель лица человека и(или) его голоса. Нарушитель в качестве источника исходной информации может использовать опубликованные человеком фотографии, видео и аудиозаписи в социальных сетях и тому подобное. Используя заранее сгенерированную модель биометрической информации человека, нарушитель может получить доступ к интересующей его информации путём предоставления этой информации системе в процессе биометрической аутентификации. Поэтому несмотря на то, что данный вид информации в качестве подтверждающего признака является достаточно удобным, он не является полностью безопасным. Ради справедливости стоит обратить внимание на то, что технологии генерации моделей внешности и голоса человека на данный момент не являются общедоступными, а программные решения предоставляющие данные возможности являются достаточно требовательными к аппаратному обеспечению, на котором они функционируют.

В заключение следует сказать о том, что с развитием информационных технологий увеличивается как количество способов и методов, которые можно привлечь для обеспечения безопасности информации, так и с другой стороны растёт количество возможных технологий, которые можно использовать в целях нарушения этой самой безопасности. От пользователя требуется соблюдение постоянной бдительности и разумности в принятии решений об опубликовании той или иной информации в сети и в целом в вопросе ведения дел в сфере, касающейся информации, информационных технологий и защиты информации.

Даже самая защищённая и безопасная система бессильна перед лицом человеческой безответственности.

Библиографический список

1. Роскомнадзор сообщил о росте утечек данных в четыре раза в I полугодии // Телеграфное агентство связи и сообщения: [сайт]. – 2023. – URL: <https://tass.ru/obschestvo/18333157?ysclid=ln7aeu9w3522379045> (дата обращения: 14.02.24).
2. Двухфакторная аутентификация на Госуслугах становится обязательной // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации: [сайт]. – 2023. – URL: https://digital.gov.ru/ru/events/47552/?utm_referrer=https%3a%2f%2fyandex.ru%2f (дата обращения: 14.02.24).
3. Электронные подписи стали чаще применять для сделок с недвижимостью и регистрации бизнеса // Телеграфное агентство связи и сообщения: [сайт]. – 2021. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/10717107?ysclid=ln7fzh35cx975512223> (дата обращения: 14.02.24).
4. Российская Федерация. Федеральный закон. Об электронной подписи: Федеральный закон №63-ФЗ : [принят Государственной Думой 25 марта 2011 г. : одобрен Советом Федерации 30 марта 2011 г.]. // Консультант Плюс: [сайт]. – 2011. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_122701/?ysclid=ln7hsr1jqu417890835 (дата обращения: 14.02.24).

УДК 159.9; ГРНТИ 04.01

АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АКТИВНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ГРУППЫ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ И МОДИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ SIR ДЛЯ ПРОГНОЗА ДИНАМИКИ ИНТЕРЕСА К ПУБЛИКАЦИИ В ИНТЕРНЕТЕ

В.В. Рябов, В.А. Немтинов

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация, Тамбов, ryabov.vv@inbox.ru, nemtinov.va@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассмотрены статистические показатели активности пользователей социальной сети в рамках одной публикации. При помощи библиотеки Pandas исходные статистические данные были обработаны и визуализированы с использованием matplotlib. На основе полученных результатов и с учетом особенностей распространения информации в сети интернет была доработана модель SIR и адаптирована для моделирования интереса к записи, размещенной в сети Интернет

Ключевые слова: библиотека Pandas, социальные сети, интернет, модель SIR

USERS ACTIVITY IN SOCIAL NETWORK GROUP STATIC ANALYSIS AND SIR MODEL UPDATE FOR PREDICT ACTIVITY DYNAMICS IN SOCIAL NETWORK POST

V.V. Ryabov, V.A. Nemtinov

*Tambov State Technical University,
Russian Federation, Tambov, ryabov.vv@inbox.ru, nemtinov.va@yandex.ru*

The summary. The paper discusses the user activity statistics for single post in social network. Source data has been processed by python library Pandas and charts was constructed with library matplotlib. In accordance with the obtained results and due to the specifics dissemination of information on the Internet was updated SIR model for predict activity on social network post.

Keywords: internet, library Pandas, model SIR, social networks,

В современном обществе разнообразные социальные сети заняли доминирующее положение в сфере обмена информацией между людьми и в общественных дискуссиях [1]. Коммуникация происходит в совершенно различных форматах (видео, аудио, текстовые блоги, прямые эфиры), затрагивает как хобби узкого круга людей, так и социально значимые глобальные вопросы. Большинство обсуждений проходит при умеренном интересе и поведении пользователей, но некоторые вызывают широкий резонанс (называемый в интернет среде хайпом [2]). Наиболее горячие и острые темы могут приводить к выходу активности участников групп на другие площадки, что иногда может приводить к нежелательным последствиям. На сегодняшний день существует множество способов мониторинга в соцсетях, которые позволяют следить за ситуацией и существующими трендами [3]. Прогнозирование развития поведения группы пользователей при обсуждении важной проблемы является актуальной задачей, так как позволит реагировать на проблемы не после того, как неблагоприятные события уже произошли, а до их наступления.

В данной статье будут рассмотрены статистические показатели поведения пользователей в рамках одной публикации сообщества. Для изучения была выбрана группа wallstreetbets социальной сети Reddit, получившая известность после значимого влияния ее пользователей на цены акций в ходе биржевых торгов [4]. Выбранное сообщество является хорошим примером для исследования, так как в определенный момент своего развития процессы внутри группы привели к самоорганизации ее участников, их целенаправленная деятельность на рынке ценных бумаг оказала заметное влияние общество и как следствие интерес со стороны исследователей к данному феномену.

В качестве данных для исследования будет использован открытый набор данных с комментариями группы wallstreetbets [5]. Все манипуляции с данными будут производиться при помощи языка программирования Python3.10 и библиотеки Pandas версии 2.2.0 [6]. Пол-

ные исходные данные содержат 40 полей и занимают 11.9 Gb, что достаточно много, так как при работе вся информация будет загружена в оперативную память компьютера, и при таком объеме вычисления будут занимать продолжительное время. Поэтому при загрузке информацию было выбрано минимально необходимое количество полей (в данном исследовании это поля 'author', 'created_utc', 'id', 'link_id', 'parent_id', 'score') и данные взяты за период с марта 2020 года по январь 2021 года.

Для дальнейшей работы выбраны публикации с наибольшим числом комментариев. Статистика по самым обсуждаемым темам вероятнее и более явно покажет существующие тренды и закономерности. Подсчет количества комментариев будет произведен при помощи методов groupby и size объекта с типом DataFrame библиотеки Pandas [7] (см. табл. 1).

Табл. 1. 10 публикаций с наибольшим количеством комментариев в исследуемых данных

Id публикации	Количество комментариев
t3_gt08v2	5510
t3_g7fkq6	5400
t3_g39g3g	5286
t3_fb1gsq	5264
t3_feig6i	5043
t3_hgeyf9	4482
t3_hc7rvq	4385
t3_hkpyve	4314
t3_f7hla8	4254
t3_ht2v2k	4100

Все публикации были сделаны в разные даты, поэтому для репрезентативного визуального представления в исходные данные необходимо добавить 2 столбца, показывающих время комментариев относительно самого первого из них. Столбец created_utc представлен в секундах, поэтому новые данные можно достаточно просто рассчитать как разность created_utc между текущим комментарием и первым для конкретной публикации, разделенный на 3600 для столбца с часами и на 86400 для столбца с днями. В работе рассмотрены публикации, в которых больше пяти тысяч комментариев, их всего пять. Для визуализации использована библиотека matplotlib версии 3.8.2 [8]. Полученные результаты для выбранных публикация представлены на рисунках 1-5.

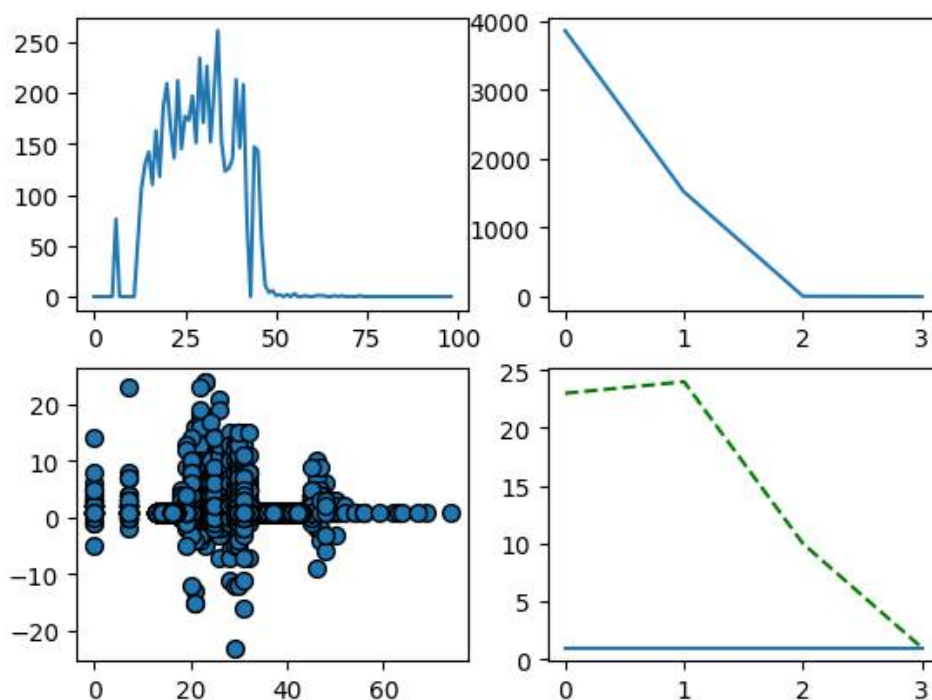


Рис. 1. Визуализация активности в первой по количеству комментариев группе (t3_gt08v2).

В первом столбце с разбиением по часам (количество комментариев и количество отметок нравится у каждого комментария),
во втором по дням (количество комментариев,
а также среднее и максимальное значение отметок “нравится”)

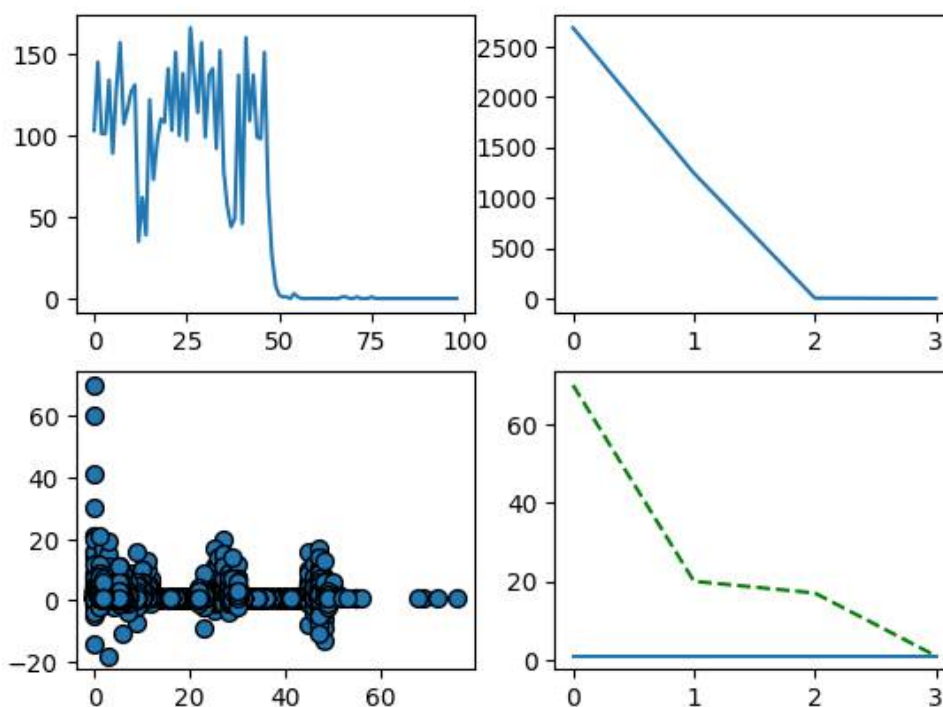


Рис. 2. Визуализация активности во второй по количеству комментариев группе (t3_g7fkq6).

В первом столбце с разбиением по часам (количество комментариев и количество отметок нравится у каждого комментария),
во втором по дням (количество комментариев,
а также среднее и максимальное значение отметок “нравится”)

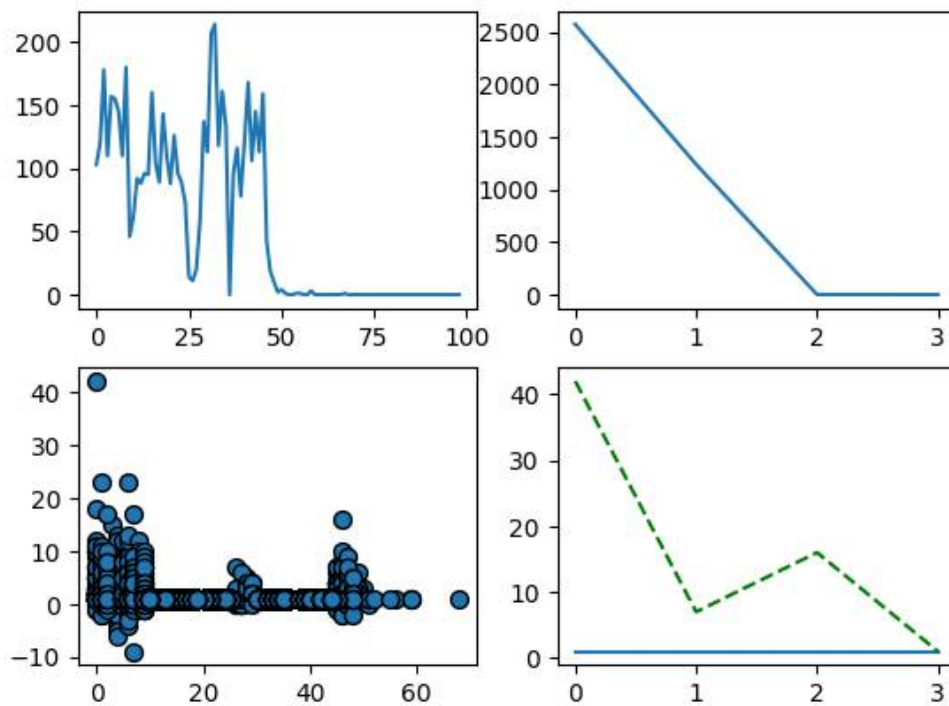


Рис. 3. Визуализация активности в третьей по количеству комментариев группе (t3_g39g3g).

В первом столбце с разбиением по часам (количество комментариев и количество отметок нравится у каждого комментария),
во втором по дням (количество комментариев,
а также среднее и максимальное значение отметок “нравится”)

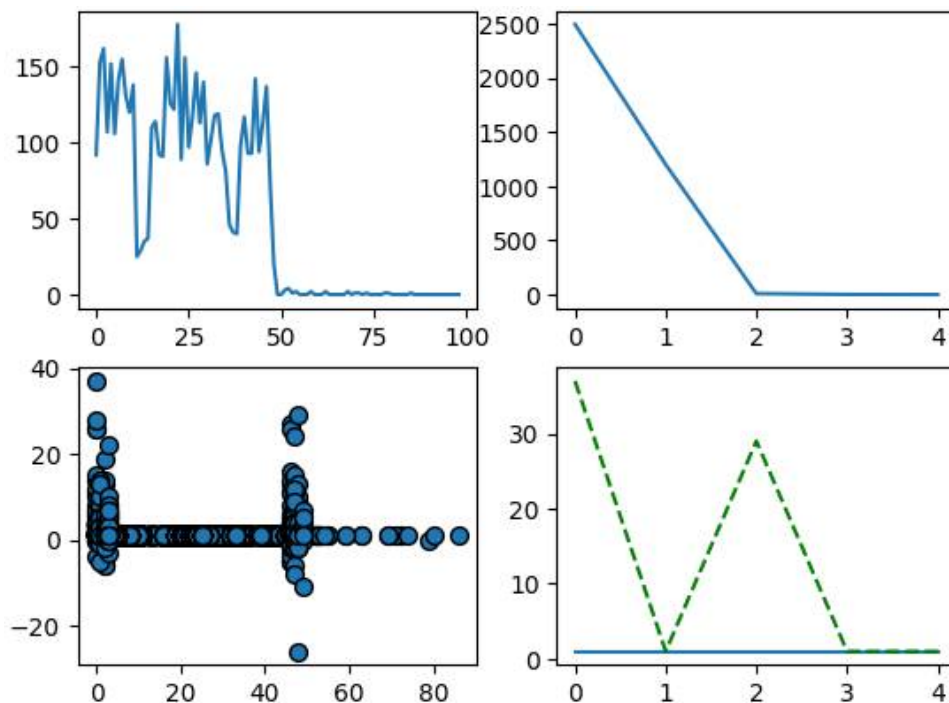


Рис. 4. Визуализация активности в четвертой по количеству комментариев группе (t3_fb1gsq).

В первом столбце с разбиением по часам (количество комментариев и количество отметок нравится у каждого комментария),
во втором по дням (количество комментариев,
а также среднее и максимальное значение отметок “нравится”)

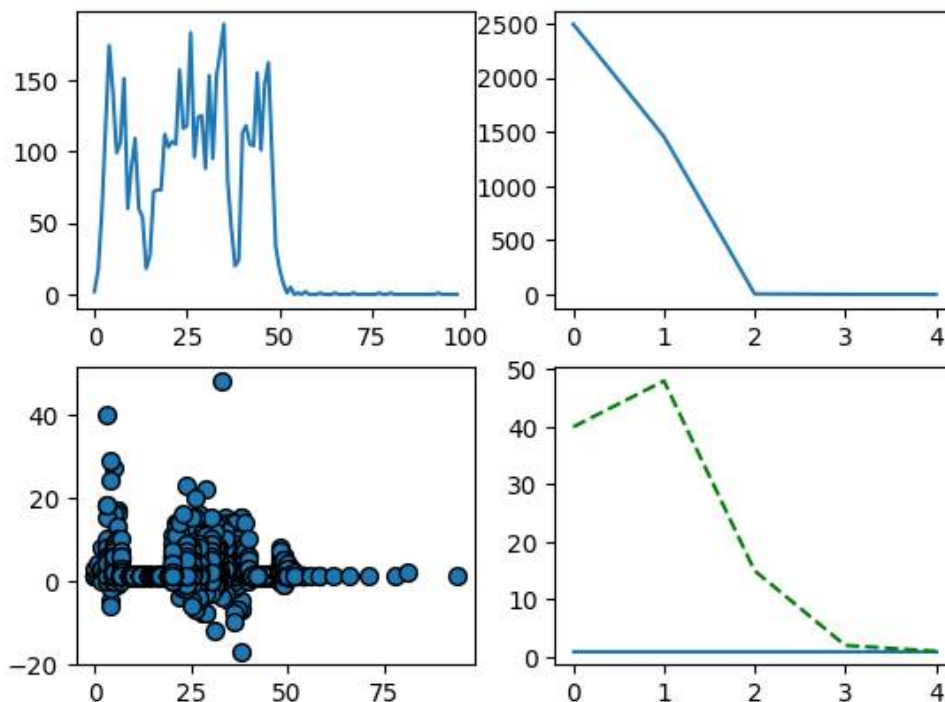


Рис. 5. Визуализация активности в пятой по количеству комментариев группе (t3_feig6i).

В первом столбце с разбиением по часам (количество комментариев и количество отметок нравится у каждого комментария), во втором по дням (количество комментариев, а также среднее и максимальное значение отметок “нравится”)

При рассмотрении почасовой статистики можно выделить некоторые общие паттерны в поведении участников группы. Если судить как по количеству комментариев, так и по количеству оценок, которые им были выставлены, основной интерес к обсуждаемой публикации пропадает в среднем за 3 дня. Так же четко видно 3 пика активности, связанные с периодами сна и бодрствования пользователей, при этом по количеству оценок “нравится” они выражены более явно и продолжительно в сравнении с показателем количеством комментариев. При этом не каждая дискуссия вызывает интерес, например на рисунке 4 для второго пика комментариев максимальная оценка приближается к средней и равняется единице.

Визуализация статистики по дням показывает явный тренд на уменьшение количества комментариев от первого дня публикации. При этом максимальное количество оценок для комментариев может наблюдаться в любой из первых трех дней обсуждения. Среднее количество оценок комментариев у каждой из публикаций находится в диапазоне от 1 до 2, при этом значения максимальной из оценок сильно меняется, поэтому при дальнейших исследованиях и рассмотрении данного параметра лучше работать с медианой, дисперсией и среднеквадратичным отклонением [9-10]. Кроме того, заметно достаточно большое количество комментариев, оценка которых ниже 0, то есть сообщество оценивает их негативно. При статистическом исследовании активности участников величину оценки стоит брать по модулю, потому что в данном случае важно именно количество оценок, а не их направленность.

Обзор графиков количества комментариев по дням наводит на мысль о возможности модификации модели SIR (susceptible, infectious, recovered) для моделирования активности пользователей группы в социальной сети относительно отдельной публикации [11]. В определениях данной модели пользователей можно разделить так же на 3 группы: пока не заинтересовавшиеся и не участвующие в обсуждении заметки (susceptible), заинтересовавшиеся и участвующие в дискуссии (infections), и потерявшие к публикации интерес (recovered).

К тому же стоит обратить внимание на существенные различия в модели и фактическом механизме поведения пользователей. Для заинтересованности в какой-либо новости или теме не требуется непосредственный контакт между людьми, механизмы любой соцсети позволяют сразу получить доступ к интересной тематике большому количеству людей. Поэтому скорость распространения интереса (роста *infections* в модели) сильно выше, как и скорость его угасания. По рисункам 1-5 видно, что на популярных темах весь процесс укладывается в период от 3 до 4 дней.

С учетом сделанных выше выводов модифицируем модель SIR для моделирования активности пользователей в публикации группы. Для этого стоит убрать зависимость от параметра I (количества пользователей, уже интересующихся новостью) и сделать параметр β (вероятность того, что пользователь примет участие в обсуждении) меняющимся динамически, так как чем больше времени прошло с момента публикации новости, тем менее вероятно, что публикация привлечет к себе внимание (см. формулу 1).

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta S(\sigma - t)}{\sigma};$$

$$\frac{dI}{dt} = -\frac{\beta S(\sigma - t)}{\sigma} - \gamma I;$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I.$$

Здесь β – это вероятность того, что пользователь новостью заинтересуется, а γ – вероятность того, что интерес будет потерян. Параметр σ был добавлен по результатам исследования, это количество дней, после которых интерес к публикации полностью теряется. На основе собранных в данной работе данных, для сообщества *wallstreetbets* данный параметр можно принять равным четырем.

При помощи библиотеку SciPy [12] решим получившуюся систему уравнений и построим график для группы размером 1000 человек, 100 из которых заинтересовались публикацией на начальном этапе, с вероятностью заинтересоваться новостью 0.9 и потерять к ней интерес 0.5 (см. рис. 6).

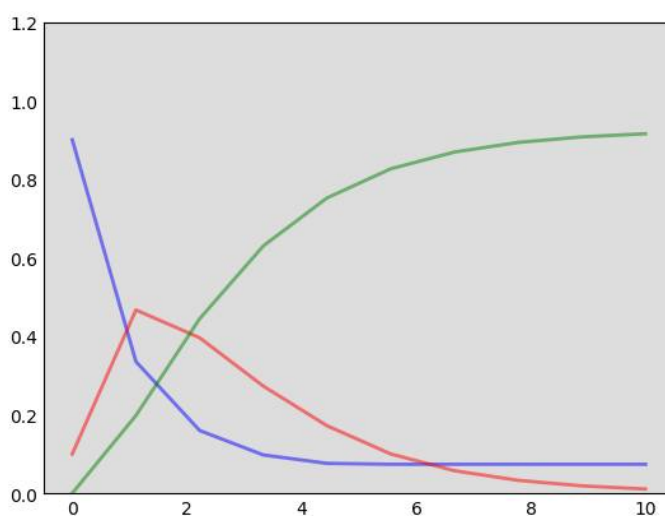


Рис. 6. Модифицированная модель SIR,
красная линия графика - пользователи интересующиеся публикацией и участвующие в обсуждении,
зеленая линия - участвующие ранее и потерявшие интерес
и синяя линия - пользователи, которых новость не интересует

Таким образом, можно сделать вывод, что как минимум в рамках одного сообщества социальной сети существуют общие паттерны поведения пользователей, которые могут быть заметны при статистическом исследовании активности в этой группе. Возможность моделирования в масштабе дня может помочь спрогнозировать дальнейшее поведение пользователей в конкретной публикации, а распределение коэффициентов в доработанной для конкретной задачи модели SIR свидетельствовать об активности участников исследуемого сообщества. Так же является перспективной разработка модели, учитывающей в своем прогнозе большее количество факторов и прогнозирующей динамику интереса среди участников группы в течение дня в зависимости от времени и дня недели.

Библиографический список

1. Temnikova, L. B. Social media as an integral element of modern communication / L. B. Temnikova, A. V. Vandsheva // *Communication Studies*. – 2022. – Vol. 9, No. 2. – P. 274-284. – DOI 10.24147/2413-6182.2022.9(2).274-284. – EDN SKHPCE.
2. Ефанов, А. А. Хайп как новый коммуникационный тренд / А. А. Ефанов // *Современный дискурс-анализ*. – 2018. – № 3-2(20). – С. 144-150. – EDN XZEVHV.
3. Методы мониторинга социальных сетей, их развитие и применение в контексте обеспечения их информационной безопасности / Н. Г. Титов, Е. Ю. Чапурин, Е. А. Москалева [и др.] // *Информация и безопасность*. – 2019. – Т. 22, № 3. – С. 305-324. – EDN VFMEUF.
4. Чернышов, А. А. Манипулирование рынком с помощью Reddit: Gamestop и wallstreetbets / А. А. Чернышов // *Международные стандарты учета и аудита: практика применения в условиях цифровой экономики : сборник статей Международной научно-практической конференции, Москва, 25 февраля 2021 года / Российский университет дружбы народов*. – Москва: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2021. – С. 531-534. – EDN SOWWSG.
5. Reddit WallStreetBets Comments. (2024) <https://www.kaggle.com/datasets/mattpodolak/reddit-wallstreetbets-comments/data>
6. Ильичев, В. Ю. Анализ массивов данных с использованием библиотеки Pandas для Python / В. Ю. Ильичев, Е. А. Юрий // *Научное обозрение. Технические науки*. – 2020. – № 4. – С. 41-45. – EDN BKGJHM.
7. Жорняк, А. Г. Дополнительные библиотеки языка Python в научных и инженерных задачах. Часть III. Библиотека Pandas / А. Г. Жорняк, Т. А. Морозова // *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2023. – № 11. – С. 179-182. – EDN DPQDOC.
8. Yim A., Chung C., Yu A. Matplotlib for Python Developers: Effective techniques for data visualization with Python. – Packt Publishing Ltd, 2018.
9. Попов, А. А. Оценка показателей прецизионности результатов измерений в научных исследованиях на основе правила сложения дисперсий / А. А. Попов, О. Н. Косырева, С. А. Добротин // *Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева*. – 2022. – № 3(138). – С. 32-43. – DOI 10.46960/1816-210X_2022_3_32. – EDN UNKTZB.
10. Хожайнов, В. М. Алгоритм обработки данных финансового рынка основанный на среднеквадратичном отклонении / В. М. Хожайнов // *Тенденции развития современной науки : сборник трудов научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета, Липецк, 20 марта – 12 апреля 2023 года*. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2023. – С. 1148-1151. – EDN YIQPUY.
11. Керімқұл, С. Е. Симуляция инфекционных заболеваний с помощью SIR моделей и опциональные свойства применяемых моделей / С. Е. Керімқұл, М. Р. Ғалымжан // *Central Asian Scientific Journal*. – 2022. – № 2(6). – С. 3-14. – EDN JYYPYJ.
12. Бастрон, А. А. Решение задач на оптимальное соотношение на языке Python 3.x с использованием математического пакета Scipy / А. А. Бастрон // *НАУКА, ИННОВАЦИИ, ОБРАЗОВАНИЕ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ XXI ВЕКА : сборник статей IV Международной научно-практической конференции, Пенза, 10 декабря 2022 года*. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2022. – С. 15-21. – EDN QTRTWN.

УДК 621.317.39.084.2; ГРНТИ 29.35

ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПО КРИТЕРИЯМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В.В. Ни, В.А. Мещеряков

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Российская Федерация, Томск, nivladislav350@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются способы верификации программного обеспечения по критериям информационной безопасности. Рассмотрены методики проверки, указанные в законодательстве Российской Федерации и способы тестирования.

Ключевые слова: автоматизированное рабочее место (АРМ), информационная безопасность.

SOFTWARE VERIFICATION ACCORDING TO INFORMATION SECURITY CRITERIA

V.V. Ni, V.A. Meshcheryakov

*The National Research Tomsk State University,
Russia, Tomsk, nivladislav350@mail.ru*

The summary. This paper discusses methods of software verification according to information security criteria. The verification methods specified in the legislation of the Russian Federation and testing methods are considered

Keywords: automated workstation (AWS), information security.

Автоматизированные рабочие места — это неотъемлемая часть современного информационного общества, где компьютеры и программное обеспечение выполняют жизненно важные задачи для бизнеса, науки, здравоохранения, образования, а также других областей. Важно отметить, что автоматизированные рабочие места могут включать в себя не только компьютеры и операционные системы, но и специализированное программное обеспечение, управляющее различными устройствами и процессами, такими как медицинские аппараты, системы управления производством, банковские терминалы и многие другие. По мере роста сложности этих систем, необходимость обеспечения их безупречной работы становится все более насущной. Так же в современном мире не все ИТ-компании работают с другими различными предприятиями, с чем возникает необходимость искать альтернативные продукты или разрабатывать собственные. Чтобы не пострадали, бизнес-процессы предприятия, новое программное обеспечение необходимо верифицировать.

Одна из основных задач верификации программного обеспечения для автоматизированных рабочих мест заключается в проверке его правильной работы в соответствии с заранее определенными требованиями, функциональностью и безопасностью. Важно проводить проверку не только отдельных компонентов и модулей программ, но и их взаимодействия, чтобы обеспечить стабильную и безопасную работу системы в целом. Проверка должна проходить в соответствии с методикой тестирования обновлений безопасности программных, программных и программно-аппаратных средств, утвержденный Федеральной службой по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК) России от 28 октября 2022 г.

Методика тестирования

Согласно методике, утвержденной ФСТЭК, необходимо провести следующие тесты:

- 1) сверка идентичности обновлений безопасности (T001);
- 2) проверка подлинности обновлений безопасности (T002);
- 3) антивирусный контроль обновлений безопасности (T003);
- 4) поиск опасных конструкций в обновлениях безопасности (T004);
- 5) мониторинг активности обновлений безопасности в среде функционирования (T005);

6) ручной анализ обновлений безопасности (T006).

Дополнительно могут проводиться тесты, утвержденные во внутренних документах компании.

В данных процедурах тесты проводятся исследователем по его усмотрению, учитывая доступность обновлений безопасности различными способами и/или из разных источников в открытом (дешифрованном) виде, а также учитывая его способности расшифровать обновления безопасности и наличие необходимых инструментов анализа и других технических средств. После завершения тестирования исследователь подробно описывает результаты каждого проведенного теста. Если в процессе проведения теста исследователь обнаруживает признаки несанкционированных возможностей, их следует дополнительно проанализировать путем ручного изучения обновлений безопасности. Следующий шаг — оператор информационной системы принимает решение о возможности установки обновления безопасности на основе результатов проведенных исследователем тестов в соответствии с установленной последовательностью.

Подходы к тестированию программного обеспечения

Существуют различные подходы к тестированию программного обеспечения:

1) Ручное тестирование: это процесс обнаружения ошибок в программном обеспечении путем ручного тестирования отдельных, актуально значимых с точки зрения соблюдения безопасности, элементов сертифицированным специалистом в области обеспечения качества, с целью удостоверения установленных требований.

2) Автоматизированное тестирование: этот процесс применения специальных инструментальных средств, для автоматического выполнения наборов тестовых сценариев с последующим логическим анализом полученных результатов. Набор инструментальных средств должен охватывать все аспекты тестирования, включая аспекты функциональности, безопасности и производительности программного обеспечения.

Преимущества автоматизированного тестирования включают увеличение эффективности процесса проверки, сокращение времени, затрачиваемого на проведение тестов, а также повышение точности и надежности результатов. Важно отметить, что несмотря на свои преимущества, автоматизированный подход не способен полностью заменить ручное тестирование, так как важна человеческая экспертиза при анализе результатов и принятии решений на основе полученной информации. Этот недостаток можно практически полностью исключить, если разработать систему верификации, заложив в неё базовые алгоритмы проверки уязвимостей ПО и специфические требования компании. Набор алгоритмов проверки уязвимостей должны удовлетворять всем требованиям базиса: ортогональности и полноты, а специфические требования компании обеспечивать конкурентный аспект разрабатываемой автоматизированной системы.

Выполнение условий ортогональности алгоритмов позволяют систематизировать требования ФСТЭК, декомпозировать их на независимые, автономные компоненты, избавиться от лишнего программного кода базисного алгоритма, перегружающего работу процедуры анализа уязвимостей, оптимизировать программы тестирования. Требование полноты алгоритмов тестирования порой выходит за рамки методик, утвержденных ФСТЭК. В современных условиях возникают уязвимости информационных систем, обусловленные внедрением современных технологий: использованием искусственного интеллекта; внедрением квантовых технологий. Этот процесс необходимо отслеживать и своевременно добавлять в базис соответствующие алгоритмы. Построение алгоритмов тестирования, обеспечивающих специфические требования компании, порой оказываются более сложными в реализации, однако их разработка должна основываться на общем базисном подходе.

Автоматизированные системы должны включать элементы принятия решения, документирования процесса верификации, обрабатывать исключительные ситуации, связанные с

программным и аппаратным оборудованием, обладать удобным пользовательским интерфейсом.

Таким образом, задача разработки автоматизированных систем тестирования и верификация программного обеспечения остается актуальной для создания автоматизированных рабочих мест и играет критическую роль в обеспечении качества и надежности работы систем, повышения производительности бизнес-процессов, обеспечения безопасности информации и минимизации рисков возможных сбоев.

В данном контексте стремительное развитие технологий и методов верификации является необходимым для адаптации к постоянно меняющимся требованиям и вызовам современного информационного общества.

Декомпозиционный подход к тестированию программного обеспечения

В простейшем случае процессы контроля информационной безопасности предприятия можно разделить на две составные части. К первой части можно отнести проверку несанкционированной утечки информации. Ко второй, проверку несанкционированного внедрения программных продуктов или файловых компонентов. В том и другом случаях необходимо выстроить полную ортогональную систему тестов. Речь идет о формировании системы тестов, в которых отсутствуют элементы перекрытия. Наличие таких элементов приводит к плохо обусловленному процессу тестирования, порождают неопределенности в оценке результатов тестирования, перегружают тесты избыточной информацией, требуют дополнительной проверки их безопасности.

Для построения таких тестов можно воспользоваться критериями, основанными на гипотезах об ошибках. Такой подход чреват многими субъективными факторами, так-как он базируется на выявлении рисков системы, квалификации разработчиков системы, опыта тестировщиков. Существующие технологии разработки тестов очень часто основывается на субъективном подходе. Это основной фактор, который приводит к принятию ложных решений.

Основываясь на простейшем примере, когда процессы контроля информационной безопасности предприятия можно разделить на две составные части, попытаемся рассмотреть пути формализованного подхода к построению ортогональной системы тестов. Для этого следует декомпонировать (детализовать) понятие несанкционированной утечки информации и несанкционированного внедрения программных продуктов в информационную систему предприятия. Будем считать, что утечка информации обусловлена процедурой несанкционированного копирования файла. Копирование файлов в системе проводится стандартным кодом воспроизводящим поведение конечного автомата. Доказательство достоверности кода описывается логической таблицей переходов и считается безупречным. Теперь для построения ортогональных алгоритмов тестирования необходимо определить все возможные каналы передачи информации и в каждом проверить критерий допуска на предмет копирования. В результате будет сформирован базис тестов. Останется проверить полноту базиса. Проверка заключается в определении линейной зависимости любого нового теста к базисным.

Теперь рассмотрим несанкционированное внедрение программных продуктов в информационное пространство предприятия. Будем считать, что внедрение информации обусловлено процедурой записи. Запись файлов или их фрагментов в системе проводится стандартным кодом воспроизводящим поведение конечного автомата. Доказательство достоверности кода описывается логической таблицей переходов и считается истинным. Теперь для построения ортогональных алгоритмов тестирования необходимо определить все возможные каналы записи информации и в каждом проверить критерий допуска на предмет записи. В результате будет сформирован базис тестов. Проверить полноту базиса можно аналогичным

способом. Проверка заключается в определении линейной зависимости любого нового теста к базисным. Аналогичный подход можно применить ко всем элементам уязвимости. В результате такого подхода будет построена система канонических, ортогональных тестов с отсутствием элементов перекрытия, которые порождают неопределенности в оценке результатов тестирования, перегружают тесты избыточной информацией, требуют дополнительной проверки их безопасности.

Библиографический список

1. Проект обеспечения информационной безопасности бизнес-процессов: Тестирование программного обеспечения// Дзен [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://dzen.ru/a/ZH5m0mGeMlzZ4F9O>. – Дата доступа 01.02.2024.
2. Методика тестирования обновлений безопасности программных, программно-аппаратных средств// ФСТЭК России [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/spetsialnye-normativnye-dokumenty/metodicheskij-dokument-ot-28-oktyabrya-2022-g>– Дата доступа 03.02.2024.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИЯ О VII МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2024».....	3
МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА».....	6
Секция «ЦИФРОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ».....	6
Виноградов Н.С. Реализация оптимального блока поиска Ченя на ПЛИС.....	6
Волченков В.А., Лункин А.Г. Исследование блоков генерирования сигналов и средств анализа сигналов в среде SimInTech для оценки возможности создания моделей ТКС.....	10
Волченков В.А., Колягин А.Р. Применение некоторых авторегрессионных методов спектрального оценивания для различения близкорасположенных по частоте радиосигналов.....	15
Григина А.В., Никишкин П.Б. Фильтрованная ортогональная частотная модуляция (F-OFDM) в системах Широкополосной передачи данных.....	20
Овинников А.А., Игнатьев Р.В. Разработка многоканальной узкополосной системы передачи шумоподобных сигналов....	25
Долматов Ю.И. Обработка сигнала с помощью вейвлет-преобразования для выделения частоты сердцебиения.....	31
Валуйский Д.В., Витязев С.В. Оценка качества вращения промышленного вала на основе вейвлет-преобразования радиолокационного сигнала.....	36
Захаркин А.А., Овинников А.А. Методика получения кодов Рида-Маллера путём расширения кодов Хэмминга.....	41
Токарева Г.И. Исследование пропускной способности каналов межпроцессорного обмена модуля обработки сигналов на базе ПЦОС 1967ВН028.....	44
Спицын Д.О., Витязев С.В. Алгоритмы обработки радиосигналов в навигационной системе мобильного робота.....	48
Секция «АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ».....	52
Белов В.В., Смирнов М.А., Куляев П.В. Методология проектирования оптимальных структур строительных материалов.....	52
Брянкин К.В., Субочева М.Ю., Брянкина А.К. Обезвоживание сыпучих термолабильных полупродуктов органических красителей.....	57

Дмитриев О.С., Барсуков А.А., Дмитриев С.О.

Исследование погрешности и планирование эксперимента определения кинетических характеристик отверждения полимерных композиционных материалов..... 61

Бекташев Р.В., Воробьева Е.В., Лобанова Л.И.

Исследование влияния качественного и количественного состава травильного раствора титана на эффективность процесса..... 67

Корнешова Е.Р., Порхунова А.В., Воробьева Е.В.

Исследование возможности извлечения из сточных вод малорастворимых соединений хрома (III) методом электрофлотации..... 70

Коваленко В.В., Кулавина Н.Ю., Шашкина Г.А., Новикова Е.А.

Моделирование расчета толщины обечайки в модуле «Статический анализ» программы T-FLEX..... 76

Кулавина Н.Ю., Захаров Д.С.

Графическое представление химико-технологического оборудования в программе T-FLEX CAD 2D..... 81

Шашкина Г.А., Чавкина Е.С.

Создание расчетной модели для определения толщины стенки обечайки..... 87

Коваленко В.В., Зырянова Д.А.

Создание схем автоматизации средствами MS VISIO..... 92

Штукина М.М., Семенов А.Р.

Влияние гальванического покрытия на износ деталей..... 97

Зиновьева Д.С., Маслов А.Д.

Повышение эффективности работы реакторного блока гидроочистки дизельного топлива путем изменения конструкции ввода сырья..... 101

Ковалева Л.А., Воробьева Е.В.

Исследование зависимости физико-химических свойств дорожных битумов от вводимых полимеров..... 105

Конюхов С.Г., Коваленко В.В.

Модернизация технологической схемы установки 12/1 с целью вывода циклогексановой фракции..... 109

Дубков М.В., Ветшев К.А., Рубцова А.Д.

Квадрупольная tandemная масс-спектрометрия..... 113

Дубков М.В., Ветшев К.А., Рубцова А.Д.

Сравнение типов электродных систем непрерывных масс-анализаторов..... 116

Юдаев С.А., Сахаровская А.Е.

Катализаторы окисления метиловых эфиров жирных кислот..... 120

Рубцова А.Д., Свирина В.О., Скрипкина М.В.

Калибровка рентгеновского энергодисперсионного анализатора серы АСЭ-1..... 122

Смирнов Е.С., Маслов А.Д.

Исключение потерь от использования резервуарного парка после обессоливания и обезвоживания нефти на установке атмосферно-вакуумной трубчатки..... 126

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ».....	130
Секция «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОНСТРУИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ».....	130
Сапрыкин А.Н., Андрианов И.А. Проектирование электронных компонентов в облачной САПР печатных плат EASYEDA.....	130
Сизова С.В., Сапрыкин А.Н. Применение языка описания аппаратуры VHDL для проектирования искусственных нейронных сетей.....	134
Секция «МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В САПР».....	139
Скворцов С.В., Хрюкин В.И. Проектирование микропроцессорного устройства управления положением технического объекта в системе позиционирования.....	139
Никонов К.А., Сапрыкин А.Н. Изучение организации системы дистанционного образования в школах и способы её модернизации.....	147
Кошелев А.Д., Кошелева М.С., Орешков В.И. Оценка идентичности цифровых двойников.....	152
Перепелкин Д.А., Ликучев В.Ю. Архитектура программного комплекса автоматизированного размещения компонентов на основе мультиагентных систем.....	156
Секция «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ».....	160
Колесников М.И., Кузьмин Ю.М. Применение фаззинг-программы для нахождения ошибок и уязвимостей ПО.....	160
Конкин Ю.В. Анализ особенностей построения систем защиты информации от несанкционированного доступа на основе ложных информационных систем.....	167
Левакин Н.С., Калинкина Т.И. Антивирусное программное обеспечение, направленное на выявление программ- кейлоггеров.....	171
Агафонов А.Г., Колесенков Н.А. Способы и методы защиты учётных данных пользователей в сети «Интернет».....	177
Рябов В.В., Немтинов В.А. Анализ статистических показателей активности пользователей группы социальной сети и модификация модели SIR для прогноза динамики интереса к публикации в интернете.....	180
Ни В.В., Мещеряков В.А. Верификация программного обеспечения по критериям информационной безопасности.....	187

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ**Научное издание****В 10 томах****Том 3**

Под общей редакцией О.В. Миловзорова.

Подписано в печать 15.06.24. Формат 60х84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л..

Тираж 100 экз. Заказ №.

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Редакционно-издательский центр РГРТУ,
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

ISBN 978-5-7722-0404-7



9 785772 204047 >