

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНЦЕРН FESTO
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИННОВАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ
ПРОЕКТ «СИНЕРГИЯ»
ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО
БАЛТИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. УСТИНОВА
СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

АВТОМАТИЗАЦИЯ, МЕХАТРОНИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Материалы
X Международной научно-технической интернет-конференции
молодых ученых
(Россия, Омск, 19–20 мая 2020 года)

AUTOMATION, MECHATRONICS, INFORMATION TECHNOLOGIES

International Scientific and Technical Internet Conference of Young Scientists
(Russia, Omsk, 19–20 May 2020)

Научное текстовое электронное издание
локального распространения

Омск
Издательство ОмГТУ
2020

УДК 658.52.011.56.012.3(075)+621.865(075)+004(075)

ББК 32.965я73+32.816я73+32.81я73

A22

Редакционная коллегия:

В. Г. Хомченко, д-р техн. наук, профессор (отв. редактор);

Е. С. Гебель, канд. техн. наук, доцент;

Е. И. Пастухова, канд. техн. наук, доцент

Автоматизация, мехатроника, информационные технологии = Automation, Mechatronics, Information Technologies [Электронный ресурс] : материалы X Междунар. науч.-техн. интернет-конф. молодых ученых (Россия, Омск, 19–20 мая 2020 г.) / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации [и др.] ; [редкол.: В. Г. Хомченко (отв. ред.) и др.]. – Электрон. текст. дан. (3,85 Мб). – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2020. – 1 электрон. опт. диск. – Минимальные системные требования: процессор Intel Pentium 1,3 ГГц и выше; оперативная память 256 Мб и более; свободное место на жестком диске 260 Мб и более; операционная система Microsoft Windows XP/Vista/7/10; разрешение экрана 1024×768 и выше; акустическая система не требуется; дополнительные программные средства Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше. – ISBN 978-5-8149-3144-3.

Представлены материалы докладов по автоматизации технологических процессов и производств, управлению в технических системах, программному и алгоритмическому обеспечению систем управления техническими объектами, мехатронным и робототехническим системам и модулям, а также по информационным технологиям в прикладных областях исследования.

Издание адресовано научным сотрудникам, инженерам, преподавателям и аспирантам, работающим в области теории управления, механики и их приложений.

Ответственность за содержание материалов несут авторы

Издается в авторской редакции

Компьютерная верстка *Л. Ю. Бутаковой*

*Для дизайна этикетки использованы материалы
из открытых интернет-источников*

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

1. Шалай В.В., **председатель**, президент ОмГТУ, д.т.н., профессор (г. Омск, Россия);
2. Елисеев А.С., **сопредседатель**, дважды Герой СССР, летчик-космонавт СССР, д.т.н., профессор, (г. Москва, Россия);
3. Каталинич Б., **сопредседатель**, директор FESTO-проекта, профессор, (г. Вена, Австрия);
4. Рогалев Н.Д., ректор НИУ МЭИ, д.т.н., профессор (г. Москва, Россия);
5. Ибатов М.К., ректор КарГТУ, д.т.н., профессор (г. Караганда, Казахстан);
6. Стажков С.М., председатель совета директоров Международного междуниверситетского сетевого проекта «Синергия», заведующий кафедрой «Системы приводов, мехатроника и робототехника» БГТУ, д.т.н., профессор (г. Санкт-Петербург, Россия).

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

1. Хомченко В.Г., **председатель**, директор УЦ «ОмГТУ-FESTO», профессор кафедры «Автоматизация и робототехника» ОмГТУ, д.т.н., профессор (г. Омск, Россия);
2. Косых А.В., **сопредседатель**, ректор ОмГТУ, д.т.н., профессор (г. Омск, Россия);
3. Бобряков А.В., заведующий кафедрой «Управление и информатика» МЭИ, директор центра подготовки «МЭИ-FESTO», д.т.н. (г. Москва, Россия);
4. Брейдо И.В., заведующий кафедрой «Автоматизация производственных процессов» КарГТУ, д.т.н., профессор (г. Караганда, Казахстан);
5. Кабанов А.А., заведующий кафедрой «Информатика и управление в технических системах» СевГУ, к.т.н., доцент (г. Севастополь, Россия);
6. Потехин В.В., доцент кафедры «Высшая школа киберфизических систем и управления» СПбПУ, к.т.н., доцент (г. Санкт-Петербург, Россия);
7. Филаретов В.Ф., заведующий кафедрой «Автоматизация и управление» ДВФУ, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный изобретатель РФ, д.т.н., профессор (г. Владивосток, Россия);
8. Гебель Е.С., заведующая кафедрой «Автоматизация и робототехника» ОмГТУ, к.т.н., доцент (г. Омск, Россия);
9. Пастухова Е.И., доцент кафедры «Автоматизация и робототехника» ОмГТУ, к.т.н., доцент (г. Омск, Россия).

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

| | |
|---|----|
| <i>Г. А. Пивоваров, Д. В. Демидов, Е. Ю. Зименко, М. С. Суворова, Е. С. Гебель</i> РАЗРАБОТКА АППАРАТНОГО РЕШЕНИЯ И ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СЧЁТА | 6 |
| <i>Е. С. Рублева, Т. В. Гоненко</i> АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ..... | 10 |
| <i>Д. В. Демидов, В. В. Клевакин</i> К ВОПРОСУ ИНТЕГРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В СИСТЕМУ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ..... | 14 |
| <i>В. В. Мельникова, В. В. Клевакин</i> К ВОПРОСУ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА В НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ | 19 |
| <i>К. С. Теслов</i> РАЗРАБОТКА ДЕМОСТРАЦИОННОГО МАКЕТА МНОГОСВЯЗНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МНОГОПОТОЧНОЙ ПЕЧИ | 23 |
| <i>А. С. Иванов, М.С. Пешко</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА СНИЖЕНИЕ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ | 30 |
| <i>Е. В. Корнилов, А. А. Новиков, М. С. Пешко</i> МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ДЛЯ ПРОЦЕССА СЕРНОКИСЛОТНОГО АЛКИЛИРОВАНИЯ..... | 35 |
| <i>А. В. Шерстнёв, Е. И. Пастухова</i> ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ В ЭПОХУ ЧЕТВЕРТОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ В НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ | 39 |
| <i>В. В. Волчёмисов, Е. И. Пастухова</i> СИСТЕМА ПРОГНОЗНОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И СООРУЖЕНИЙ | 42 |

Секция 2

МЕХАТРОННЫЕ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И МОДУЛИ

| | |
|---|----|
| <i>А. А. Кабанов, В.А. Крамарь, А. Н. Путин, А.А. Митченкова</i> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ХИРУРГИЧЕСКОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА | 46 |
| <i>О. А. Крамарь, А. Н. Путин</i> МЕТОД ПРЕДСКАЗАНИЯ СТОЛКНОВЕНИЯ С ВНЕШНИМИ ОБЕКТАМИ МНОГОЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА | 50 |
| <i>В. С. Ельчинский, С. М. Стажков, А. О. Кузьмин, В. А. Королев</i> ИСПЫТАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОРШНЕВОГО МЕХАНИЗМА АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВОЙ ГИДРОМАШИНЫ В НАСОСНОМ РЕЖИМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ..... | 54 |

| | |
|---|----|
| <i>В. Г. Хомченко, А. В. Колтышкин</i> ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА РОБОТА ОТНОСИТЕЛЬНО РЕАЛИЗУЕМОЙ ТРАЕКТОРИИ В РТК НА БАЗЕ ОБРЕЗНОГО ПРЕССА..... | 59 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| <i>Я. В. Касьянов, Е. В. Федотова, К. В. Штыбина</i> АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ АЛГОРИТМОВ ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ МОБИЛЬНЫХ НАЗЕМНЫХ РОБОТОВ..... | 64 |
|--|----|

Секция 3
ПРОГРАММНОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

| | |
|--|----|
| <i>М. С. Суворова, Д. В. Демидов, Г. А. Пивоваров, П. П. Трубин</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДСЧЕТА ПРОДУКЦИИ НА КОНВЕЙЕРЕ СРЕДСТВАМИ БИБЛИОТЕКИ OPENCV | 71 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| <i>А. Р. Бахтиярова, О. А. Калашикова, Д. Д. Георгиев, П. П. Трубин</i> ЗАДАЧА ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ВО ВРЕМЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ И ПОДХОДЫ К ЕЕ РЕШЕНИЮ | 75 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| <i>Д. Д. Георгиев, П. П. Трубин, О. А. Калашикова, А. Р. Бахтиярова</i> ЭВОЛЮЦИЯ МЕТОДОВ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ В МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ | 77 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| <i>А. А. Черняев, А. Г. Ивашко</i> ПРИМЕНЕНИЕ CIROS ДЛЯ ПРЕПОДАВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБЩЕНИЯ..... | 82 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| <i>А. Н. Полуянов</i> ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПУНКТА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ НА ОСНОВЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ | 86 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| <i>А. Е. Зверев, А. В. Куликова, М. М. Полотнов, Г. А. Фомин</i> РАЗВИТИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ОТЧЁТНОСТИ В ЦЕЛЯХ ФИНАНСОВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДВЕДОМСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ..... | 90 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| <i>В. Г. Хомченко, И. М. Зуга, А. О. Строев</i> СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ РЕСУРСНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ ПРОМЫШЛЕННОГО СООРУЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ..... | 94 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| <i>В. С. Шляпужников, В. Г. Хомченко</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ СХЕМ КАБЕЛЬНЫХ ПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА | 98 |
|--|----|

Секция 4.
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ПРИКЛАДНЫХ ОБЛАСТЯХ ИССЛЕДОВАНИЯ

| | |
|---|-----|
| <i>Е. В. Калашикова, Б. Н. Фешин, М. С. Пешко</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ТЕПЛОСНАБЖАЮЩИХ СИСТЕМ МЕГАПОЛИСОВ СРЕДСТВАМИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ | 104 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| <i>В. В. Заводов, М. С. Пешко, А. С. Филочкина</i> ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА | 108 |
|---|-----|

Секция 1

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

УДК 65.011.56

РАЗРАБОТКА АППАРАТНОГО РЕШЕНИЯ И ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СЧЁТА

Г. А. Пивоваров, Д. В. Демидов, Е. Ю. Зименко,
М. С. Суворова, Е. С. Гебель

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. В статье рассмотрен процесс проектирования автоматизированной системы подсчёта продукции на конвейере, при котором обеспечивается повышенная точность, уменьшается количество ошибок счёта, а также снижаются вытекающие из этого временные и экономические затраты на остановку и обслуживание конвейера. Был осуществлён выбор аппаратного обеспечения для системы автоматизации счёта продукции на конвейере. Также осуществлена разработка интерфейса пользователя для обеспечения взаимодействия пользователя и управляющей программы.

Ключевые слова. Автоматизация, аппаратное обеспечение, программное обеспечение, графический интерфейс пользователя, автоматизированная система управления.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большое распространение получила автоматизация технологических процессов. Автоматизация – это применение технических средств, экономико-математических методов и систем управления, освобождающих человека частично или полностью от непосредственного участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов или информации. Автоматизация проникает во все сферы деятельности и производства. С её помощью могут решаться как глобальные задачи, например, автоматизация целой установки на производстве, так и локальные задачи [1, 4].

В статье рассматривается случай, когда задачей автоматизации выступает обеспечение автоматического подсчёта пройденной по ленте конвейера продукции. Партнёрами, поставившими решаемую задачу, являются ОАО «Омский Бекон» и ООО «Бит-Интеграция». В статье также подробно описан выбор соответствующего аппаратного обеспечения, а также разработка интерфейса системы мониторинга и управления процессом подсчёта продукции.

Для обеспечения выполнения поставленной задачи необходимо разработать решение проблемы автоматизации как в программной, так и в аппаратной части. А также, необходимо осуществить дальнейшее внедрение полученной системы в уже существующую производственную систему управления.

В данной статье описан выбор соответствующего аппаратного обеспечения, а также разработка интерфейса системы мониторинга и управления процессом подсчёта продукции.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В начале процесса разработки решения было проведено интервью с директором ООО «Бит-Интеграция», в результате которого были определены возможные направления поиска решения. Ранее на предприятии пробовали ставить флажок, но он работает неудовлетворительно, так как существуют продукты неправильной формы. Также хотели поставить оптический датчик, но из-за того что продукция имеет разнообразную цветную этикетку (особенно дорогая продукция), датчик может срабатывать несколько раз.

По результатам проведённого обзора был сделан вывод о том, что у партнёров нет конкретных предпочтений к решению, поэтому было принято решение разработать собственное, удовлетворяющее всем необходимым параметрам.

III. ТЕОРИЯ

В связи с этим, на следующем этапе разработки были рассмотрены различные варианты возможных решений. Были выбраны четыре возможных решения, и проведено голосование для определения более предпочтительного из них по нескольким критериям (рис. 1).

| Критерии оценивания | Использовать программу и/или нейросеть для подсчета продукции | | | | Установить контроллер и несколько оптодатчиков | | | | Разработать «умные» коробки | | | | Поставить манипулятор на мобильной платформе | | | |
|-----------------------|---|-------|-------|------------|--|-------|------|------------|-----------------------------|-------|-------|-------------|--|--------|--------|-------------|
| | Дима | Маша | Глеб | Среднее | Дима | Маша | Глеб | Среднее | Дима | Маша | Глеб | Среднее | Дима | Маша | Глеб | Среднее |
| Понятность | 9 | 3 | 6 | 6 | 8 | 7 | 10 | 8,33333333 | 4 | 5 | 4 | 4,33333333 | 6 | 5 | 7 | 6 |
| Доступность | 8 | 5 | 7 | 6,66666667 | 6 | 6 | 2 | 4,66666667 | 4 | 6 | 3 | 4,33333333 | 3 | 2 | 2 | 2,33333333 |
| Универсальность | 6 | 10 | 9 | 8,33333333 | 7 | 7 | 7 | 7 | 5 | 5 | 6 | 5,33333333 | 6 | 6 | 8 | 6,66666667 |
| Стоимость внедрения | 20000 | 89500 | 10000 | 39833,3333 | 30000 | 27800 | 5999 | 21266,3333 | 50000 | 66450 | 64999 | 60483 | 500000 | 493846 | 503127 | 498991 |
| Стоимость поддержания | 3000 | 360 | 2000 | 1786,66667 | 5000 | 487 | 1000 | 2162,33333 | 15000 | 26476 | 58375 | 33283,66667 | 10000 | 121144 | 150000 | 93714,66667 |
| Время разработки | 3 | 2,5 | 2 | 3,75 | 0,5 | 2,3 | 1 | 1,9 | 3 | 7,4 | 6 | 8,2 | 5 | 6,7 | 3 | 7,35 |
| Личные предпочтения | 9 | 10 | 8 | 9 | 7 | 8 | 10 | 8,33333333 | 4 | 7 | 2 | 4,33333333 | 6 | 5 | 6 | 5,66666667 |

Рис. 1. Таблица с выбором по критериям

На рисунке 1 критерии «Понятность», «Доступность», «Универсальность» и «Личные предпочтения» выставлялись по десятибалльной шкале. «Стоимость внедрения» и «Стоимость поддержания» выбирались на тот момент предположительно и измерялись в рублях. «Время разработки» вписывалось с учётом занятости участников разработки и измерялось в месяцах.

Решения о разработке «умных» коробок и об установке манипулятора оказались наименее удачными из всех рассматриваемых. Первое из них состояло в разработке коробок со встроенными весами, по измерениям которых можно было бы судить о наполненности конкретной коробки, несколькими ячейками для более точного распределения продуктов, а также с возможностью самостоятельного передвижения при помощи какой-либо мобильной платформы. Но данное решение являлось трудновыполнимым за поставленные сроки. Решение с манипулятором состояло в его установке для укладки продукции в ящики, а также в установке на нём камеры для автоматического подсчёта продукции. Предусматривалось, что манипулятор будет установлен на мобильную платформу и будет также перемещать заполненные ящики на склад. Данное решение является менее трудновыполнимым, но также и самым дорогостоящим из всех, что также является неудовлетворительным.

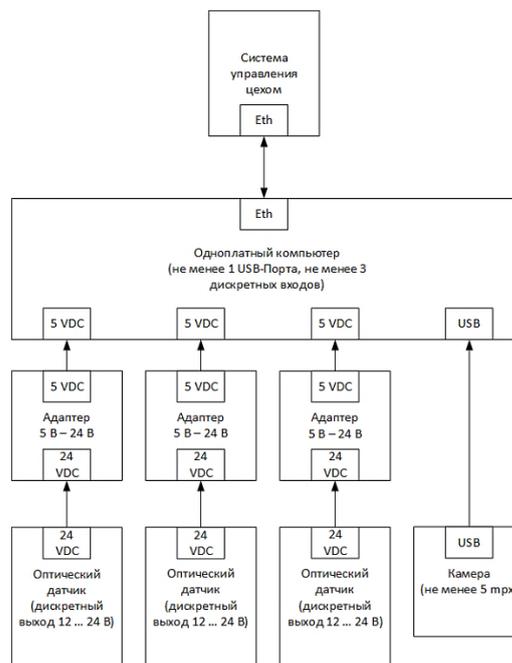


Рис. 2. Структурная схема решения

По итогам отбора было решено приступить к рассмотрению двух других решений: использовать камеру с машинным зрением, представленным в виде написанной программы с использованием нейронной сети или открытых библиотек, для определения продукта в кадре и его счёта; использовать оптические датчики для подсчёта продукции, фиксируемой ими.

Было проведено повторное интервью с партнёрами, в ходе которого было принято решение об объединении выбранных решений. Первая структурная схема системы автоматического счёта представлена на рис. 2.

Далее возникла необходимость в упрощении системы из-за её избыточной надёжности и аппаратной сложности. Встал выбор между тем, чтобы оставить либо только оптические датчики, либо только видеокамеру. Решение с датчиками оказалось менее точным, так как не может обеспечить корректный учёт продуктов, если их высота меньше зоны работы датчика, а также, если продукты слиплись. Также партнёр выразил желание о непосредственном подключении монитора и клавиатуры к одноплатному компьютеру.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Так была разработана структурная схема конечного решения (рис. 3), на которой показано непосредственное подключение видеокамеры, монитора и клавиатуры к одноплатному компьютеру, а также указаны необходимые требования к элементам системы.

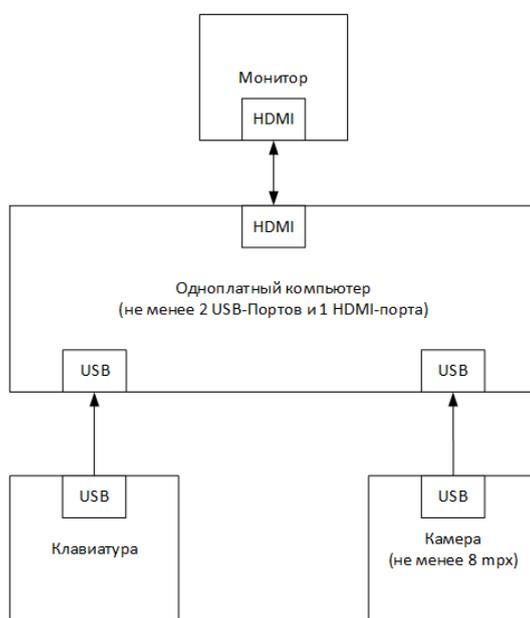


Рис. 3. Конечная структурная схема

Данное решение включает в себя видеокамеру для записи видео с конвейера, которая устанавливается вертикально над конвейером на таком расстоянии, чтобы охватить его весь по ширине; клавиатуры для ввода основных параметров процесса, например, тип продукта или вместимость ящика; монитора, на который будет выводиться видео с камеры, а также основная информация по процессу; одноплатного компьютера, в который загружается управляющая программа и который связывает все элементы системы. Такое решение является бюджетным, но при это решает все требуемые задачи, поэтому оно является сбалансированным в плане критериев цена/качество и полностью устраивает партнёров.

После того, как был определён окончательный состав аппаратного обеспечения системы, возник вопрос о разработке программного. Программа счёта была написана на языке Python 3 и включала в себя применение библиотеки машинного зрения OpenCV, а также библиотеки разработки пользовательского интерфейса PyQt. OpenCV (Open Source Computer Vision Library) – библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом. Реализована на C/C++, Python и других языках. Может свободно использоваться в академических и коммерческих целях – распространяется в условиях

лицензии BSD [2]. PyQt — набор расширений («привязок») графического фреймворка Qt для языка программирования Python, выполненный в виде расширения Python [3]. Данные библиотеки являются и открытыми бесплатны для скачивания, что делает выбранное решение более доступным. На рис. 4 показан вид рабочего окна программы.

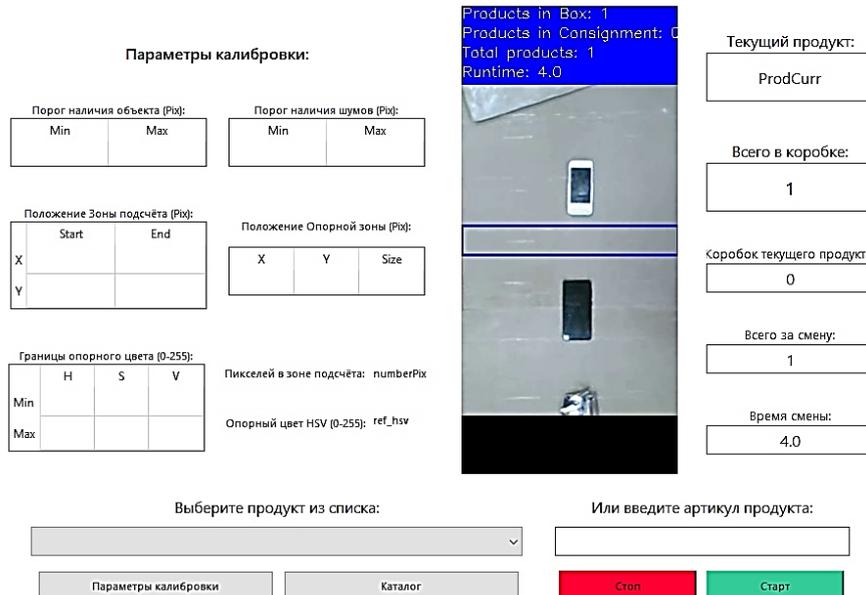


Рис. 4. Пользовательский интерфейс разработанной программы

В центральной области интерфейса находится полученный с камеры видеоряд, на который наложены вспомогательные отладочные данные. В правой области интерфейса расположена информация о характеристиках выбранного продукта и параметрах счёта. В левой области, для взаимодействия с пользователем, в графическом интерфейсе предусмотрены поля для ввода параметров калибровки, которые необходимо изменять при использовании на ленте конвейера нового типа продукции или для корректировки уже существующих. В нижней области пользовательского интерфейса находится два способа выбора текущей продукции: из списка или путём ввода артикула продукции. А также в этой же области предусмотрены две кнопки, выделенные по стандартам необходимым цветом и предназначенные соответственно для остановки обработки поступающего видеоизображения и для его запуска.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе был проведён анализ и выбор аппаратного обеспечения автоматической системе подсчёта продукции. Выбранное решение позволяет реализовать наиболее точный подсчёт, так как обеспечивает счёт продукции даже с отклонением геометрических параметров или, например, в случае если продукты слипнутся. Был разработан графический интерфейс пользователя с использованием открытых бесплатных библиотек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация // Polislov.ru. URL: <https://www.polislov.ru/avtomatizaciya/> (дата обращения: 25.04.2020).
2. OpenCV // Википедия – свободная энциклопедия. [2020—2020]. Дата обновления: 15.05.2018. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenCV> (дата обращения: 26.04.2020).
3. PyQt // Википедия – свободная энциклопедия. [2020—2020]. Дата обновления: 23.04.2016. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/PyQt> (дата обращения: 26.04.2020).
4. Морозов, С.С. Робототехнический комплекс упаковки стеклянной бутылочной продукции / С.С. Морозов, Е.С. Гебель // Автоматизация, мехатроника, информационные технологии = Automation, Mechatronics, Information Technologies : материалы VII Междунар. науч.-техн. интернет-конф. молодых ученых (Омск, 16 мая 2017 г.). – Омск : ОмГТУ, 2017. – С. 115–124.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Е. С. Рублева, Т. В. Гоненко

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. В последнее время появились тенденции к введению в энергосистему альтернативных источников энергии, способных взять на себя обеспечение потребителей электроэнергией. В качестве одного из самых распространенных видов альтернативной энергетики можно выделить солнечную энергетику. Для ее функциональной работы требуется обеспечить согласованную работу альтернативных источников энергии с уже используемым оборудованием существующей электрической сети, а также разработать систему автоматического управления с учетом новой структуры. Данная статья проводит обзор применения солнечных панелей. Виды совместного подключения нескольких батарей, преимущества и недостатки в использовании каждого из них.

Ключевые слова. Солнечная энергия, альтернативные источники энергии, солнечные батареи

I. ВВЕДЕНИЕ

Многие предприятия в настоящее время столкнулись с проблемой нехватки электроэнергии для питания потребителей в моменты наибольшей пиковой нагрузки. Повышающиеся запросы потребителей на увеличение потребляемой мощности приводят к необходимости введения новых источников энергии. Для решения данной задачи предлагается внедрение в существующую энергосистему возобновляемых источников энергии (ветрогенераторов и/или солнечных батарей), с целью автоматического переключения на них части потребителей, для снижения потребляемой мощности от городских сетей.

Требуется обеспечить согласованную работу альтернативных источников энергии с уже используемым оборудованием существующей электрической сети, а также разработать систему автоматического управления с учетом новой структуры.

Smart Grid (умная сеть) является следующим важным шагом в преобразовании электросети переменного тока. Существующая сеть обеспечивает электропитание от централизованных электростанций и практически не учитывает нагрузку и использование отдельными пользователями (промышленными и коммерческими предприятиями). Таким образом, необходимо нивелировать нагрузки на электрические сети в моменты пикового потребления электроэнергии путем разработки концепции Smart Grid для российской энергосистемы с учетом децентрализованных возобновляемых источников энергии.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основная проблема использования альтернативных источников заключается в том, как именно их присоединить для наибольшего увеличения напряжения и выходной мощности.

При подключении солнечных панелей необходимо выбрать способ соединения, который обеспечит наиболее энергоэффективную конфигурацию для конкретных требований. Для того, чтобы увеличить и ток и напряжение комбинируя различные способы соединения. Оптимальное подключение солнечных батарей необходимо для качественной работы всей системы.

III. ТЕОРИЯ

Существует три основных способа соединения солнечных панелей. Солнечные панели могут быть соединены последовательно или параллельно для увеличения напряжения или силы тока соответственно. Варьируя различные методы подключения, можно получить различные значения выходных характеристик. Оптимальное соединение всех солнечных батарей может значительно повысить эффективность солнечной системы.

1. Последовательное подключение всех имеющихся солнечных панелей. Данный метод используется для увеличения общего напряжения системы. Чтобы соединить панели

последовательно, необходимо соединить положительную клемму с отрицательной клеммой следующей панели. Последовательно расположенные солнечные панели увеличивают значения напряжения, суммируя генерируемые напряжения каждой отдельной панели и вывод общего выходного напряжения массива.

Параллельно можно подключать панели с одинаковыми и различными характеристиками.

а) Подключение панелей с похожими характеристиками (рис. 1а). В этом методе все солнечные панели имеют одинаковый тип и номинальную мощность. Общее выходное напряжение становится суммой выходного напряжения каждой панели. Используя три панели на 6 В и 3,0 А при последовательном подключении, массив способен выработать 18 В при 3,0 А или 54 Вт.

б) Подключение солнечных панелей с различным напряжением, но с одинаковыми номинальными значениями тока (рис. 1б). В этом методе все солнечные панели имеют различные типы и номинальную мощность, но имеют общую номинальную силу тока. При последовательном подключении массив вырабатывает напряжение 21 В при 3,0 А или 63 Вт. Сила тока остается неизменной при 3,0 А, но напряжение на выходе увеличивается до 21 В.

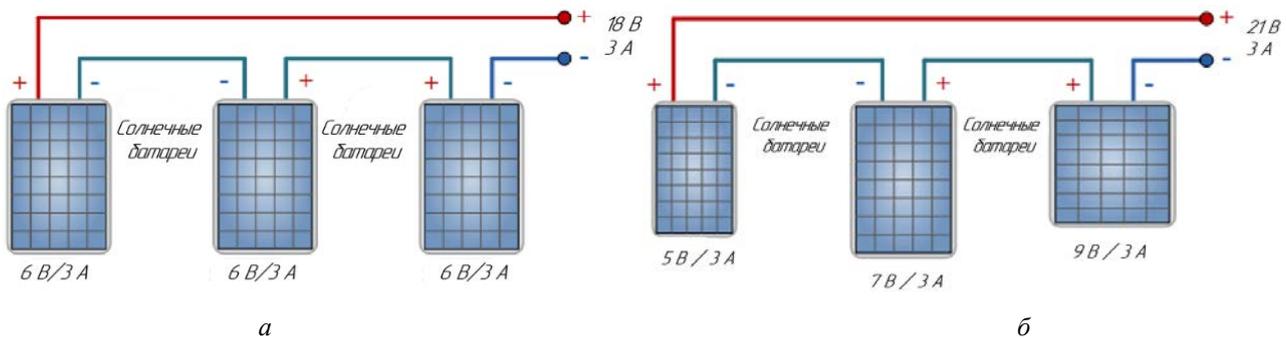


Рис. 1. Последовательное подключение солнечных батарей :
а – с одинаковыми характеристиками; б – с различным значением напряжения

в) Последовательное подключение солнечных панелей с разными номинальными напряжениями и различными номинальными значениями тока (рис. 2). В этом методе все солнечные панели имеют различную номинальную мощность. Напряжение на отдельной панели будет объединяться, как и раньше, но на этот раз сила тока будет ограничена самым низким значением в последовательности панелей, в данном случае 1 А. Массив будет вырабатывать 19 В при 1,0 А или только 19 Вт из возможных 69 Вт, что снижает эффективность массивов.

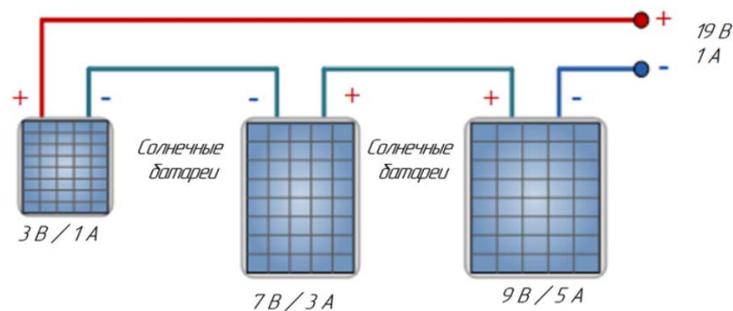


Рис. 2. Применение солнечных батарей с различным значением тока

Из условий видно, что солнечная панель имеет с номиналом 9 В при 5 А, будет использовать лишь одну пятую (20 %) от максимального потенциала тока, снижая его эффективность. Таким образом, при подключении солнечных панелей с различными номинальными характеристиками тока необходимо учитывать, что солнечная панель с самым низким номинальным током будет определять выходной ток всего массива.

2. Параллельное подключение солнечных панелей (рис. 3) Данный метод используется для увеличения общего тока системы. Для реализации метода необходимо соединить вместе все

положительные клеммы (положительный к положительному) и все отрицательные клеммы вместе (отрицательный к отрицательному). При параллельном подключении солнечных панелей общее выходное напряжение остается таким же, как и для каждой отдельной панели, но выходной ток становится суммой выходных сигналов каждой панели.

а) Параллельное соединение солнечных батарей с одинаковыми характеристиками (рис. 3а). В этом методе все солнечные панели имеют одинаковый вид и номинальную мощность. Используя те же три панели на 6 В и 3,0 А, что и в случае последовательного подключения, выходное напряжение останется прежним при 6 В, но сила тока увеличится до 9,0 А или 54 Вт. Таким образом, пока напряжение панелей остается неизменным, различия в токах ни на что не влияют, так как значение токов суммируется.

б) Параллельное соединение солнечных батарей с различными значениями тока и напряжения (рис. 3б). Здесь параллельные токи, как раньше, суммируются, но напряжение принимает значение панели с наименьшим номинальным напряжением, в данном случае 3 В. Таким образом, при использовании в параллельном режиме солнечные панели должны иметь одинаковое выходное напряжение. Если на одной из панелей присутствует более высокое напряжение, то на данную панель будет подаваться ток нагрузки, пока его выходное напряжение не упадет до значения панели с наименьшим входным напряжением.

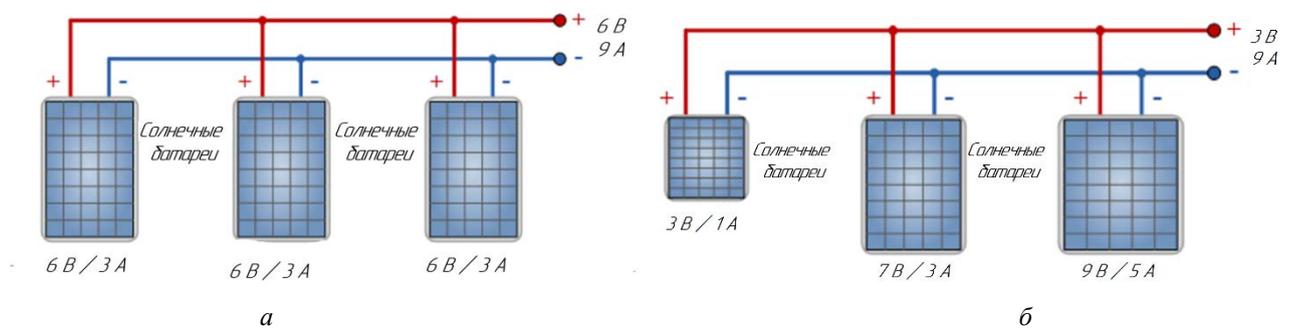


Рис. 3. Параллельное подключение солнечных батарей:
а – с одинаковыми характеристиками; б – с различным значением напряжения и тока

IV. ВЫВОДЫ

Не рекомендуется подключать солнечные панели параллельно с различными номинальными нагрузками, так как солнечная панель с самым низким номинальным напряжением определяет выходное напряжение всего массива. При параллельном подключении солнечных панелей важно, чтобы все они имели одинаковое номинальное напряжение, но значения силы тока являются варьируемым параметром. Кроме того, при параллельном соединении панели выход из строя одного из солнечных элементов не приводит к выходу из строя всей цепочки, т.е. повышает надежность работы всей батареи. При последовательном соединении панелей требуется введение резервных линий батарей.

При построении модели количество последовательных и параллельных строк панелей зависит от того, на какое напряжение и ток рассчитывает потребитель. При этом при параллельном соединении можно получить большее значение тока, а при последовательном соединении - большее значение напряжения. При правильном подборе типов солнечных батарей и сочетанию нескольких солнечных панелей можно подключить любой вид нагрузки, имеющейся на предприятии.

Существенным недостатком электрической сети, используемой в настоящее время, является неспособность адекватно реагировать на малые и средние изменения объемов потребления энергии. Коррекция происходит лишь при масштабных отклонениях, таких как сокращение энергопотребления в ночное время и резкое возрастание в утреннее и вечернее время. Технология «Умная сеть» решает поставленную задачу и значительно повышает гибкость объемов производства электроэнергии в соответствии с текущими значениями потребления, за счет установки интеллектуальных счетчиков, отслеживающих передачу энергии по всей сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карницкий В. Ю., Князев А. Н. Комплексное использование возобновляемых источников энергии // Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. № 11.
2. Слесаренко В. В., Гульков А. Н., Слесаренко И. В. Выбор установок возобновляемой энергетики для локальных систем энергоснабжения // ГИАБ. 2013. № 3.
3. Пионкевич В. А. Аспекты практического применения солнечных установок для электроснабжения промышленных и сельскохозяйственных потребителей // Вестник ИрГТУ. 2016. № 5 (112).
4. Кузнецов П. Н., Юферев Л. Ю. Повышение эффективности работы фотоэлектрических преобразователей при последовательном подключении // Вестник аграрной науки Дона. 2017. № 37.
5. Байшев А. В., Торопов А. С. Параллельная работа с сетью солнечных электростанций частных жилых домов // Вестник ХГУ им. Н.Ф. Катанова. 2017. № 19.

К ВОПРОСУ ИНТЕГРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ

Д. В. Демидов, В. В. Клевакин

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются основы технологии промышленного интернета вещей (Industrial Internet of Things), а также типовые функции и состав реализующих её систем. Осуществляется обзор существующих на текущий момент технологий и способы их внедрения в уже работающие стандартные системы автоматизированного управления. Предлагается концепция постепенной интеграции в существующие системы современных технологий на базе доступных на текущий момент технологий с целью повышения качества и функционала управления. Описывается опыт реализации отдельных функций технологии на объекте нефтепереработки.

Ключевые слова. Промышленный Интернет вещей, Industrial Internet of Things, самоорганизующаяся сетевая архитектура, беспроводные технологии, автоматизация управления.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сфера автоматизации технологических процессов и производств является одной из наиболее важных и развивающихся направлений технического прогресса[1]. Развитие автоматизации происходит на основе все более широкого внедрения микропроцессорной и компьютерной техники, а также за счёт улучшения характеристик сенсорных устройств, что особенно заметно в системах автоматизированного управления и контроля. Применение микропроцессорных систем управления позволяет облегчить труд инженеров и операторов, сняв с их обязанностей рутинные задачи, повысить надежность управляющих систем, обеспечив их способностью более быстрого и правильного принятия решений, а также позволить в большей степени использовать потенциальные возможности прогрессивных технологий в доступном для компаний виде. Разработчики стремятся проектировать системы управления таким образом, чтобы они соответствовали всем современным требованиям, то есть быть простыми в эксплуатации, обладать высоким уровнем стандартизации, а также быть экономически выгодными при производстве[2].

Технология промышленного Интернета вещей (Industrial Internet of Things) в свою очередь относится к взаимосвязанным датчикам, приборам и другим устройствам, объединенным в сеть с компьютерами, на которых запущены промышленные приложения для управления производственным процессом или предприятием. Такая возможность соединения позволяет собирать, анализировать и передавать данные между различными уровнями автоматизации, что потенциально способствует повышению производительности и эффективности, а также другим экономическим преимуществам, особенно в области нефтепереработки[3]. Однако, промышленный Интернет вещей является скорее не ответвлением от традиционного Интернета вещей, а полноценной, самостоятельно развивающейся технологией. Проводя параллели, можно утверждать что технология ИИТ и её функционал - это эволюция распределенной системы управления (Distributed Control System), которая обеспечивает более высокую степень автоматизации за счет использования новых технологий, адаптированных из Интернета вещей, для уточнения и оптимизации управления процессом.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Промышленный Интернет вещей, являясь достаточно передовой технологией, на данный момент ещё только рассматривается многими странами и предприятиями как непредсказуемая и потенциально небезопасная сфера, поэтому нормативная база Российской Федерации, особенно в области потенциально опасных производств, не позволяет в полной мере воспользоваться преимуществами новой технологии[4]. Поэтому, на данном этапе развития, технологии ИИТ служат

для автоматизации некритичных процессов на производстве, автоматизации сбора различных вспомогательных данных, а также для повышения уровня безопасности персонала на производстве.

Таким образом, основной задачей данной статьи является интеграция доступных в текущий момент систем промышленного Интернета вещей в уже работающую автоматизированную систему управления объектом нефтепереработки с условием аппаратной и программной совместимости всех модулей системы и их корректной работы, а также с соответствием предложенного решения существующим стандартам, с целью достижения большей эффективности работы разработанной системы управления в целом.

Также, одна из сопутствующих задач данной работы состоит в том, чтобы улучшить существующее на данный момент отношение к IoT как к «сырой технологии» и предложить действующую структуру реализации компонентов промышленного Интернета вещей в качестве основы для анализа их возможного использования при развертывании в промышленных условиях.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта управления была выбрана подсистема из области первичной переработки нефти на нефтеперерабатывающем заводе. Под первичной переработкой подразумевают процессы физического разделения нефти на фракции (фракционирование), как при нормальном, так и при пониженном давлении. В данной работе рассматривается первая стадия современной первичной переработки нефти – атмосферная перегонка, при которой нефть разделяется на фракции, путем многократного испарения и конденсации паров, проводящихся при атмосферном давлении.

На рисунках 1-5, представлена функциональная схема рассматриваемого объекта управления, на которой размещены как основная система управления (контуры управления 1 – 21), так и вспомогательная система управления на базе IoT (контуры управления 22 – 58). Далее следует описание контуров, относящихся к технологии промышленного Интернета вещей.

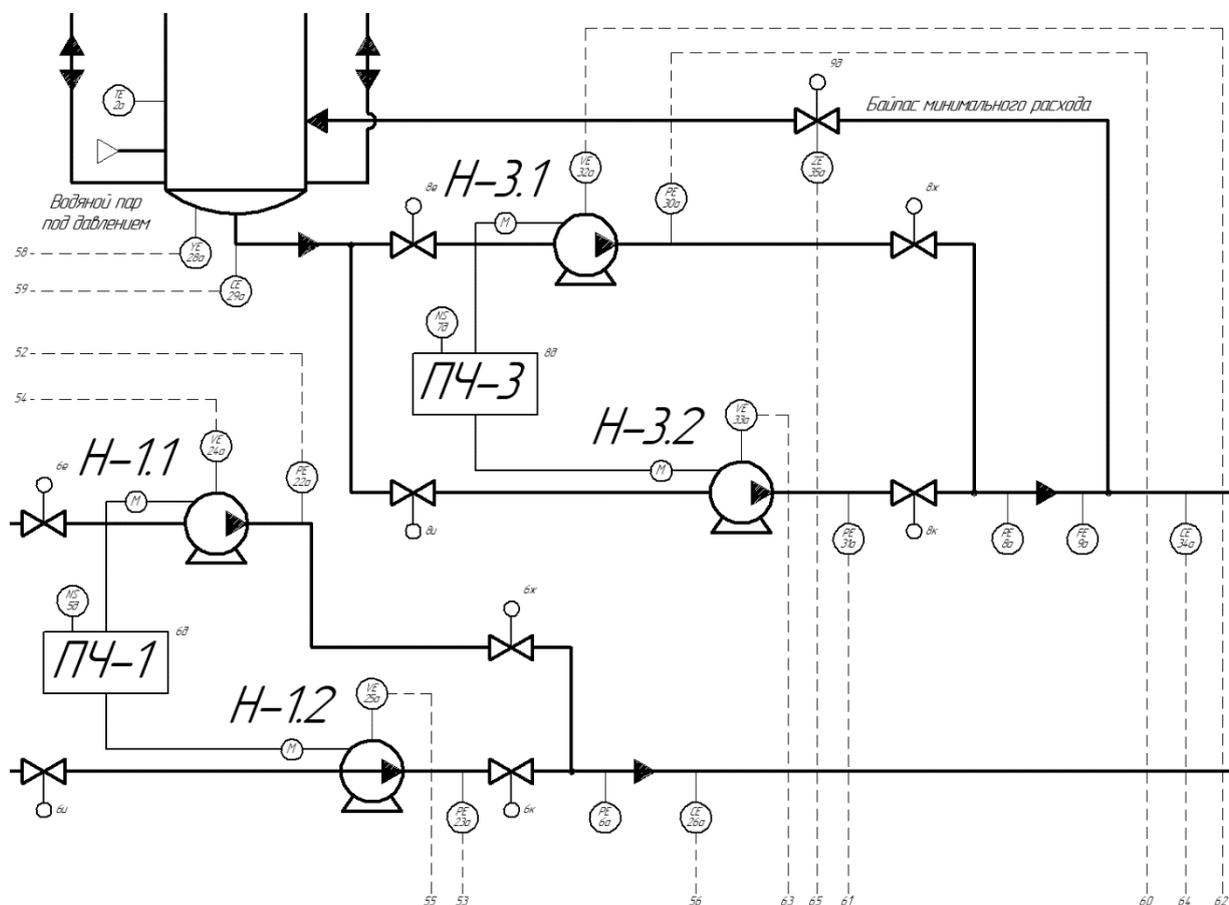


Рис. 1. Функциональная схема автоматизации. Часть 1

Так как представленные ниже 37 контуров составляют вспомогательную часть для основной системы управления, то их задача состоит в том, чтобы увеличить количество получаемой информации от объекта управления, поэтому, соответственно, исполнительные механизмы в них отсутствуют. Данные контуры построены на базовых технологиях промышленного интернета вещей (IIoT): беспроводная передача данных, использование самоорганизующихся сетей (mesh-сети), частичная локальная обработка данных и использование облачных технологий. В этой части системы управления также осуществляется получение информации датчиками и передача её через местные системы на шлюзы, передающие данные далее на станции операторов и в основную систему управления.

Контуры 22 – 23, 36 – 37 и 30 – 31, 45 – 46 осуществляют контроль за значением давления на нагнетающих трубопроводах насосов Н-1.1, Н-1.2, Н-2.1, Н-2.2 и насосов Н-3.1, Н-3.2 и Н-4.1, Н-4.2 соответственно. На полевом уровне каждый из контуров состоит из расположенного сразу после насосов одного датчика давления (22а – 23а, 36а – 37а и 30а – 31а, 45а – 46а).

Контроль за вибрацией осуществляют контуры: на насосах Н-1.1, Н-1.2, Н-2.1, Н-2.2, насосах Н-3.1, Н-3.2, Н-4.1, Н-4.2 и в трубах ребойлера 24 – 25, 38 – 39 и 32 – 33, 47 – 48, 51 и 54 соответственно. Каждый из данных контуров состоит из одного установленного непосредственно на корпус насоса датчика вибрации (24а – 25а, 38а – 39а и 32а – 33а и 47а – 48а) или установленного непосредственно на корпус теплообменного аппарата датчика вибрации (52а и 55а).

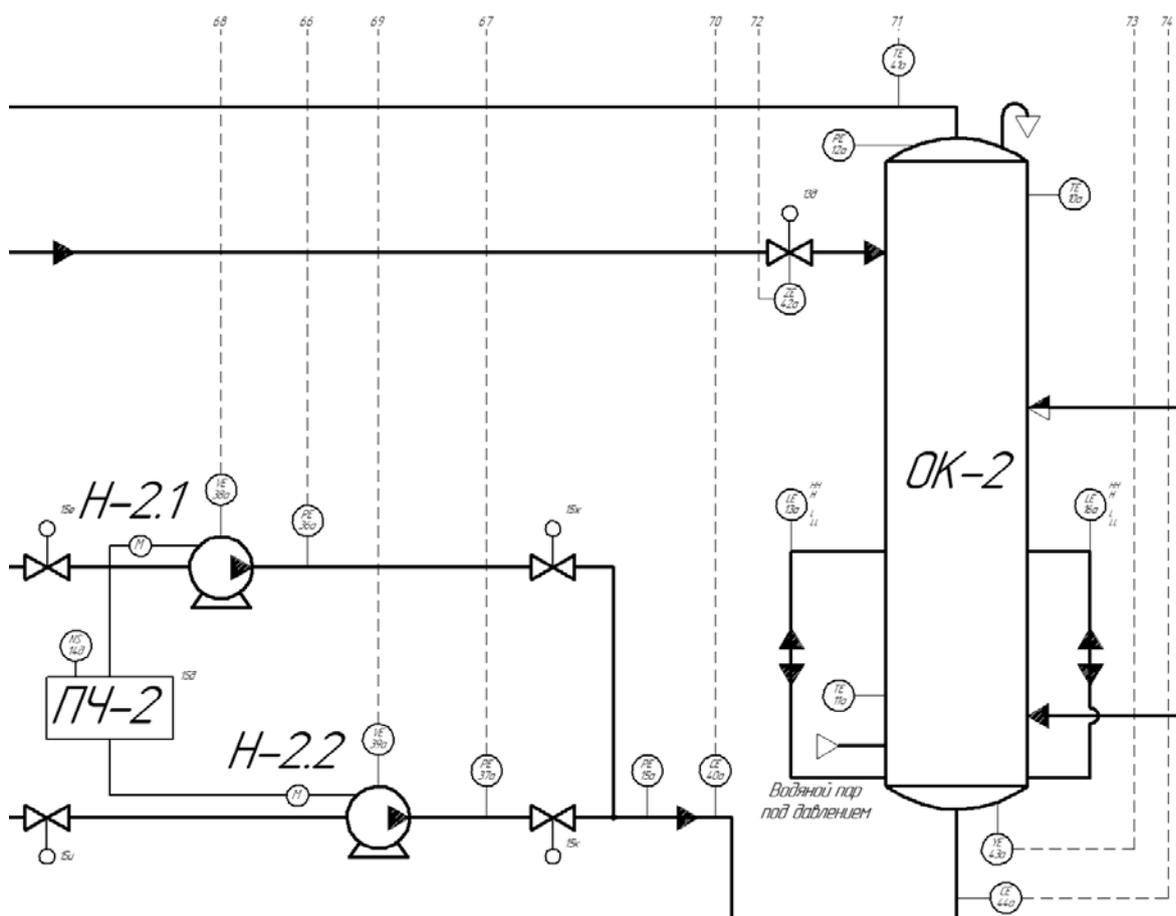


Рис. 2. Функциональная схема автоматизации. Часть 2

Контуры 26 и 34, 29 и 44, 40 и 49, 51 и 54 предназначены для мониторинга толщины стенки трубопроводов с целью выявления следов коррозии и эрозии на металле в местах измерения. Ультразвуковые датчики мониторинга толщины стенки (26а и 34а, 40а и 49а) расположены: в местах на нагнетающих трубопроводах после групп насосов Н-1 и Н-2, Н-3 и Н-4, на сливных трубопроводах в нижней части отпарных колонн ОК-1 и ОК-2 (29а и 44а), а также в на трубопроводе от ребойлера к отпарной колонне ОК-2 (51а и 54а).

| | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 |
|------------------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Приборы по месту | PI 220 | PI 230 | VI 240 | VI 250 | CI 260 | ZI 270 | YI 280 | CI 290 | PI 300 | PI 310 | VI 320 | VI 330 | CI 340 | ZI 350 | PI 360 | PI 370 | VI 380 | VI 390 | CI 400 |
| Местные системы | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| АРМ / НМИ | PIR 220 | PIR 230 | VIR 240 | VIR 250 | OR 260 | ZR 270 | YR 280 | LIR 290 | PIR 300 | PIR 310 | VIR 320 | VIR 330 | OR 340 | ZR 350 | PIR 360 | PIR 370 | VIR 380 | VIR 390 | LIR 400 |

Рис. 3. Функциональная схема автоматизации. Часть 3

При помощи контуров 27 и 42, 35 и 50, 57 и 58 обеспечивается точное определение текущего положения трубопроводной запорной арматуры, особенно такой как регулируемые клапаны. Оба контура состоят из датчика положения (27а и 42а, 35а и 50а), установленного на соответствующих мембранных клапанах, которые: регулируют заполнение отпарной колонны ОК-1 и ОК-2, контролируют соблюдение минимального расхода насосами группы Н-3 и Н-4, а также контролируют соблюдение минимального расхода в ребойлере, и клапана распределения потока на теплообменный аппарат соответственно. Так как вал потенциометра данных сенсоров механически соединен с приводом для считывания механического движения, то такие датчики передают точный сигнал обратной связи по положению в процентах от диапазона и индикацией "открыт/закрыт".

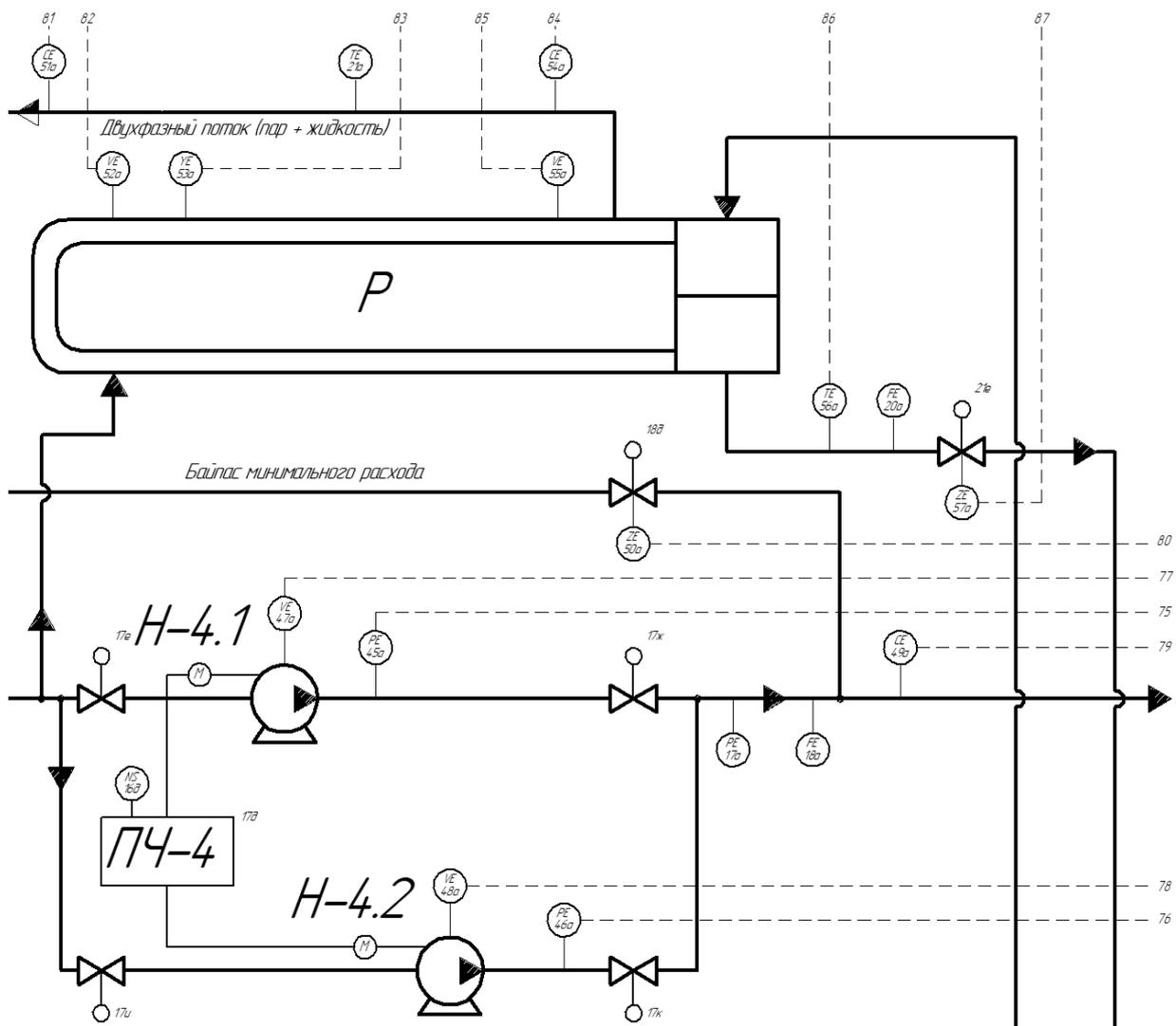


Рис. 4. Функциональная схема автоматизации. Часть 4

В контурах 28, 43 и 53 реализуется обнаружение присутствия персонала в потенциально опасных для человека местах, но в которых необходимо находиться специалистам для осмотра или обслуживания частей объекта управления. Данные контуры представлены в виде беспроводных сенсоров присутствия (28а, 43а и 53а), установленных непосредственно под местами обслуживания отпарных колонн ОК-1 и ОК-2 и в месте рядом с люком обслуживания ребойлера и активирующихся при нахождении в их радиусе действия объекта с передающим определённый сигнал устройством.

Сорок первый и 56 контуры организуют ведение дополнительного контроля за температурой для мониторинга общего протекания процесса и соответствия показаний норме с целью повышения качества итогового продукта. На полевом уровне контур представлен одним датчиком температуры 41а и 56а.

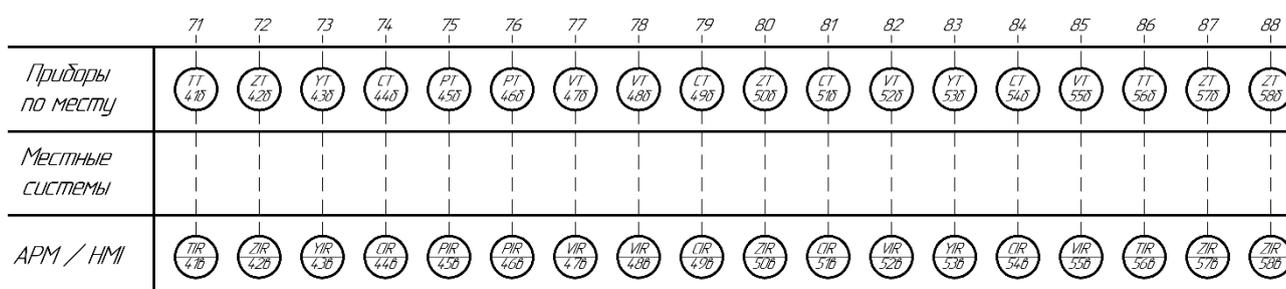


Рис. 5. Функциональная схема автоматизации. Часть 5

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе был представлен один из способов внедрения технологий промышленного Интернета вещей на объекте нефтепереработки без архитектурных изменений уже существующей системы автоматизированного управления, при котором также открываются большие возможности для дальнейшего подключения в систему и других современных промышленных технологий ПоТ. Предложенная система не нарушает условия аппаратной и программной совместимости реализованных модулей системы и их корректную работу, а также не противоречит существующим промышленным стандартам. с целью достижения большей эффективности работы разработанной системы управления в целом.

Для проведения теоретического исследования была разработана функциональная схема автоматизации объекта нефтепереработки, которая включает в себя как основную систему управления, так и предложенную реализацию вспомогательной системы, построенной на базе технологии ПоТ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ:

1. Шестаков Н. В., Мишин С. П. Повышение эффективности промышленных предприятий России за счёт передовых решений в автоматизации // Автоматизация в промышленности. — № 3, 2016. С. 3–5. URL: <https://www.emerson.com/documents/automation/autoprom-all-en-454808.pdf> (дата обращения: 10.04.2020).
2. Schneider Electric рассказал о новом комплексном подходе к сервису на предприятиях: сайт. – Москва. – URL: <https://avtprom.ru/news/2012/10/17/schneider-electric-rassk> (дата обращения: 10.04.2020).
3. Hugh B., Hallaq B., Cunningham J., Watson T. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework // *Computers in Industry*. — 101: 1–12. doi:10.1016/j.compind.2018.04.015. ISSN 0166-3615. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361517307285> (дата обращения: 11.04.2020).
4. ПРИКАЗ от 29 марта 2019 года N 113. Об утверждении Концепции построения и развития узкополосных беспроводных сетей связи "Интернета вещей" на территории Российской Федерации. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации: сайт. – Москва. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/554066760> (дата обращения: 12.04.2020).

К ВОПРОСУ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА В НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ

В. В. Мельникова¹, В. В. Клевакин¹

¹ Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. Целью данной статьи является изучение метрологического обеспечения составляющих материального баланса в нефтеперерабатывающей отрасли. Ставится задача исследования влияния погрешностей средств измерений на составление материального баланса, а также изучение приведения измеряемых давлений и объёмных расходов к массовым. В качестве иллюстративного примера выбрана установка каталитического крекинга, для которой составлен материальный баланс на основании технологического описания работы установки за одни сутки. Выявлено расхождение в балансе и приведено его возможное обоснование.

Ключевые слова. Метрология, погрешность, материальный баланс, нефтепереработка.

I. ВВЕДЕНИЕ

Измерительные каналы систем автоматизации могут включать в себя несколько средств измерений различных типов, например, датчики, измерительные преобразователи, модули аналогового и частотного ввода и вывода. Погрешность такой системы желательно определять экспериментальным путем, однако это не всегда возможно или целесообразно. В условиях нефтепереработки погрешность измерений играет значимую роль, поскольку небольшие отклонения показателя могут изменить как скорость реакции, так и качество выходных продуктов реакции. При подсчёте экономических затрат для сведения материального баланса точность показаний является необходимым слагаемым, дающим наиболее верное представление о реальной картине протекания химических реакций, а значит, качестве и количестве выходных продуктов и полупродуктов, энергозатрат и потерь. Поэтому метрологическое обеспечение составляющих материального баланса подлежит строгому контролю.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Метрологическое обеспечение (МО) технологического комплекса представляет собой учёт погрешностей измерительных приборов. Иными словами, метрологическое обеспечение даёт оценку достоверности информации, получаемой с приборов, что наиболее значимо при поиске методов повышения точности путём исключения звеньев, вносящих погрешность в систему. Помимо погрешностей, к метрологическому обеспечению относится преобразование величин. Примером тому является преобразование объёмного расхода в массовый, если эта функция не заложена в само СИ. Изучение МО компонентов системы измерения, влияющих на материальный баланс в нефтепереработке и иллюстративный пример использования МО на установке каталитического крекинга будет являться задачей данной работы.

III. ТЕОРИЯ

Материальный баланс (МБ) – соотношение между количеством исходного сырья, материалов, полупродуктов, выраженных в единицах массы и использованных в производстве, и количеством фактически полученной готовой продукции, побочных продуктов, отходов, отбросов и потерь [1]. Расчёт МБ основывается на массовых расходах, данные для его составления передаются с расходомеров, датчиков давления и температуры. Согласно ГОСТ 8.586.1-2005 [2] измерения расходов может производиться двумя типами средств измерений: с помощью сужающих устройств или приборов измерения объёма. Последние могут обладать функцией счётчика, первые же требуют дополнительной установки преобразователей давления для пересчёта объёмного расхода в массовый.

Для таких случаев в вышеупомянутом стандарте [2] приведены формулы перевода в массовый расход:

- для жидких нефтепродуктов или смесей газов с использованием сужающих устройств:

$$Q_m = 0,000012522 \times Alfa \times d_{20}^2 \times K_0^2 \times K_n \times K_u \times \sqrt{\Delta p} \times \rho$$

- ρ - плотность продукта в рабочих условиях, кг/м³;
- Dp - перепад давления на сужающем устройстве, кгс/м²;
- K_u - поправочный коэффициент на шероховатость трубопровода;
- K_n - поправочный коэффициент на притупление входной кромки диафрагмы;
- K_0 - поправочный коэффициент на расширение материала сужающего устройства;
- d_{20} - расчетный диаметр сужающего устройства, мм;
- $Alfa$ - коэффициент расхода сужающего устройства;
- $Kрасш$ - коэффициент расширения газа.

- для жидких нефтепродуктов с использованием приборов измерения объема продукта, т/ч

Массовый расход продукта Q_m , т/ч, при измерении объемного расхода нефтепродукта и плотности, определяемой с помощью испытаний по ГОСТ Р 51069-97 [3], с последующим приведением результатов измерений объема и плотности нефтепродукта к стандартным условиям, вычисляются по формуле:

$$Q_m = \rho_{15} * q_{15} * 0,001$$

где ρ_{15} - лабораторная плотность продукта, приведенная к 15 °С, кг/м³;

Q_{15} - текущий расход нефтепродукта, приведенный к 15 °С, м³/ч.

При перерасчете показаний приборов в массовый расход используются показания нескольких приборов, каждый прибор обладает своей погрешностью измерений. Погрешности измерений – отклонения результатов измерения от истинного значения измеряемой величины. В документациях на измерительные приборы могут быть указаны следующие виды погрешностей: абсолютная, относительная и приведенная. У каждого из элементов контура управления есть своя абсолютная, относительная или приведенная погрешность. И чтобы оценить общую погрешность измерения, необходимо все m погрешностей привести к одному виду, а дальше посчитать по формуле $\sigma(\delta) = \sum_{i=1}^m \delta_i$ [4].

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате проведенного исследования получена полная и достаточная информация о МО составляющих МБ. В качестве исходных данных для расчета МБ типовой установки каталитического крекинга воспользуемся набором тестовых данных, представленных в таблице 1. Массовый расход каждого продукта за время T определяется по формуле:

$$X_i = \int_{t_0+(i-1)T}^{t_0+iT} x(t)dt, \quad i = 1, 2, \dots$$

где t_0 - начало отсчета; $x(t)$ - мгновенное значение расхода сырья в весовых единицах.

В целях минимизации влияния на процесс управления технологической установкой использовалась тестовая выгрузка данных из системы, приведенная в таблице 1. В таблицу исходных данных добавлены результаты математических операций перевода объемного расхода в массовый. Для упрощения расчетов использовались программные средства Microsoft Office Excel. При переводе расходов были учтены единицы измерения давления. На основе массива данных был составлен МБ (табл. 1). Также в таблице 1 приведены погрешности средств измерений, на основе показаний которых составляется МБ.

ТАБЛИЦА 1
 ДАННЫЕ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА
 И ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

| | Значение, усреднён. за сутки | | | | Массовый расход, т/ч | Накопление, т | Погрешности средства измерения, % | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|-----------------|----------|----------|----------------------|---------------|--------------------------------------|--------------|-----------------|------------------|----------|-------|-----|
| | Расход, м ³ /ч | Температура, °С | Давление | Ед. изм. | | | расхода, м ³ /ч | расхода, кПа | Температуры, °С | Температуры, МПа | давления | | |
| СЫРЬЁ | | | | | | 4541,66 | | | | | | | |
| вакуумн. дист. | 298,69 | 207,37 | 171,23 | кПа | 212,93 | 4110,41 | 0,5 | - | 2 | 0,25 | 0,04 | | |
| бензин нестаб | 0 | - | - | - | 0 | 0 | - | 0,15 | | | | | |
| шлам | 26,98 | 52,21 | 0,46 | МПа | 12,63 | 303,21 | 2,5 | 0,075 | | | 0,15 | | |
| бенз. Низкоокт. | 18,77 | 129,41 | 0,47 | МПа | 5,34 | 128,04 | | | | | 0,075 | | |
| жидкое топливо в П-201 | 0 | - | - | - | 0 | 0 | | | | | 0,5 | 0,075 | |
| топливный газ | 0 | - | - | - | 0 | 0 | 1 | - | | | 0,075 | | |
| катализатор | 0 | - | - | - | 0 | 0 | | | | | | | |
| ПРОДУКТЫ | | | | | | 4198,53 | | | | | | | |
| лёг. кат. газойль | 210,43 | 54,63 | 198,36 | кПа | 30,13 | 3223,17 | 1 | - | 2 | 0,25 | 0,075 | | |
| тяж. кат. газойль | 22,01 | 95,74 | 220,04 | кПа | 12,63 | 503,21 | 2,5 | 0,075 | | | | | |
| шлам с уст. | 36,98 | 54,63 | 0,47 | МПа | 8,17 | 472,15 | 1 | - | | | | | |
| ПОТЕРИ | | | | | | 386,76 | | | | | | | |
| Кокс на топливо | 259,13 Гкал/ч | - | - | - | - | 386,76 | | | | | | | |
| ЭНЕРГОРЕСУРСЫ | | | | | | 386,08 | | | | | | | |
| пар в захватное устр-во | 3012,06 | 176,3 | 0,65 | МПа | 3,69 | 88,54 | 2,5 | 0,075 | 2 | 0,25 | 0,2 | | |
| пар на сырьевые форсунки | 0 | - | - | - | 0 | 0 | | | | | | | |
| пар на шл.форс. | 0 | - | - | - | 0 | 0 | | | | | | | |
| пар в барботер 1 | 2997,31 | 176,3 | 0,43 | МПа | 3,07 | 73,56 | | | | | | | |
| пар в барботер 2 | 599,71 | 176,3 | 0,44 | МПа | 0,58 | 13,85 | | | | | | | |
| пар в барботер 3 | 421,5 | 176,3 | 0,44 | МПа | 0,43 | 10,26 | | | | | | | |
| пар в купол | 317,2 | 176,3 | 0,39 | МПа | 0,37 | 8,88 | | | | | | | |
| газ на продувку | 0 | - | - | - | 0 | 0 | | | | | | 0,1 | |
| пар в К202 | 1202,72 | 187,1 | 0,32 | МПа | 0,82 | 19,79 | | | | | | 0,2 | |
| воздух 1 | 12571 | 25,6 | 0,17 | МПа | 4,73 | 113,59 | | | | | | 0,25 | 0,5 |
| воздух 2 | 7660 | 25,3 | 0,17 | МПа | 2,4 | 57,61 | | | | | | | |

МБ рассчитанный на основе данных из таблицы 1:

$$4541,66 + 88,54 + 0 + 0 + 73,56 + 13,85 + 10,26 + 8,88 + 19,79$$

$$= 4198,53 + 386,76 + 0 + 0 + 113,59 + 57,61$$

$$4756,54 = 4756,18 \text{ т}$$

Отклонение составляет: $4756,54 - 4756,18 = 0,04 \text{ т}$.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Из таблицы 1 видно, что наибольшая погрешность присутствует при измерении расходов энергоресурсов, что обосновывается избыточностью таких ресурсов, как воздух, пар и газ на продувку импульсных линий (поскольку газ поступает из отдельной линии обслуживания КИПиА).

Избыточность является ключевым фактором при выборе средств измерений и контроля ресурсов, однако немаловажную роль играет себестоимость, которая ниже себестоимости нефтепродуктов в разы. Поэтому при измерении расхода энергоресурсов используются диафрагмы, погрешность которых в ряде случаев при малых расходах достигает 9% (что было установлено эмпирическим путём на участке метрологического обслуживания), также накладывается погрешность округления результатов с помощью формул (погрешность методики измерения, в данной статье не рассматривалась), погрешность преобразователей давления. Такая погрешность и образует неточности при сборе данных для составления материального баланса, представленных в таблице 1. Отклонение составило 40 кг за сутки, то есть погрешность измерения составила 1,05%. Такая погрешность является существенной и требует дальнейшего изучения для нахождения возможных путей её устранения.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведёно исследование влияния МО на расчёт МБ процессов нефтепереработки на примере установки каталитического крекинга. При обработке выгрузки данных за одни сутки расхождение в балансе составило 1,05%, что является неудовлетворительным результатом и требует внедрения более точных средств измерений, например замены СУ на расходомеры. Также целесообразно рекомендовать рассмотреть вариант расположения термопар (дающих большую погрешность) по периметру измеряемой среды в реакторе и регенераторе с дальнейшей разработкой прикладной программы, которая позволит повысить точность на основе исключения случайных ошибок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергеев А. Г., Терегеря В. В. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для бакалавров // М.: ИД Юрайт. – 2013. – Т. 838.
2. ГОСТ 8.586.1-2005. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. – 2005.
3. ГОСТ Р. 51069-97. Нефть и нефтепродукты //Метод определения плотности, относительной плотности и плотности в градусах API ареометром. – 1997.
4. Абдулмежидова З. А. Научные и проектные работы по созданию промышленных процессов каталитического крекинга : дис. – Уфа : дис. канд. техн. наук, 2007.

РАЗРАБОТКА ДЕМОНСТРАЦИОННОГО МАКЕТА МНОГОСВЯЗНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МНОГОПОТОЧНОЙ ПЕЧИ

К. С. Теслов

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. Статья содержит описание разработанных математических моделей объекта управления (многопоточной печи нефтеперерабатывающей установки), MATLAB-приложения, демонстрирующего процесс симуляции, а также многосвязной системы автоматического регулирования. Приведены структурные схемы модели системы управления многопоточной печью.

Представлено описание созданного программного комплекса на базе интерактивной среды для научных и инженерных расчетов MATLAB с пакетами расширения Simulink и AppDesigner, содержащего средства моделирования процессов выбранного объекта в условиях действующих на объект возмущений, а также позволяющего выполнить визуализацию полученных результатов и построение графиков временных характеристик.

Ключевые слова. Многосвязное регулирование, теория автоматического управления, многосвязные технологические объекты, демонстрационный макет, инвариантные системы, сложные системы.

I. ВВЕДЕНИЕ

Большинство объектов нефтепереработки с точки зрения управления являются сложными, многосвязными объектами, в которых наблюдаются взаимные зависимости, например, между двумя управляемыми параметрами.

На основании многочисленных исследований качества работы систем автоматического регулирования (САР) [1], одной из основных причин некорректной настройки регуляторов САР является обстоятельство, что большинство САР функционируют в составе сложных структур систем регулирования с перекрёстными связями в объекте управления. Эти контуры взаимодействуют друг с другом, и настройки каждого контура существенно зависят от характеристик смежных контуров и настроек регуляторов.

Отсутствие учета взаимного влияния приводит к снижению качества регулирования, необходимости регулярного вмешательства в управление со стороны технического персонала.

Построение многосвязных систем автоматического регулирования, учитывающих взаимное влияние переменных объекта управления, позволит повысить качество управления, безопасность ведения процесса, эффективность производства в целом.

В рамках разработки предполагается выработка решений по синтезу многосвязных систем, для создания демонстрационного макета системы многосвязного регулирования.

Настоящая статья содержит описание разработанного макета с внедрёнными моделями процесса и объекта управления, программу тестирования макета и результаты тестирования.

Цель настоящей работы – разработка демонстрационного макета многосвязной системы регулирования многопоточной печи нефтеперерабатывающей установки.

На основании результатов исследования формируется вывод, включающий в себя информацию о подтверждении/опровержении гипотез о возможности и эффективности применения алгоритмов многосвязных систем регулирования (МСР) в задачах оптимизации управления типовым технологическим объектом (на примере многопоточной печи)

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Демонстрационный макет разрабатывается с целью наглядного представления алгоритма работы многосвязной системы автоматического регулирования для типового технологического объекта – многопоточной печи; проведения тестирования разработанных моделей путём постановки перед ними задач управления; подтверждения гипотезы о положительном влиянии разработанной МСР-системы на процесс управления сложным объектом.

В рамках разработки демонстрационного макета решаются следующие задачи:

1. Разработка элементов операторского интерфейса (с функционалом, позволяющим изменять режимы работы объекта и систем управления).
2. Интеграция моделей объекта управления и МСР в среду демонстрационного макета.
3. Разработка программы тестирования макета.

III. ТЕОРИЯ

Многосвязными называются такие системы автоматического регулирования, в которых осуществляется одновременное управление несколькими взаимосвязанными переменными. При этом все входные переменные оказывают существенное влияние на состояние всего объекта, и их взаимодействие проявляется во всех выходных параметрах объекта.

В качестве объекта управления в рамках разработки макета выбирается многопоточная печь. Многопоточная печь служит для нагрева сырья перед подачей на следующую технологическую ступень. Нагрев сырья в змеевиках печи происходит в результате сжигания в печи топлива в смеси с воздухом. Сырьё поступает в печь по четырём потокам, после чего на выходе потоки объединяются в один. Обычно управление печью осуществляется за счет одного основного параметра – суммарной температуры на выходе из печи. При этом получение тепловой энергии каждым из змеевиков печи осуществляется неравномерно и определяется внутренней конструкцией печи, а также другими возмущающими факторами, определить влияние которых посредством прямых измерений затруднительно.

Схематичное изображение многопоточной печи приведено на рис. 1.

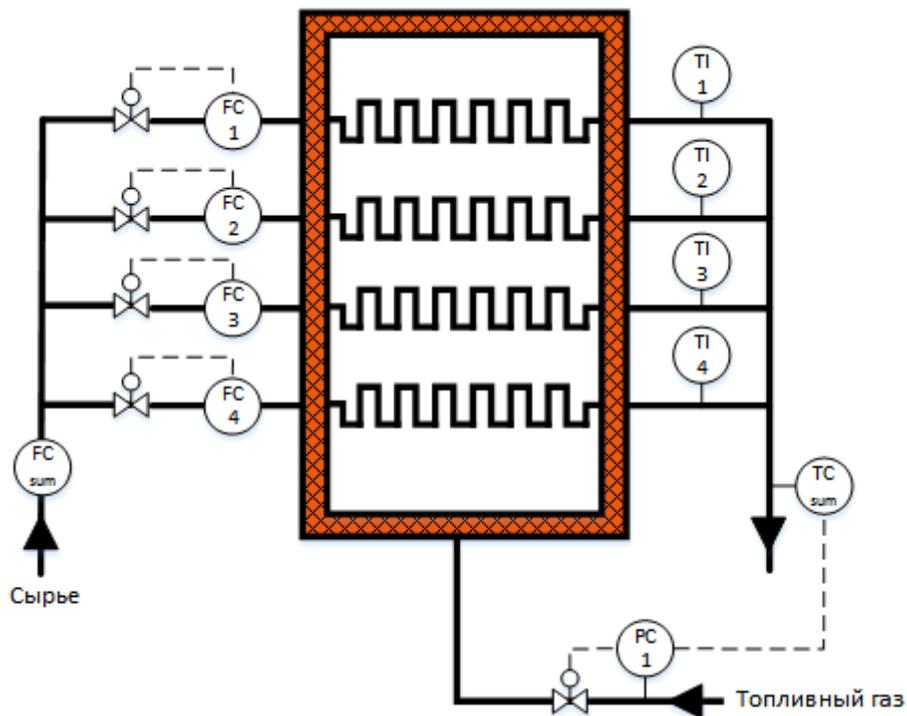


Рис. 1. Схематичное изображение многопоточной печи

Система многосвязного регулирования потенциально может значительно повысить качество управления технологическими процессами. В первую очередь это достигается за счёт учёта взаимных влияний между регулируемыми и регулирующими параметрами объекта. МСР предполагает разработку оптимальной структуры системы управления, обеспечивающей решение оптимизационных задач (например, управление расходом на выходе из печи с учётом минимизации разности температур по змеевикам печи). Кроме того, создание многосвязной системы может повысить качество базовой системы регулирования за счёт компенсации взаимных влияний и «развязывания» контуров управления (реализация принципа инвариантности).

Таким образом, для системы многосвязного регулирования многопоточной печи можно сформулировать следующие задачи управления:

1. Управление печью по двум параметрам: общий расход через печь и суммарная температура на выходе из печи;
2. Автоматическое выравнивание температур потоков печи (минимизация разности между температурами потоков);
3. Обеспечение устойчивости решения: исключение/добавление одного или более потоков из/в управление не должно нарушать работоспособность системы.

Для разработки демонстрационного макета была получена математическая модель объекта. Для разработки модели объекта управления были использованы результаты идентификации связей между входными потоками печи (расходы сырья) и разностью между суммарной выходной температурой и температурами по потокам печи. В качестве типа модели была выбрана модель на передаточных функциях. Входными переменными модели являются: расход нефти в каждый змеевик печи (FC1 ÷ FC4) и температура суммарного потока на выходе из печи (Tsum).

Выходными переменными являются: температура нефти по каждому потоку на выходе из печи (T1 ÷ T4).

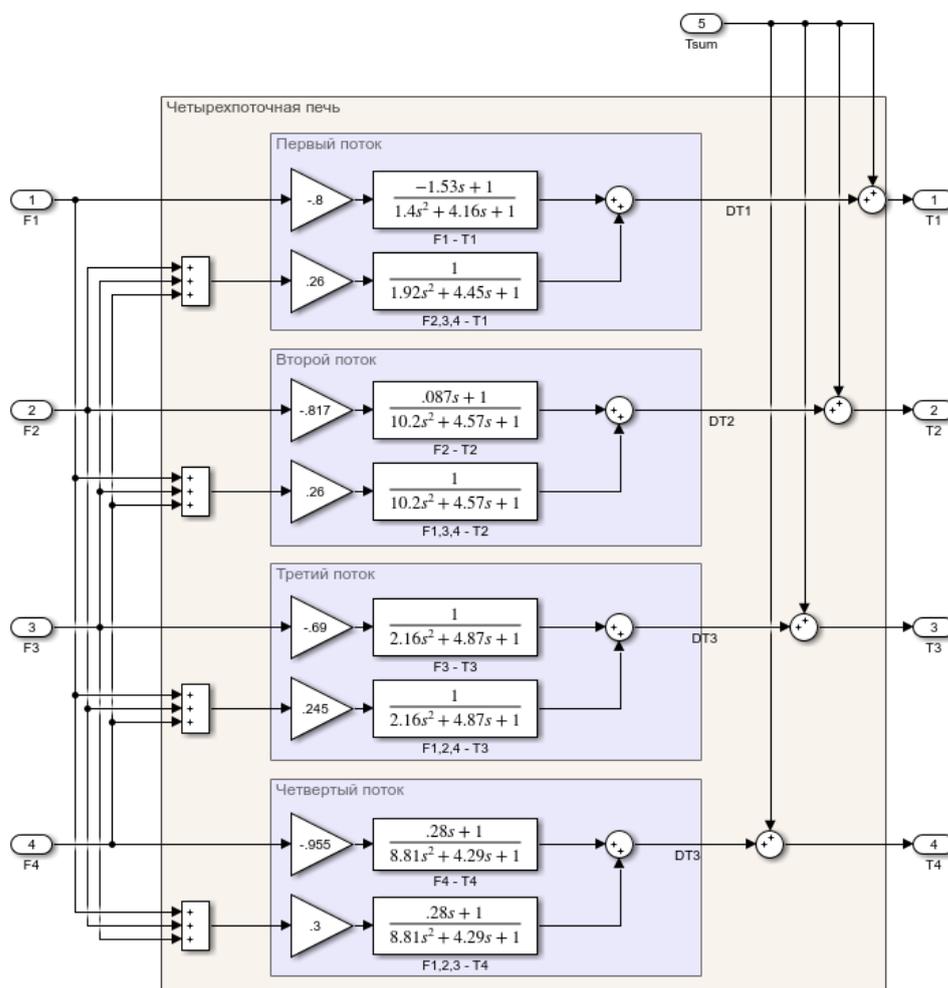


Рис. 2. Математическая модель многопоточной печи в среде Simulink

В проектируемой системе необходимо осуществить супервизорное управление потоками заданием уставки для каждого из потоков печи $F_{sp1} - F_{sp4}$. Сформированные уставки будут использоваться существующими в системе ПИД-контурами, обеспечивающими управление потоками печи $F_1 - F_4$. В качестве выходных параметров объекта используются разности (отклонения) температур между температурой общего потока T_{sum} и температурами потоков каждого из змеевиков печи $T_1 - T_4$, обозначенные $DT_1 - DT_4$.

Рис. 3. Схема существующей системы регулирования многопоточной печи

Структурная схема управления МСР приведена на рис. 4. Система супервизорного управления выполнена на основе каскадного ПИ-регулирования. В составе математической модели МСР подсистема control object реализует модель объекта регулирования – 4-х поточной печи, описанную в п.4.2. Заданное значение $F_{sp\Sigma}$ формируется, как сумма заданий для каждого потока, т.е. уставок, вводимых оператором.

При проектировании системы управления принималось во внимание, что контур управления суммарным потоком печи, функционирующий на основе отклонения суммарного потока F_Σ от заданного значения $F_{sp\Sigma}$, является более быстродействующим по сравнению с контурами регулирования отклонений температур потоков. В соответствии с этим выбирались параметры настройки ПИ-регуляторов, таким образом, чтобы развязать во времени работу контуров регулирования суммарного потока печи и отклонений температур потоков.

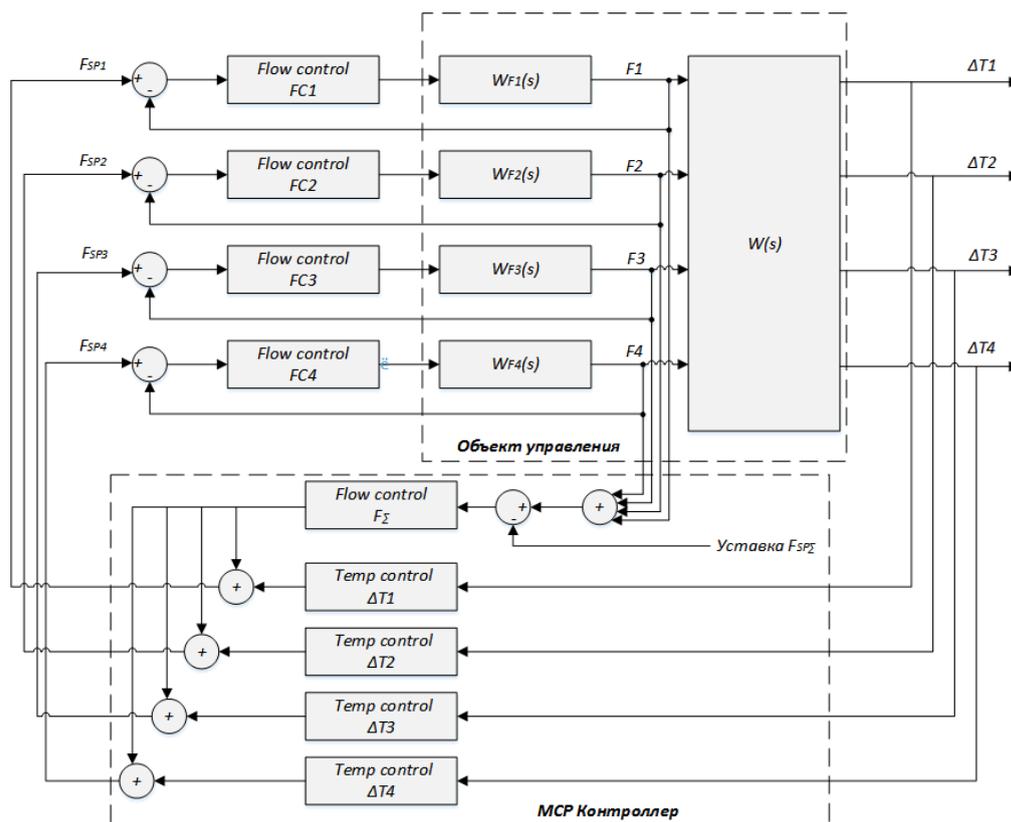


Рис. 4. Структурная схема многосвязной системы регулирования

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Демонстрационный макет выполнен в виде MATLAB-приложения при помощи пакета расширения AppDesigner. Графический интерфейс макета представлен на рис. 5.

Демонстрационный макет программно объединяет в себе следующие составляющие (блоки):

1. Блок симуляции;

Задача блока – обеспечение функционирования макета МСР многопоточной печи.

Блок решает следующие задачи:

- задание режимов симуляции (скорость симуляции) макета;
- симуляция и настройка возмущений по входным параметрам модели (по температуре и расходу);
- симуляция и настройка шума измерений для параметров модели (раздельно по каждому змеевику).

2. Блок моделей;

Задача блока – задание структуры моделей МСР многопоточной печи.

Блок состоит из структурных файлов моделей процесса и системы управления, реализованных средствами Simulink.

Блок содержит следующие разработанные модели:

- модель процесса (многопоточная сырьевая печь)
- модель системы многосвязного регулирования на базе структуры из ПИ-регуляторов

3. Блок визуализации и управления.

Задача блока – управление симуляцией объекта регулирования. Выполняет моделирование и визуализацию технологического процесса на основе разработанных моделей объекта и системы управления. Имеет в своем составе органы управления процессом симуляции: окна для смены уставок управления (задание уставки по суммарному расходу/суммарной температуре); кнопки отключения потоков (изменение динамических параметров объекта регулирования). Блок программно реализован средствами среды программирования MATLAB.

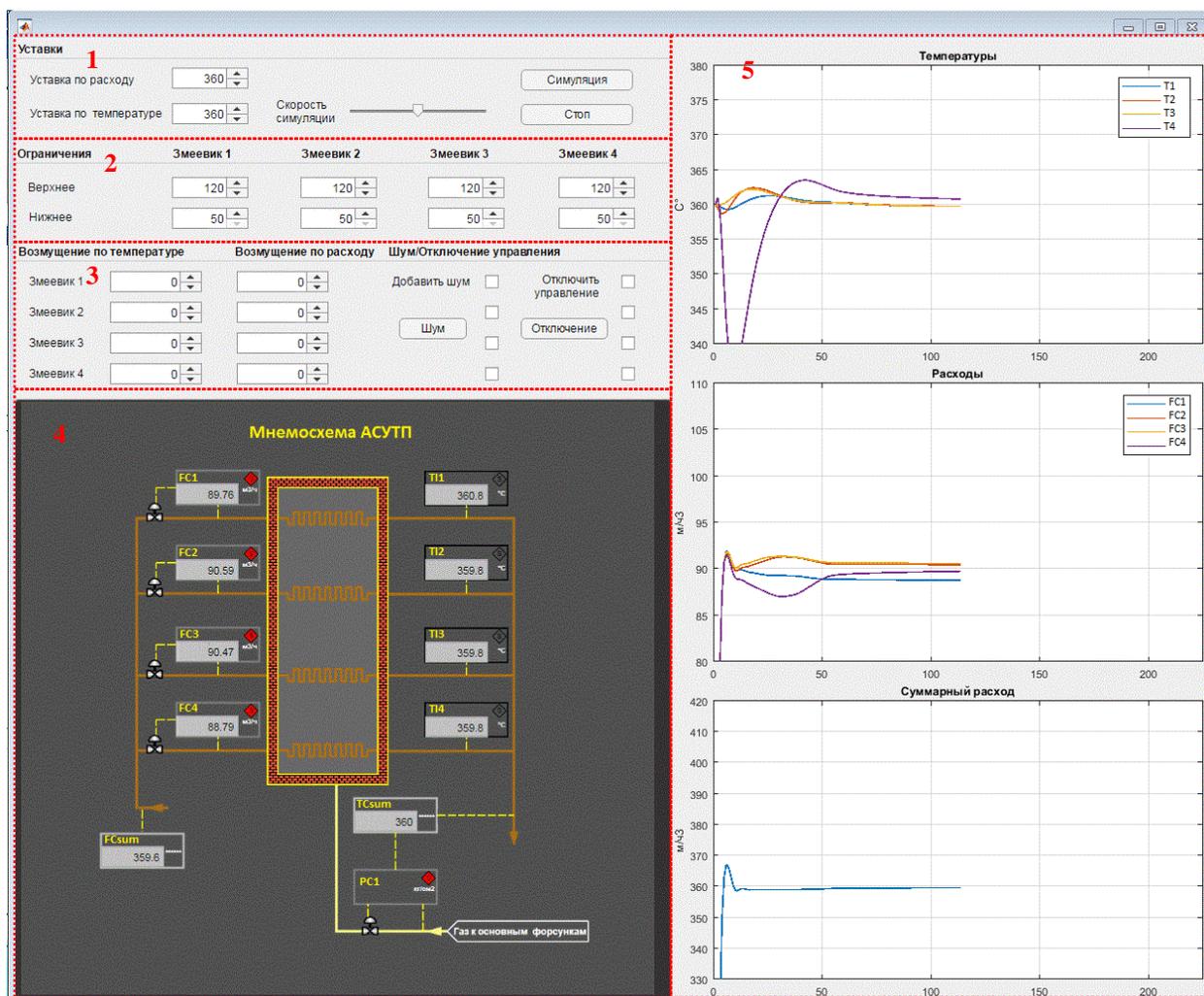


Рис. 5. Внешний вид графического интерфейса макета МСР многопоточной печи:

- 1 – область управления (задание уставок);
- 2 – область ограничений;
- 3 – область управления возмущениями и структурой схемы регулирования;
- 4 – область визуализации (элемент мнемосхемы АСУТП с данными моделирования);
- 5 – область построения трендов

В области визуализации отображается предполагаемая мнемосхема АСУТП с основными показателями многопоточной печи: расходы в каждый змеевик (FC1 ÷ FC4), задание на суммарный расход (FCsum), температуры по каждому змеевику (T1 ÷ T4) и суммарная температура (TCsum), значение каждого параметра в процессе симуляции обновляется.

В области построения трендов отображаются графики температур, расходов по каждому змеевику и суммарного расхода.

Область управления визуально разделена на блоки:

1. Уставки – содержит окна, для задания уставок по расходу и температуре. Данный блок также содержит: элемент выбора скорости симуляции, кнопки пуска/останова симуляции.

2. Ограничения – содержит окна, задающие верхние/нижние ограничения по расходу на каждый змеевик. «Нижнее ограничение», «Верхнее ограничение» – ограничения для рассчитанных уставок МСР. При выходе уставки МСР за установленные ограничения, регулирование приостанавливается, уставка МСР приравнивается к достигнутому ограничению. Величина ограничений выбирается вручную.

3. Возмущения по температуре – содержит окна, задающие возмущения на температуру по каждому змеевику;

4. Возмущения по расходу – содержит окна, задающие возмущения на расход по каждому змеевику;

5. Добавить шум/ Отключить управление – содержит выключатели, позволяющие добавить шум измерений к моделируемым параметрам и отключить управление по отдельному потоку – при этом регулирование на остальных змеевиках сохраняется.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате проведения настоящего исследования разработана методология управления многопоточной печью с помощью многосвязной системы автоматического регулирования, позволяющей осуществлять автоматическую стабилизацию выходных параметров объекта, тем самым обеспечивая снижение количества параметров, требующих постоянного контроля со стороны оператора установки.

Проведены выбор и обоснование методов проектирования многосвязной системы автоматического регулирования. Разработаны алгоритмы управления, структурные схемы макета системы управления многопоточной печью.

Для разработанных моделей процесса и управления проведены макетные испытания (с использованием симуляции и исторических данных процесса). Результаты модельного тестирования являются удовлетворительными и позволяют считать разработанные модели адекватными и применимыми для решения поставленных задач.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения исследований разработаны модель объекта регулирования, алгоритм управления, структурные схемы макета системы управления многопоточной печью, демонстрационный макет.

Создан макет системы управления многопоточной печью, основанный на разработанной математической модели объекта управления, представляющий собой комплекс программ на базе интерактивной среды для научных и инженерных расчетов MATLAB с пакетами расширения Simulink и AppDesigner [2,3]. Комплекс содержит средства моделирования МСР, а также позволяет выполнить визуализацию полученных результатов и построение графиков временных характеристик управляемых процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Квакернаак, Х. Линейные оптимальные системы управления [текст] / Х. Квакернаак, Р. Сиван. - М.: Мир, 1997. – 650с.

2. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. М.: Солон-Пресс, 2005. – 576 с.

[1] 3. Дьяконов В.П. MATLAB 7.*/R2006/R2007: Самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 768 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА СНИЖЕНИЕ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

А. С. Иванов, М. С. Пешко

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. Статья посвящена вопросу исследования влияния процессов загрязнения теплообменного оборудования на снижение качества регулирования. Установлено, что в связи с загрязнением и технологическим износом теплообменного оборудования со временем снижается коэффициент теплопередачи и эффективность работы контура регулирования температуры с использованием ПИД-регулятора. Доказано, что существует проблема выбора и разработки систем управления теплообменными аппаратами, поддерживающих в динамике условия оптимального теплообмена.

Ключевые слова. Снижение коэффициента теплопередачи, регулирование температуры, качество регулирования, система автоматического управления, линейная система регулирования.

I. ВВЕДЕНИЕ

Функционирование различных технологических объектов в энергетической, химической, металлургической, нефтегазовой, пищевой и других отраслях промышленности связано с созданием и поддержанием температурного режима, для чего необходимо осуществлять подвод или отвод тепловой энергии от рабочей среды. Эту функцию выполняет теплообменное оборудование. Качество его работы на современном предприятии напрямую влияет на качество выпускаемой продукции, т.к. сложные процессы, протекающие, например, в нефтехимии, требовательны к температурному режиму.

На эффективность функционирования теплообменного оборудования большое влияние оказывают процессы образования накипи и других различных отложений в процессе его работы.

Одним из основных теплоносителей на предприятиях является оборотная вода или перегретый водяной пар. При некачественной водоподготовке на теплообменном оборудовании со временем образуются слои накипи и другие отложения, ведущие к снижению коэффициента теплопередачи. Также в процессе эксплуатации на рабочих поверхностях оборудования образуются отложения нефтепродуктов, которые негативно влияют на термическое сопротивление и порождают появление неравномерных гидравлических сопротивлений в каналах пучков труб [1].

Приблизительно 95% операций с замкнутым контуром в промышленной автоматизации используют ПИД-регуляторы [2]. Они широко используются в промышленности благодаря своей простоте, низкой стоимости и высокой эффективности при управлении линейными системами. Представляет интерес оценка качества регулирования системы автоматического управления объекта с изменяющимися характеристиками с использованием ПИД-регулятора.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для выполнения исследования влияния процессов загрязнения теплообменного оборудования на снижение качества регулирования необходимо оценить качество регулирования одноконтурной замкнутой САР теплообменного аппарата с учетом технологического износа оборудования и выполнить моделирование изменения его характеристик с течением времени. Требуется понять, способны ли регуляторы с линейными законами регулирования обеспечить требуемое качество управления объекта с изменяющимися характеристиками.

III. ТЕОРИЯ

[1] *Обзор контура регулирования температуры*

Упрощенная функциональная схема рассматриваемого контура регулирования температуры представлена на рис. 1.

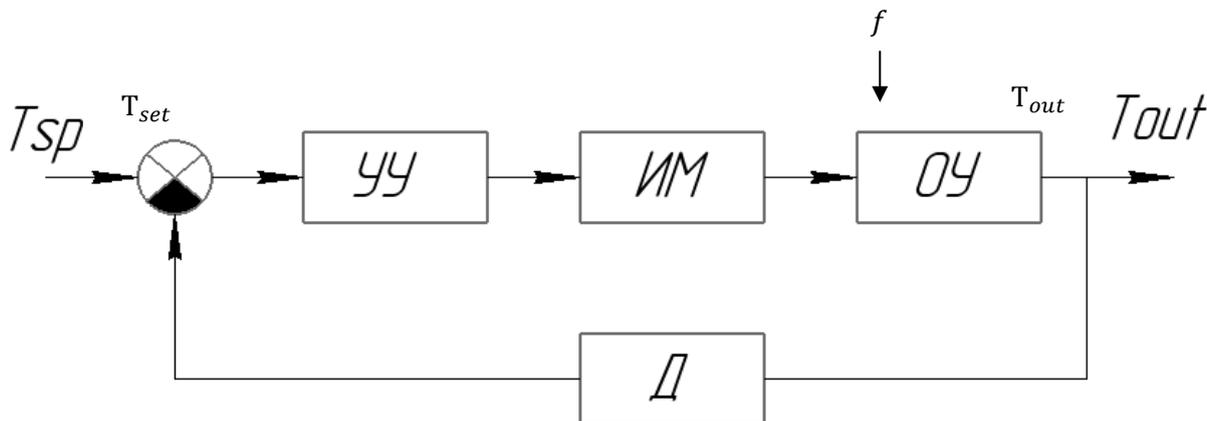


Рис. 1. Упрощенная функциональная схема контура регулирования температуры

Данная схема состоит из следующих элементов:

- устройство управления (УУ) – ПИД-регулятор;
- исполнительный механизм (ИМ) – клапан-регулятор расхода пара на Т-1;
- объект управления (ОУ) – теплообменники Т-3 и Т-1, соединенные последовательно;
- датчик (Д) – термопреобразователь.

В качестве объекта управления исследуем математическую модель каскада кожухотрубчатых теплообменных аппаратов Т-1 и Т-3 установки химводоочистки. Требуется поддержание температуры на выходе Т-1 (T_4) в пределах $20^\circ\text{C} \dots 30^\circ\text{C}$, допустимое колебание $\pm 1^\circ\text{C}$ в час [3]. На показания данного параметра влияет температура свежей воды T_{20} . Максимальный расход воды на установку $250 \text{ м}^3/\text{ч}$. На рис. 2 представлена схема объекта моделирования ОУ. Регулирование температуры на выходе каскада теплообменных аппаратов осуществляется изменением массового расхода пара на Т-1 ($0 \dots 2.7 \text{ кг/с}$).

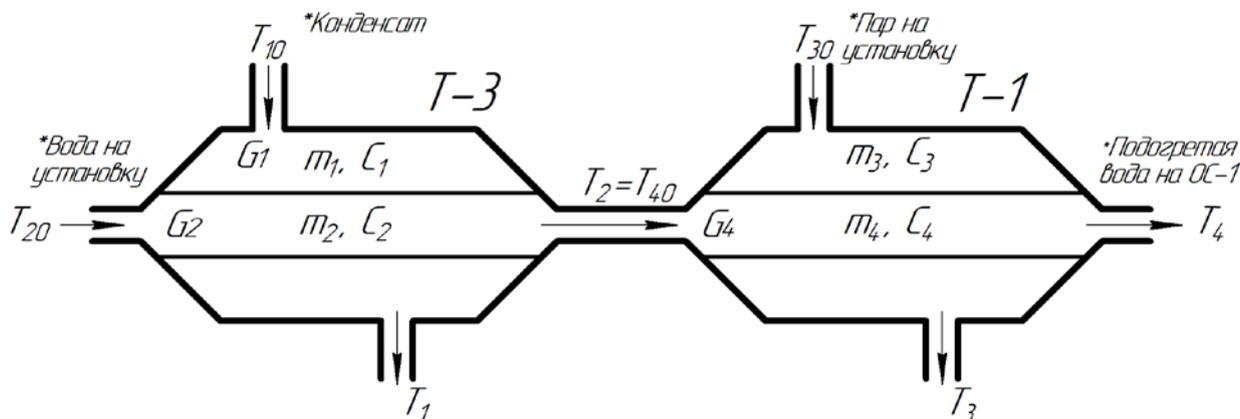


Рис. 2. Схема объекта моделирования

Математические модели теплообменников разработаны на основе закона сохранения энергии в дифференциальной форме.

$$mC \frac{dT}{dt} = \sum Q,$$

где m – масса [кг], C – удельная теплоемкость [кДж/(кг·°C)], T – температура [°C], Q – тепловой поток [кДж].

[2] Изменение коэффициента теплопроводности вследствие технологического износа оборудования

Схема передачи тепла через стенку теплообменного аппарата изображена на рис. 3.

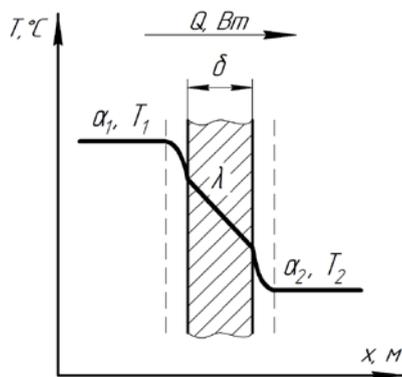


Рис. 3. Передача тепла через стенку

Коэффициент теплопередачи k через однослойную стенку определяется как [4]:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (1)$$

где δ – толщина стенки [м], λ – коэффициент теплопроводности материала стенки [Вт/м·°С], α_1 – коэффициент теплоотдачи от горячего теплоносителя к стенке [Вт/(м²·°С)], α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки к холодному веществу [Вт/(м²·°С)].

В статье «Анализ снижения коэффициента теплопередачи теплообменных аппаратов вследствие загрязнения поверхности» [5] авторов Галковского В.А. и Чуповой М.В. рассмотрена проблема образования слоя накипи на поверхностях теплообменного оборудования, ее последствия и методы борьбы с ней. Установлено, что толщина слоя накипи в 1 мм приводит к снижению коэффициента теплопередачи в 2 раза у кожухотрубчатого теплообменного аппарата, что в свою очередь ведет к отпуску теплоносителя более низких параметров. Описанные выше явления негативно влияют на эффективность работы теплообменного оборудования и снижают качество регулирования.

[3] *Моделирование работы контура регулирования температуры с ПИД регулятором без учета технологического износа*

В программной среде «Matlab Simulink» выполним моделирование контура регулирования температуры с настроенным ПИД-регулятором без учета технологического износа (рис. 4).

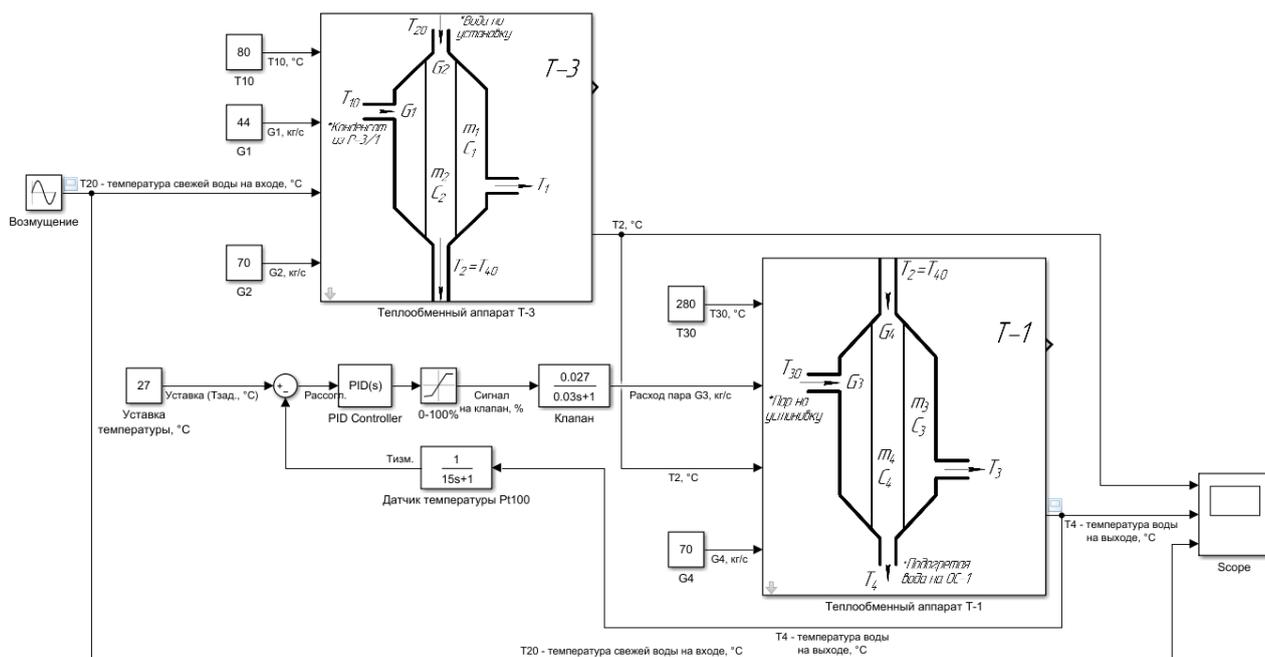


Рис. 4. Схема моделирования работы ОУ

Результаты моделирования представлены на рис. 5.

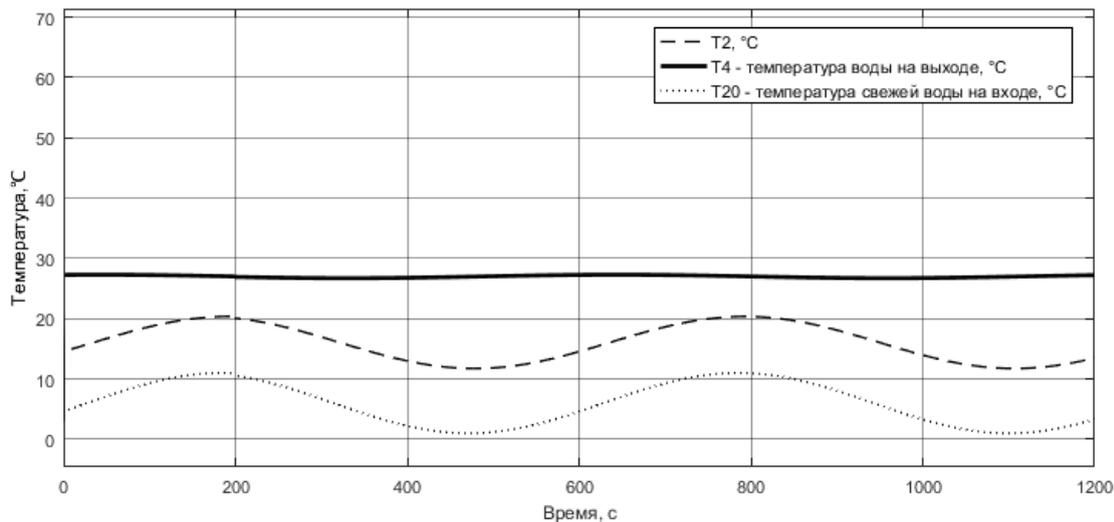


Рис. 5. Результат моделирования работы ОУ

Из результатов моделирования (рис. 5) можно сделать вывод, что система выходит на требуемое значение температуры 27 °С. Согласно технологическому регламенту колебания температуры на выходе не должны превышать ± 1 °С в час. Данное условие выполняется даже при значительных колебаниях температуры воды на входе (1°С ... 11 °С).

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Выполним моделирование работы контура регулирования температуры с ПИД регулятором с учетом технологического износа (2 мм накипи) – снижение коэффициента теплопроводности в 4 раза. Результаты моделирования представлены на рис. 6. На графике наблюдается колебание температуры на выходе в диапазоне 26.6°С ... 27.3°С. Данные колебания удовлетворяют предъявляемым требованиям (не должны превышать ± 1 °С в час)

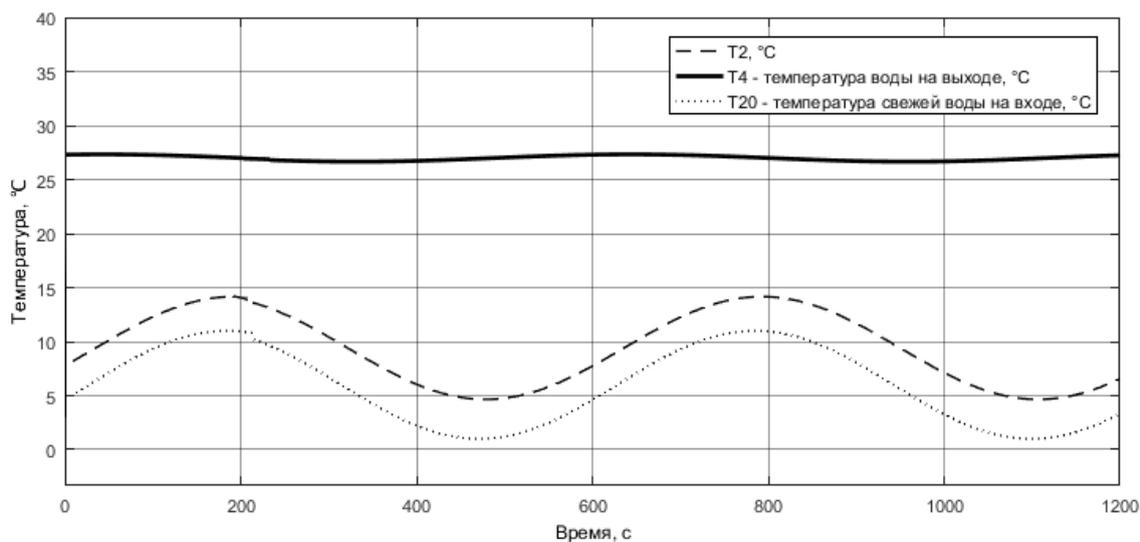


Рис. 6. Результат моделирования работы ОУ с учетом технологического износа

Однако, при моделировании работы системы автоматического регулирования с учетом отложений накипи 3 мм наблюдаются колебания температуры в диапазоне 25.9 ... 29.8°С, что не удовлетворяет требованиям технологического процесса водоподготовки – рис. 7.

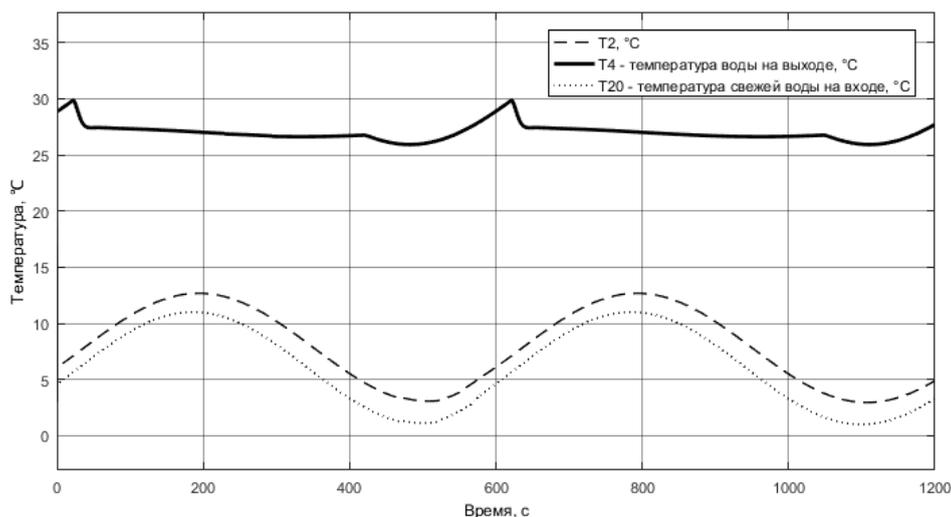


Рис. 7. Результат моделирования работы ОУ с учетом технологического износа

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выполненное моделирование работы контура регулирования температуры с ПИД регулятором с учетом технологического износа показывает, что регуляторы с линейными законами регулирования не способны обеспечить требуемое качество управления объекта с изменяющимися характеристиками. В процессе эксплуатации теплообменных аппаратов происходит образование слоёв накипи и появляются другие отложения, ведущие к снижению коэффициента теплопередачи.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа влияния технологического износа на работу теплообменного оборудования установлено, что в связи с загрязнением и технологическим износом теплообменного оборудования со временем снижается коэффициент теплопередачи и эффективность работы контура регулирования температуры с использованием ПИД-регулятора. В результате изменения характеристик объекта управления существующая линейная система регулирования не может адекватно реагировать на возмущающие воздействия в результате чего снижается качество регулирование и требуется вмешательство человека.

Таким образом можно сделать вывод, что существует проблема выбора и разработки систем управления теплообменными аппаратами, поддерживающих в динамике условия оптимального теплообмена. Недостаточная степень проработки вопроса математического моделирования тепловых процессов связанного с технологическим износом и загрязнением поверхностей оборудования, открытые вопросы моделирования динамического поведения теплообменных аппаратов как объектов управления и изучение систем автоматизации обуславливают актуальность проведения исследований по данной тематике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Изд. 2-е. в 2-х кн.: Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. Москва: Химия, – 1995. – 400 с.
2. Astrom K. J., Hagglund T. Advanced PID control / ISA (The Instrumentation, System, and Automation Society), – 2006. – 460 p.
3. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка: Учебное пособие – Москва: Изд. МГУ, – 1996. – 680 с. ISBN 5-274-01420-8.
4. Бухмиров, В. В. Расчет теплопередачи через непроницаемые стенки [Текст] : Методические указания / В.В. Бухмирова, Т.Е. Созинова, Ю.С. Солнышкова. – Иваново: изд. ИГЭУ, – 2015. – 32 с.
5. Галковский В.А., Чупова М.В. Анализ снижения коэффициента теплопередачи теплообменных аппаратов вследствие загрязнения поверхности: [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №2 (2017) URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN217.pdf> (Дата обращения: 16.11.2019).

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ДЛЯ ПРОЦЕССА СЕРНОКИСЛОТНОГО АЛКИЛИРОВАНИЯ

Е. В. Корнилов, А. А. Новиков, М. С. Пешко.

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. Прогнозирование параметров технологического процесса используется в направлении обеспечения безопасной эксплуатации объектов непрерывного производства. В статье описывается методика мониторинга состояния технического процесса с помощью прогнозирования технологических параметров. В качестве примера рассмотрена установка сернокислотного алкилирования нефтеперерабатывающего завода. Выявлены недостатки авторегрессионного подхода, и предложено возможное улучшение метода путем прогнозирования регрессоров с помощью модели Хольта.

Ключевые слова. Прогнозирование аварийных ситуаций, авторегрессионная модель, двойное экспоненциальное сглаживание, установка сернокислотного алкилирования.

I. ВВЕДЕНИЕ

В задаче прогнозирования опасных состояний технологического процесса должно быть учтено множество аспектов, характеризующих как текущее, так и будущее состояние процесса. Необходимость постоянного анализа изменения параметров в сторону критических значений и прогнозирование возможной аварии закреплена положениями ФНиП "Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств" [1].

Наряду с этим, объекты нефтеперерабатывающего производства также должны быть оснащены системами противоаварийной защиты (ПАЗ), которые являются обязательным компонентом системы управления промышленных установок и предназначены для обеспечения безопасности протекания процесса [2]. Такие системы позволяют выполнить безопасный останов процесса, т.е. избежать аварии, но при этом данная ситуация может привести к значительным экономическим потерям. Мониторинг опасности процесса в реальном времени позволит привести к снижению количества остановов и позволит предотвратить развитие аварийной ситуации, заблаговременно предупредив оперативный персонал.

Встает вопрос, каким же образом можно получить прогноз параметров технологического процесса?

Существует вариант построения точной модели в прикладных пакетах моделирования (HYSYS, DynSIM, UniSim), но имеющиеся решения не подходят для такого применения в виду необходимости выполнять оперативный мониторинг на основании реальных данных. Другим вариантом является построение статистических моделей на основе исторических данных, которые позволяют выполнять анализ тенденции параметров в реальном времени.

В процессе функционирования объекта управления, информация о технологических параметрах записывается через определенные промежутки времени, образуя временные ряды. В дальнейшем временные ряды используются для построения математических моделей прогнозирования параметров технологического процесса. Если значение, предсказанное по модели, выходит за допустимые значения (границы), то лицу, принимающему решение (ЛПР) необходимо воздействовать на протекание техпроцесса для заблаговременного предотвращения аварийной ситуации.

Процесс сернокислотного алкилирования является потенциально опасным производством, поскольку он протекает при высоком избыточном давлении (до 22 кгс/см²), и характеризуется наличием агрессивных сред взаимодействия, которые в случае нарушения технологического процесса, могут привести к образованию взрывоопасных и вредных для окружающей среды смесей.

Таким образом, применение математических моделей на основе временных рядов к прогнозированию параметров, характеризующих состояние технологического процесса сернокислотного алкилирования является наиболее перспективным и актуальным на данный момент.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Прогнозирование параметров технологического процесса в настоящее время выполняется, как правило, с помощью моделей авторегрессии [4], но применение данных моделей имеет ряд ограничений и тонкостей, которые будут рассмотрены далее. Также наиболее частым методом прогнозирования временных рядов является модель двойного экспоненциального сглаживания по методу Хольта. В работе рассматривается сравнение данных моделей и их возможная комбинация для улучшения прогноза.

III. ТЕОРИЯ

В основе авторегрессионных моделей лежит гипотеза о том, что значение процесса линейно зависит от некоторого количества предыдущих значений того же процесса [4]. Модель ARX является расширением модели авторегрессии [3], которая учитывает влияние внешних факторов $X_1(t), X_n(t)$ и имеет вид:

$$Y(t) = AR(p) + a_1 \cdot X_1(t) + \dots + a_n \cdot X_n(t), \quad (1)$$

где $AR(p)$ – уравнение авторегрессии порядка p ; a_1, a_n – коэффициенты внешних параметров X_1, X_n .

Как видно из уравнения (1), для прогнозирования параметра $Y(t)$ внешние факторы должны учитываться в соответствующие моменты времени. Если прогнозируется значение на 20 минут вперед, то соответственно необходимо знать значения внешних регрессоров на этот же момент времени. Этот момент, безусловно, затрудняет применение данных моделей, так как значения влияющих факторов не известны в момент времени, на который необходимо спрогнозировать выходной параметр, поэтому в частном случае придется использовать последние известные данные по предикторам.

Модель Хольта или двойное экспоненциальное сглаживание применяется для моделирования параметров, имеющих тренд. В этом случае рассматриваются две составляющие: уровень S и тренд b , которые описываются уравнениями [5]:

$$\begin{aligned} S(t) &= \alpha \cdot Y(t) + (1 - \alpha) \cdot (S(t - 1) + b(t - 1)), \\ b(t) &= \gamma \cdot (S(t) - S(t - 1) + (1 - \gamma) \cdot b(t - 1)), \\ Y(t + n) &= S(t) + n \cdot b(t), \end{aligned} \quad (2)$$

где $S(t)$ – уровень ряда; $b(t)$ – тренд ряда; α – коэффициент сглаживания уровня; γ – коэффициент сглаживания тренда; $Y(t + n)$ – прогнозируемый параметр на n шагов вперед.

Важной задачей является выбор коэффициентов $\alpha, \gamma \in (0,1)$ которые определяют чувствительность модели. Чувствительная модель способна быстро реагировать на реальные изменения тренда, а нечувствительная не реагирует на шум и случайные отклонения.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В среде Matlab была выполнена реализация моделей авторегрессии с внешними параметрами (ARX) рис.1 и двойного экспоненциального сглаживания (Holt) рис.2. В качестве прогнозируемого параметра был выбран уровень в емкости, снижение которого до минимального значения приводит к останову насоса, и прекращению подачи сырья в аппараты установки серноокислотного алкилирования.

ТАБЛИЦА I
ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МОДЕЛЕЙ

| Модель | Среднеквадратичное отклонение | Средняя ошибка | Коэффициент корреляции | Коэффициент детерминации |
|--------|-------------------------------|----------------|------------------------|--------------------------|
| ARX | 0,237 | 0,177 | 0,996 | 0,998 |
| Holt | 0,995 | 0,822 | 0,995 | 0,993 |

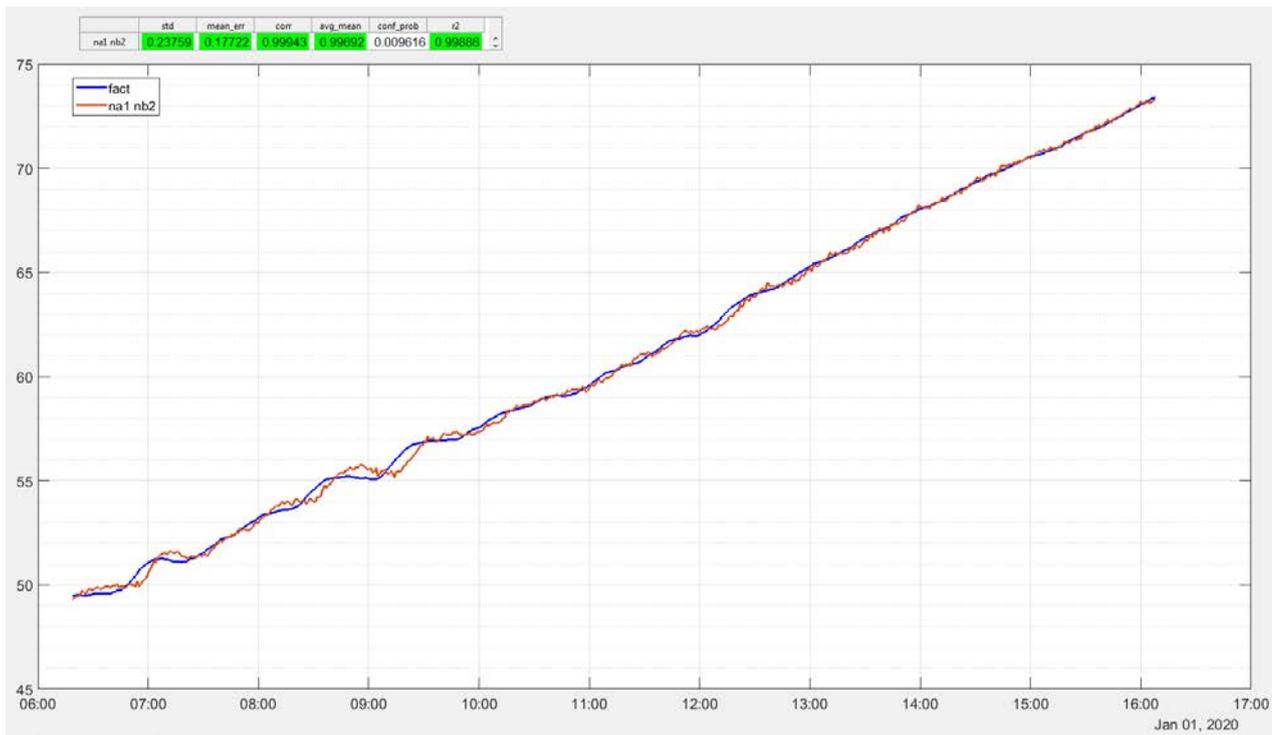


Рис. 1. Результат функционирования модели авторегрессии с внешними параметрами

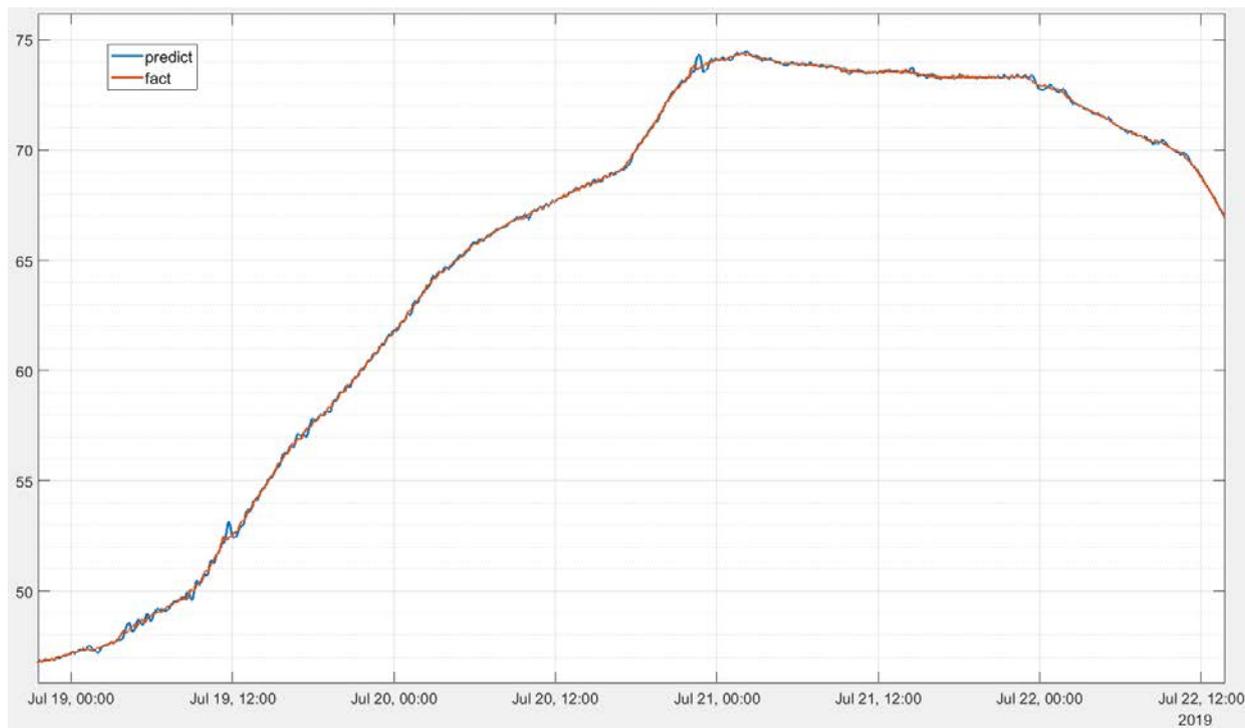


Рис. 2. Результат функционирования модели двойного экспоненциального сглаживания

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Несмотря на высокие показатели качества ARX модели см. Табл. I., по графику рис.1 видно, что модель хорошо предсказывает линейное изменение параметра, а даже при небольших колебаниях значение прогноза фактически повторяет факт с небольшой задержкой. Модель Хольта в этом плане показывает себя лучшим образом, хотя в авторегрессионной модели и включены внешние факторы. Как было сказано ранее, внешние факторы должны быть известны на момент прогноза, и возможно в этом заключается такое поведение ARX модели.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе представлен один из возможных подходов к прогнозированию аварийных ситуаций. Разработанные предиктивные модели процесса сернокислотного алкилирования на основе временных рядов хорошо предсказывают линейное изменение параметров, но хуже ведут себя при резких скачкообразных изменениях. Авторегрессионная модель и модель Хольта имеют следующие характеристики: средняя ошибка 0,177 и 0,822, коэффициент детерминации 0,998 и 0,993 соответственно. Так как на технологический параметр воздействуют возмущающие воздействия предлагается для улучшения качества модели ARX прогнозировать внешние факторы с помощью модели Хольта. Данная модель позволит учитывать будущие значения влияющих параметров, как того и требует авторегрессионный подход.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств (Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности). - М.: Норматика, 2018. - 471 с.
2. Курочкин С.С., Стась К.Н. Международные стандарты по функциональной безопасности систем контроля и управления // Промышленные АСУ и контроллеры. – 1999. – № 9. – с. 27–29.
3. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. М.: Мир, 1974. 242 с.
4. Чучуева И. А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия: дис. ... канд. тех. наук/ Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана. – М., 2012. – 153 с.
5. Prajakta S.K. Time series Forecasting using Holt-Winters Exponential Smoothing // Kanwal Rekhi School of Information Technology Journal. 2004. 13 p.

ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ В ЭПОХУ ЧЕТВЕРТОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ В НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А. В. Шерстнёв, Е. И. Пастухова

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы, связанные с необходимостью применения Интернета вещей ПоТ в эпоху четвертой промышленной революции в нефтеперерабатывающей промышленности.

В работе показывается актуальность активного использования ПоТ в нефтеперерабатывающей промышленности, обусловленная временем и проблемами, существующими в этой отрасли, с целью экономической выгоды для предприятия. В статье представлены активно используемые в настоящее время в нефтеперерабатывающей промышленности технологии на базе Интернета вещей IoT.

Ключевые слова. Интернет вещей ПоТ, четвертая промышленная революция, нефтеперерабатывающая промышленность

I. ВВЕДЕНИЕ

По данным экспертов, добыча нефти в России за прошедший год выросла почти на один процент. Однако, в нефтегазовой отрасли сохраняются такие значительные проблемы, как потеря нефти и газа при транспортировке, снижение качества, а также повышение расходов на обслуживание скважин. Для их решения возможно применение цифровых технологий.

За счет применения цифровых технологий в нефтегазовой компании British Petroleum планируют увеличить добычи нефти более чем на сорок процентов к середине 21 века и тем самым уменьшить на треть себестоимость нефти.

В эпоху Четвертой промышленной революции очевидным является переход к «цифровым» фабрикам и «умным» заводам. Этот новый «тренд» и есть предвестник Четвертой промышленной революции.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Чтобы понять, какую роль играет Интернет вещей ПоТ в эпоху четвертой промышленной революции в нефтеперерабатывающей промышленности, следует решить следующие задачи:

- провести анализ литературных источников;
- провести сравнительный анализ технологий Интернета вещей ПоТ, используемых в настоящее время в нефтегазовой отрасли ведущими мировыми компаниями: «Роснефть», «Газпромнефть», «Лукойл 4.0», «British Petroleum»;
- сделать выводы об использовании интернета вещей IoT современными предприятиями.

III. ТЕОРИЯ

В чём же суть Интернета вещей? Что сможет изменить производственный сектор в период четвертой промышленной революции? Интернет вещей позволит объединить вещи друг с другом единой сетью и обеспечит передачу данных.

Рассмотрим ряд возможностей реализации Интернета вещей современными предприятиями нефтегазовой отрасли.

Для создания цифрового двойника объекта исследования, например, месторождения помогут датчики. Эти датчики обладают высокой точностью и осуществляют измерение в режиме реального времени. Датчики определяют неисправности на основе данных, полученных в результате измерений и принимают решение об останове технологического оборудования. Оператор в принятии решения участия не принимает. Система работает таким образом, что данные с различных датчиков поступают в облачное хранилище предприятия. Собранные массивы данных послужат источником информации для оптимизации производства. Данные играют очень важную роль на «умном» заводе. Также

данные можно передавать в режиме реального времени и хранить их в централизованном месте. Это способствует автоматизации производственных процессов и всего производства в целом. Такое обслуживание называется предиктивным профилактическим обслуживанием. Примером использования IoT для мониторинга состояний скважин может служить опыт компании British Petroleum. Датчики, установленные на скважинах измеряют множество параметров. Происходит опрос датчиков и информация о текущем состоянии передается в сеть. Анализ информации происходит в облачном IoT сервисе.

Предиктивное профилактическое обслуживание повышает точность и расширяет возможности новых измерений, за счет внедрения датчиков на тех этапах технологических процессов, которые в большей степени нуждаются в усиленном контроле. При этом Интернет вещей позволит повысить уровень автоматизации производств и их экономическую эффективность.

Ещё одним примером использования Интернета вещей является Building Information Modeling (BIM). Благодаря BIM возможно выполнить моделирование пласта, гидроразрыва, рельефа местности, а на основе анализа модели сделать вывод о необходимости технического осмотра.

В нефтегазовой отрасли создание цифровых двойников дает возможность осуществлять мониторинг состояния технологического оборудования, контролировать трубопроводы на предмет наличия коррозии и прогнозировать развития эрозии.

Для контроля трубопроводов все чаще используют беспилотные летательные аппараты.

Цифровые двойники, подключенные к алгоритмам машинного обучения, предугадывают реакции актива и знают наперед порядок действий.

Выявить причины чрезвычайных ситуаций и осуществить мониторинг активов позволит видеоаналитика.

**ТАБЛИЦА
ВНЕДРЕНИЕ ВЕДУЩИМИ МИРОВЫМИ НЕФТЕГАЗОВЫМИ КОМПАНИЯМИ
ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ**

| № п/п | Название | Технологии внедрения | Экономическая выгода |
|-------|-------------------|--|---|
| 1 | Роснефть | «Цифровое месторождение», интеллектуальная система мониторинга трубопровода, цифровые двойники | 1 млн. руб. и 1 млн. тонн нефти |
| 2 | Газпромнефть | Цифровая стратегия | 40% оптимизация работы, поиск новых мест бурения, сокращение труда геолога |
| | | RFID – датчики в логистике, радиочастотные метки, датчики спутникового позиционирования | Фиксация перемещения товаров с момента отгрузки до базы хранения. Связь физической поставки и документооборота |
| | | «Когнитивный геолог» | Ускорение циклов геологоразведочных работ |
| | | «Геонавигатор» с передачей данных в систему «Электронная обработка активов». | Сбор информации о бурении, добыче нефтескважин . Сокращение электропотребления на 15%, снижение расходов на бурение, увеличение срока службы оборудования на 20% |
| | | «Геомейт» | Хранение информации обо всех месторождениях компании, мониторинг состояния оборудования в режиме реального времени. Управление скважиной, исключая человеческий фактор |
| 3. | Лукойл | Лукойл 4.0 | Контроль за функционированием месторождения осуществляют компьютерные системы |
| 4. | British Petroleum | IoT для мониторинга состояний скважин | Датчики, установленные на скважинах измеряют множество параметров. Происходит опрос датчиков и информация о текущем состоянии передается в сеть. Анализ информации происходит в облачном IoT сервисе. |

Стоит привести примеры программных обеспечений Интернета вещей: «Интеллектуальное месторождение», «Цифровое месторождение», «Цифровая АЗС», «Цифровая цепочка поставок», «Цифровой завод», «Геонавигатор», «Когнитивный геолог» и др.

Анализ работы ведущих мировых нефтегазовых компаний показал, что технологии Интернета Вещей на сегодняшний день активно ими внедрены и используются. Например, компания «Роснефть» в своей работе добивается неплохой экономической выгоды благодаря таким технологиям как: «Цифровое месторождение», интеллектуальная система мониторинга трубопровода, цифровые двойники.

Газпромнефть использует в своей работе:

1. Технологию «Когнитивный геолог», позволяющую ускорить время геологоразведочных работ.

2. Цифровые стратегии, которые помогают достигнуть сорока процентов оптимизации работы, поиск новых мест бурения за четверть часа, а также максимально сократить труд геолога.

3. RFID – датчики в логистике, радиочастотные метки, датчики спутникового позиционирования. Благодаря этому осуществляется фиксация перемещения товаров.

4. «Геонавигатор», который осуществляет контроль за добычей нефти и передает данные в систему.

5. «Электронная обработка активов», с помощью датчиков собирает информацию о нефтедобыче.

6. Технологию «Геомейт», хранит информацию обо всех месторождениях компании, управляет скважиной без участия человека.

Осуществлять контроль месторождений компьютерными системами в рамках Интернета вещей начали в компании Лукойл (см. таблицу).

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интернет вещей ПоТ в эпоху четвертой промышленной революции в нефтеперерабатывающей промышленности позволит снизить расходы, уменьшить до минимума потери и добиться следующих результатов: сократить потерю нефти на всех этапах от добычи до транспортировки; повысить качество добываемого нефтепродукта за счет эффективного управления месторождением; сократить затраты на обслуживание скважин.

Но наряду с положительными аспектами активного внедрения Интернета вещей в разные сферы деятельности человека, намечаются негативные тенденции: большинство традиционных профессий устаревают и становятся неактуальными. Люди, занятые в них, становятся невостребованными и пополняют ряды безработных. Кроме этого, у занятых в производстве людей могут возникать психологические и экзистенциальные проблемы.

Ещё одной проблемой активного внедрения Интернета вещей ПоТ в разные сферы деятельности человека является отсутствие на сегодняшний день на отечественном рынке российского поставщика платформ разработки ПоТ –решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куприяновский В.П., Намиот Д.Е., Дрожжинов В.И., Куприяновская Ю.В., Иванов М.О. Интернет Вещей на промышленных предприятиях//Eur.J 2016. Vol.4. no.12

2. Середкина Е.В., Кошелева Н.А., Гайворонский М.Б. Четвертая промышленная революция, интернет вещей и ответственные инновации//ЕСУ#2(23), 2016.

3. Куприяновский В.П., Климов А.А., Аленков В.В., Намиот Д.Е., Шнепс – Шнеппе М.А. Новое поколение Интернета вещей – стандарты и спецификации онтологий ETSI// Eur.J 2016. Vol.7,no.9,2019

4. Краюшкин В.А., Лешихина И.Е., Пирогова М.А. Платформа разработки промышленного интернета вещей// ИТПП 2016/3

5. Черняев Д.С., Намиот Д.Е. Роль цифровых технологий в разведке, добыче и транспортировке нефтегазовых продуктов// Eur.J 2019. Vol.7,no.11

СИСТЕМА ПРОГНОЗНОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И СООРУЖЕНИЙ

В. В. Волчемисов, Е. И. Пастухова

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены перспективы повышения эксплуатационной готовности технологических объектов предприятий нефтепереработки за счет предиктивного планирования технического обслуживания и ремонтов, предупреждения отказов технических устройств и сооружений. Проведен анализ централизованной системы автоматизированного мониторинга и прогнозирования состояния высококритичных технических устройств и сооружений.

Ключевые слова. Предиктивное планирование, комплексная диагностика, техническое обслуживание и ремонт, нефтепереработка, технологическое оборудование.

I. ВВЕДЕНИЕ

Предиктивная аналитика - это интеллектуальный анализ данных, основанный на изучении опыта, статистическом моделировании и планировании результатов на основе полученных моделей.

В структурные подразделения предприятия, которые отвечают за техническое обслуживание, поступают массивы данных о состоянии технических устройств. Поступающие данные не структурированы и не позволяют ремонтным службам внести правильные корректирующие меры в отношении работоспособности оборудования. Это приводит к тому, что возникающие отказы оборудования приводят к простоям и материальным потерям.

Суть прогнозной аналитики заключается в том, что происходит непрерывный анализ массивов данных о состоянии оборудования и технических устройств, их структурирование, моделирование процессов и формирование прогнозов о возможных отказах. В качестве инструментов используется машинное обучение и искусственный интеллект. В итоге, внеплановые простои сокращаются, а работа по техническому обслуживанию принимает плановый характер, появляется возможность проведения глубокого анализа причин отказа оборудования и технических устройств.

Предиктивная аналитика дает возможность предопределять плановые ремонтные работы, рационально распределять временные, материальные и кадровые ресурсы.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящее время эффективному функционированию системы диагностики технического состояния приходится сталкиваться со следующими преградами (рис. 1):

1. Отсутствует единая платформа для сбора и хранения данных систем диагностики технических устройств и сооружений (ТУиС).
2. Доступ к результатам работы систем мониторинга состояния динамического оборудования ограничен поставщиками систем.
3. Отсутствуют методики, подходы и принципы мониторинга состояния технических устройств и сооружений на основе параметров систем диагностики и рабочих параметров, измеряемых АСУТП.
4. Отсутствуют средства мониторинга состояния оборудования энергоснабжения.
5. Отсутствуют средства и методики прогнозного анализа на основе данных мониторинга по всем типам ТУиС.
6. Отсутствует интеграция систем мониторинга с системой управления надежностью.

Таким образом, повышение эксплуатационной готовности технологических объектов за счет предиктивного планирования технического обслуживания и ремонтов, должно способствовать предупреждению отказов ТУиС.

Зарубежный опыт показывает, что на предприятиях нефтехимии, которые относятся к классу опасных, а ранняя диагностика отказа технологического и вспомогательного оборудования решает вопрос безопасности, хороший результат дает метод подобия. При этом методе каждое предыдущее состояние оборудования принимается за эталонное, а текущее сравнивается с ним.

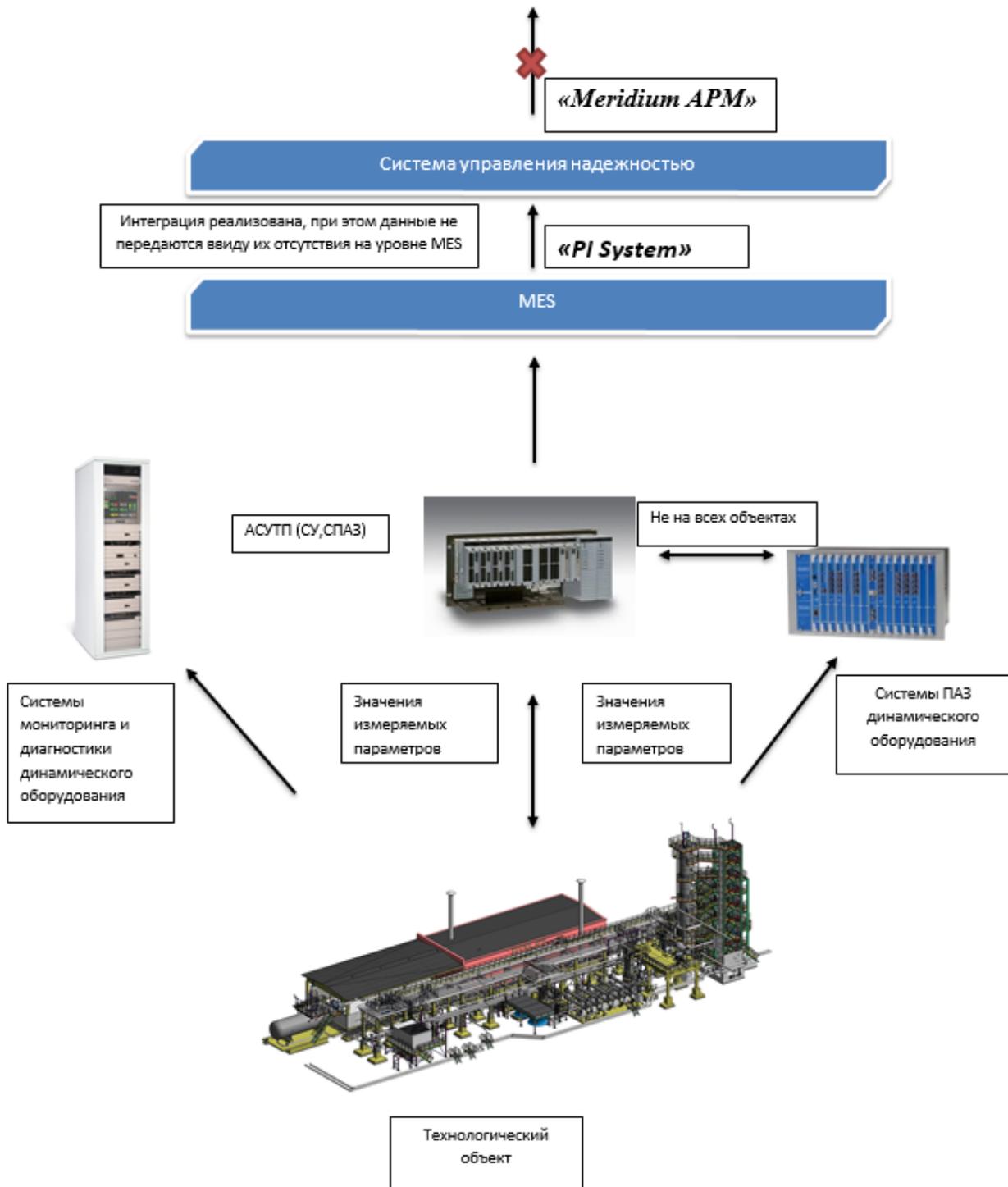


Рис. 1. Текущее состояние системы диагностики технического состояния ТУиС

III. ТЕОРИЯ

Для эффективной работы нефтеперерабатывающего завода были рассмотрены следующие поставщики программного обеспечения: Aspen Tech (США); General Electric (США); Brüel & Kjær Vibro (Дания); НПЦ Динамика (Россия); Кловвер Групп (Россия).

При выборе программного обеспечения руководствовались следующими основными критериями:

- наличие внедрений на территории РФ;
- наличие внедрений в нефтегазовой отрасли (в РФ и в мире);
- наличие возможности распознавать приближающиеся отказы, которые ранее не встречались на данном оборудовании;
- вид диагностируемого оборудования;
- ограничение срока действия лицензии;
- возможность поддерживать и развивать решение собственными силами;
- доступность сервиса службами заказчика;
- компания удовлетворяет критериям импортозамещения.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

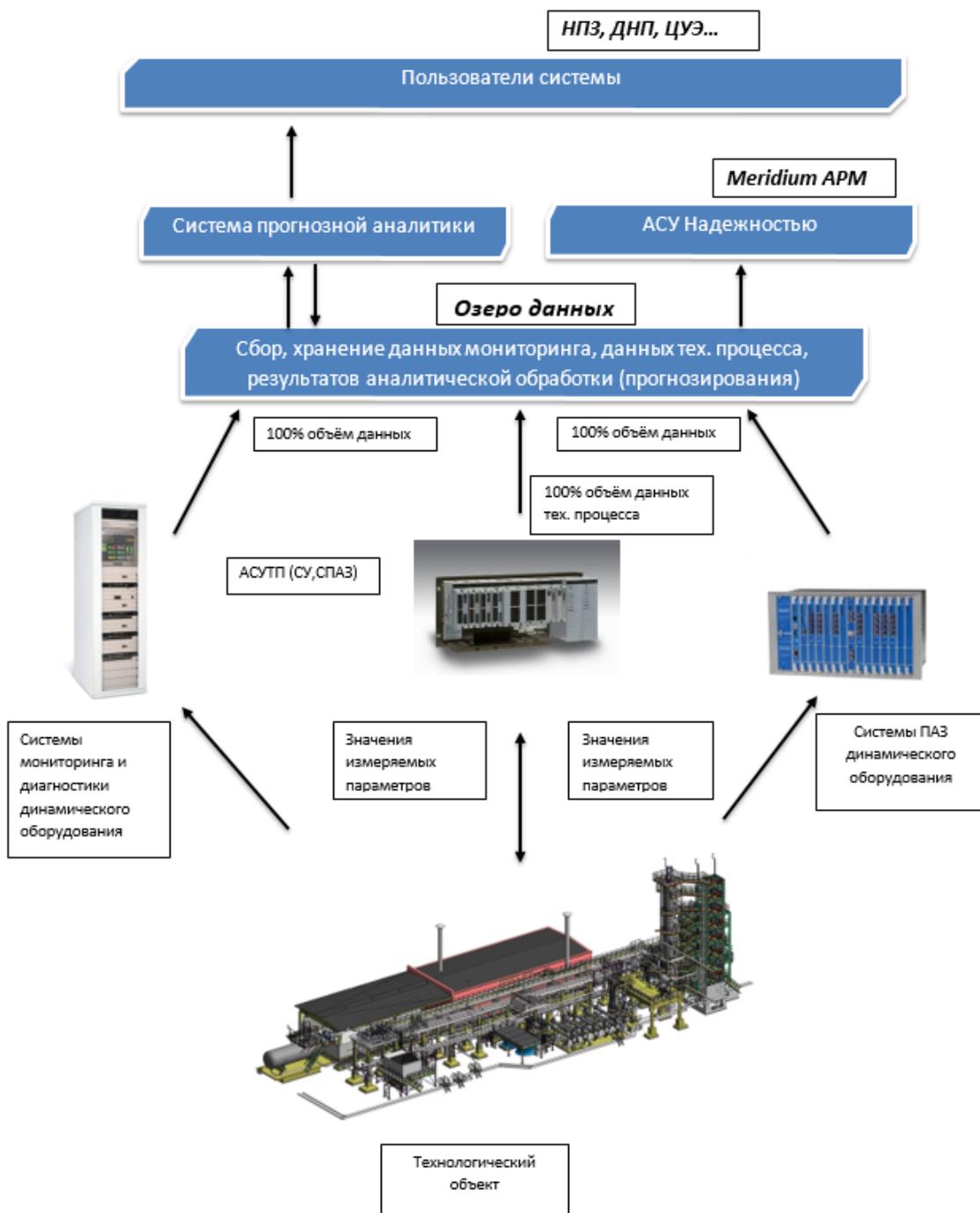


Рис. 2. Целевое состояние системы прогнозной комплексной диагностики ТУиС

Внедрение предиктивной аналитики позволит (рис.2):

- создать единую платформу для сбора и хранения всего объема данных мониторинга и результатов прогнозной аналитики (озеро данных);
- осуществить полную интеграцию с системой управления надежностью;
- выполнять мониторинг ТУиС в соответствии с разработанной ИТ-архитектурой на основе единых подходов и принципов (включая принципы определения критичности параметров и событий);
- выполнять прогнозный анализ выполняется системой аналитической обработки централизованно на основе данных мониторинга и разработанных методик и алгоритмов (с учетом лучших мировых практик).

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение системы прогнозной комплексной диагностики технических устройств и сооружений позволит снизить риск возникновения аварийных ситуаций. Появится возможность прогнозировать ситуации, и как следствие, минимизировать число внезапных аварий. Останов технологического оборудования будет только плановый с увеличенным межремонтным периодом. Предиктивная аналитика приведет к оптимизации логистики запасных частей, а в совокупности с сокращением простоев это даст сократить затраты на треть.

Секция 2 МЕХАТРОННЫЕ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И МОДУЛИ

УДК 681.51

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ХИРУРГИЧЕСКОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА

А. А. Кабанов¹, В. А. Крамарь¹, А. Н. Путин¹, А. А. Митченкова¹

¹Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

Аннотация. В статье рассматривается вопрос построения системы управления хирургическим роботом-манипулятором, предназначенным для выполнения урологических операций. В основе построения системы управления лежит разработанная конструкция робота и соответствующая ей кинематическая схема. Синтез системы управления робототехнического комплекса основан на идее использования отдельных независимых контуров регулирования по положению для каждого из приводов, построенных на базе стандартных ПИД-регуляторов. Это позволяет строить законы управления движениями робота-манипулятора, задавая требуемые значения координат положения приводов, полученных на основе кинематической схемой.

Ключевые слова. Робот-манипулятор, система управления, хирургический робот, кинематическая схема

I. ВВЕДЕНИЕ

Проведение операций в некоторых случаях требует от хирургов и от вспомогательного персонала значительной физической подготовки. Одним из примеров подобных операций являются трансуретральные операции с использованием резектоскопа. Во время этих операции хирург вынужден находиться в неудобном положении продолжительное время. Это приводит к усталости и снижению работоспособности. Для решения указанной проблемы можно применить специальные роботизированные манипуляторы. Поскольку возможности существующих на рынке роботоманипуляторов не ограничиваются только облегчением труда высококвалифицированных медицинских работников, но и позволяют расширить возможности, повысить качество проводимых операций вплоть до автоматизации некоторых типовых движений хирургов, предлагается рассмотреть данное направление детально [1,2].

В статье предлагается описание варианта системы управления, разработанным хирургическим роботом-манипулятором на основании известной конструкция робота и соответствующей ей кинематической схемы [3].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривается роботизированная хирургическая система, включающая в себя роботоманипулятор с устройством удержания инструмента и систему управления. Разработка системы управления многозвенным роботом-манипулятором является достаточно сложной задачей. При условии, что управлять необходимо динамической системой задача значительно усложняется. Задача управления может быть сведена к кинематическому управлению. В таком случае, алгоритмы управления могут быть построены на основании модели Денавита-Хартенберга (DH) робота [4].

Внешний вид разработанного робота приведен на рис. 1, кинематическая схема разработанного робота приведена на рис.2а.

Кинематическая схема включает в себя 11 элементов, соединенных десятью узлами (8 активных и 2 пассивных). Позиционирование робота-манипулятора относительно пациента осуществляется тремя двигателями. Движение рабочего инструмента выполняют посредством четырех двигателей. Еще один двигатель используется для реализации движения режущей петли инструмента.

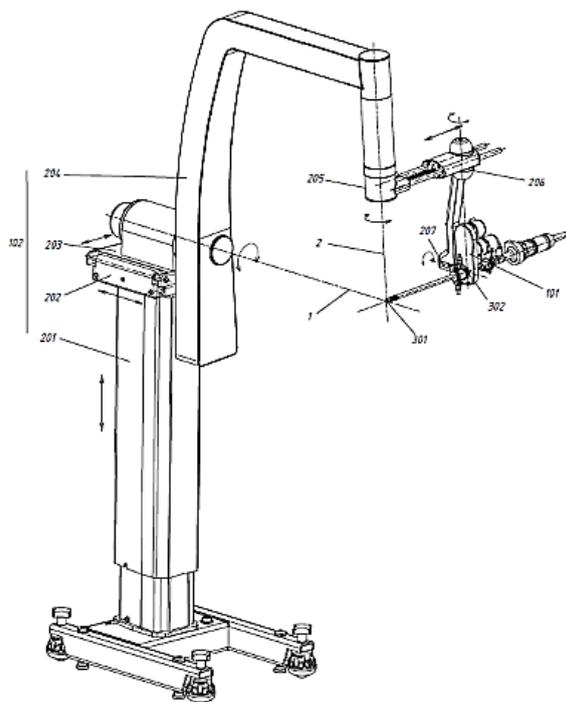


Рис. 1. Внешний вид хирургического робота-манипулятора

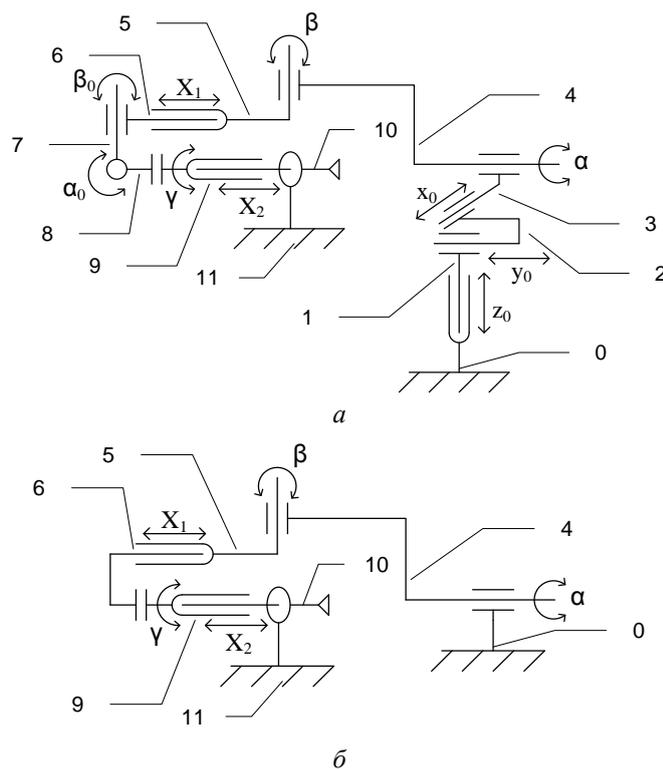


Рис. 2. Кинематическая схема робота (а – полная; б – упрощенная)

На схеме приведены следующие обозначения: 0 - основание робота-манипулятора; 1 - подвижный шток; 2 - платформа сдвига по оси y ; 3 - платформа сдвига по оси x ; 4 - Плечо 1; 5 - Плечо 2; 6 - Вилка; 7 Рычаг подвеса; 8 - Подвес; 9 - Втулка вращения; 10 - Режущая петля; 11 - Естественный шарнир.

Полученная конструкция предполагает условное деление двигателей по функциям: управление рабочим инструментом и позиционирование всего манипулятора относительно пациента. На основании этого можно сделать вывод о том, что если система позиционирования может работать

независимо от системы управления движениями инструмента, то кинематическая схема может быть упрощена. При этом управление роботом может быть построено на основании упрощенной кинематической схемы [3]. На рисунке 2б приведена упрощенная кинематическая схема. Обозначения на упрощенной кинематической схеме соответствуют обозначениям полной схемы. Для безопасной работы комплекса по упрощенной кинематической схеме необходимо реализовать следящую систему контроля углов поворота в узлах свободного вращения.

III. ТЕОРИЯ

В процессе анализа кинематики робота был сделан вывод о том, что необходимо использовать систему слежения за перемещением пациента. В результате предложено структурно представить систему управления в виде двух подсистем: первая – обрабатывает команды хирурга-оператора по движению инструмента, а вторая – отслеживает перемещение пациента и вносит корректировки с помощью соответствующих приводов. С учетом вышесказанного управление роботом может быть построено на основании упрощенной кинематической схемы.

По сравнению с полной кинематической схемой (рис.2а) упрощенная кинематическая схема (рис.2б) содержит шесть элементов, соединенных пятью узлами. При этом число степеней свободы манипулятора соответствует числу этих узлов. Фактически это приводит к тому, что управление каждым из приводов осуществляется не зависимо от других приводов. Независимое управление по каждому из приводов (соответственно по каждой степени свободы) существенно упрощает синтез системы управления. Однако, указанное упрощение кинематической схемы и системы управления возможно только при наличии отдельного контура стабилизации, который в настоящем проекте реализован в виде отдельной подсистемы.

Подсистема стабилизации считывает данные с датчиков энкодеров угла поворота, установленных в точках свободного вращения. Датчики выдают сигналы, интерпретируемые как α_0 , β_0 . При значении сигнала равном 0 считаем, что отклонения нет. Увеличение или уменьшение измеренной величины воспринимается системой как сигнал к корректировке, которая осуществляется приводами входными величинами x_0 , y_0 , z_0 . На основании изложенной логики приведем схему системы стабилизации. На рисунке 4 изображена функциональная схема системы автоматической стабилизации.

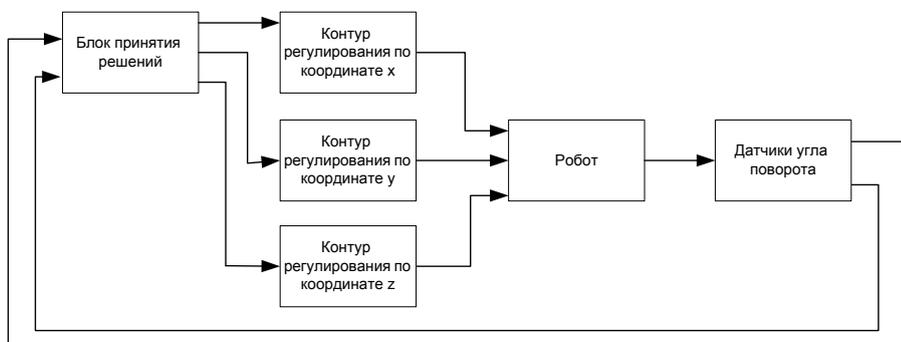


Рис. 4. Функциональная схема системы автоматической стабилизации

Каждый из приводов имеет свой независимый контур регулирования по положению, построенный на базе стандартного ПИД-регулятора. Структура такого типового контура управления показана на рисунке 5.

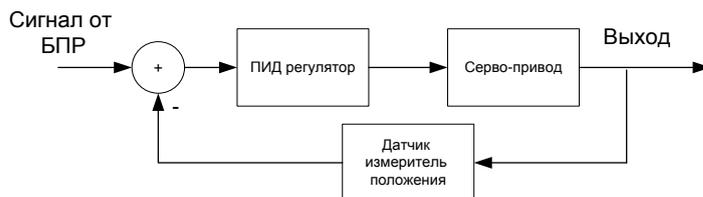


Рис. 5. Схема контура регулирования по координате

Устойчивая работа подсистемы стабилизации позволяет строить законы управления движениями робота-манипулятора, задавая требуемые значения координат положения приводов, полученных на основе кинематической схемой. Алгоритм работы системы управления заключается в непрерывном циклическом считывании состояния осей и кнопок управляющего манипулятора с последующей передачей этих значений на входной интерфейс робота.

IV. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В разработке авторов [3, 4] приведена уникальная конструкция робота, который работает с существующими ручными хирургическими инструментами – резектоскопами. Указанные инструменты применяются, в частности, при проведении урологических операций. Описываемая в [3] конструкция снижает универсальность робототехнического комплекса и привязывает его к определенному типу операций, но с учетом того, что подобные операции выполняются в большом количестве, данная разработка является востребованной.

Особенностью предложенного решения является возможность построить систему слежения за положением пациента во время выполнения операций. Наличие этой системы с одной стороны позволяет повысить безопасность операций, а с другой стороны позволяет упростить синтез управления непосредственно хирургическим инструментом. Таким образом предложенная система управления состоит из двух подсистем, реализующих функции слежения за положением пациента (с возможностью его коррекции) и управления непосредственно хирургическим инструментом соответственно.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании разработанной кинематической схемы робота, предназначенного для выполнения хирургических операций, и используя обоснованное упрощение указанной кинематической схемы, в статье предложена система управления роботом. В основе предлагаемой системы управления лежит идея, что каждый из приводов рассматриваемого робота оснащен собственным контуром регулирования по координате и включает настраиваемый ПИД-регулятор. Это позволяет реализовать управление роботом путем задачи конечных координат для его приводов в соответствии с кинематической схемой.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ. БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках реализации внутреннего гранта Севастопольского государственного университета 2020г., (номер проекта № 37/06-31).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевченко Ю. Л., Карпов О. Э., Ветшев П. С., Степанюк И. В. Робототехника в хирургии - истоки, реалии, перспективы // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. 2008. №2.
2. Лашенков П.А., Субботин Е.В., Каримов Д.Г. Компьютерное моделирование в разработке и тестировании робототехнических систем и устройств // Юность и знания - гарантия успеха -2019 сборник научных трудов 6-й Международной молодежной научной конференции. Юго-Западный государственный университет. 2019. С. 213-216.
3. Кабанов А.А., Машин С.П., Токарев Д. А. Роботизированный комплекс для выполнения хирургических операций // Сборник трудов конференции VIII Международной научно-технической интернет-конференции молодых ученых «Автоматизация, мехатроника, информационные технологии материалы». Омск, 2018.
4. Токарев Д.А., Путин А.Н., Ениватов В. В. Моделирование робототехнического комплекса в виртуальной среде разработки// Транспортное дело России. 2019. №6. С. 174-177.

МЕТОД ПРЕДСКАЗАНИЯ СТОЛКНОВЕНИЯ С ВНЕШНИМИ ОБЕКТАМИ МНОГОЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА

О. А. Крамарь¹, А. Н. Путин¹

¹Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

Аннотация. В статье предложен метод решения задачи прогнозирования столкновения с внешними препятствиями многозвеного робота. Метод основан на применении подходов линейной алгебры - неравенства Шварца. Предложенный метод позволит строить траектории обхода многозвеными манипуляторами внешних препятствий.

Ключевые слова. Многозвеноый манипулятор, внешнее препятствие, столкновение

I. ВВЕДЕНИЕ

Создание современных робототехнических систем ориентировано на использование многозвённых и антропоморфных манипуляторов [1]. В [2, 3] рассматриваются подходы к конструированию манипуляторов различных типов, в том числе подводных, и способы их управления. Одним из примеров таких роботов является робот SAR-401 [4], который является прототипом разрабатываемого подводного робота. Трёхмерная модель подводного робота показана на рисунке (рис. 1.).

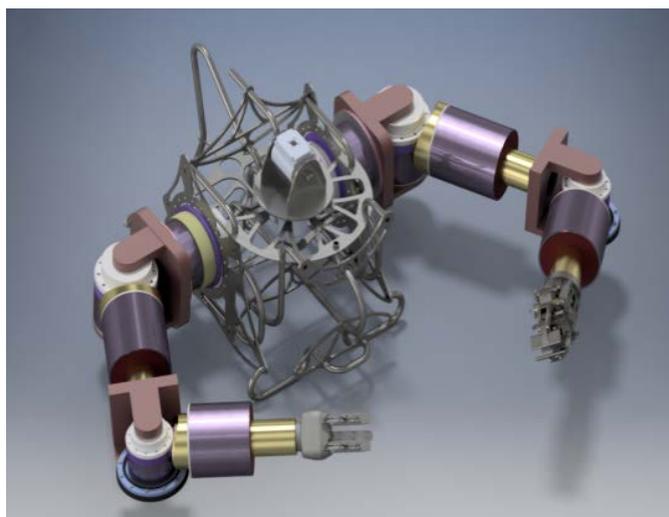


Рис. 1. Трёхмерная модель подводного робота

При построении управления манипуляторами, которые выполняют свои действия автоматически в неструктурированной среде, обнаружение препятствий является важным этапом построения управления.

Проблема согласованного перемещения парных манипуляторов с ограничениями рассматривается в нескольких работах. Довольно распространенным методом решения проблемы является метод проекции градиента. Этот метод направлен на минимизацию расстояния от суставов до их среднего положения путем проецирования градиента квадратичной весовой функции. Основной недостаток состоит в том, что учитываются все доступные избыточные движения, чтобы расположить все суставы манипулятора в середине их диапазона без учета избыточности движений. Чтобы учесть некоторые избыточные движения, некоторые авторы используют потенциальные поля, работая только с критическими соединениями, положение которых близко к их пределам. В описанных выше методах предотвращение особых состояний рассматривается как задача с низким приоритетом, поэтому устранение особых состояний может быть гарантировано только в том случае, если число избыточных движений системы по меньшей мере равно числу критических соединений.

Несмотря на многочисленные публикации в области разработки подводных систем управления роботами, многие исследовательские вопросы остаются недостаточно изученными и требуют серьезной дальнейшей разработки.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим задачу построения траектории для обхода препятствия от начальной позиции к конечной, используя подходы линейной алгебры, которые позволяют нам построить довольно простой алгоритм, который можно реализовать в режиме онлайн-манипулятора. Этому вопросу посвящено большое количество публикаций. Численный метод планирования расположения центра конечного эффектора был разработан в [17]. Мы также будем использовать метод планирования траектории, основанный на линейно-кусочной аппроксимации траектории.

В общем случае мы предполагаем, что препятствие может быть аппроксимировано сферой, координаты центра которой и ее радиус, проходящий через ближайшую точку траектории от центра препятствия, получаются в соответствии с системой трехмерного видения. Таким образом, исходными данными являются координаты начала и конца траектории, а также сфера в виде координат ее центра и длины радиуса.

Обозначим координаты начала траектории и конца как $T_0 = [x_0 \ y_0 \ z_0]^T$ и $T_k = [x_k \ y_k \ z_k]^T$ соответственно. Возможный вид новой траектории при обходе препятствия и ее проекция на плоскость приведены на рисунке 2.

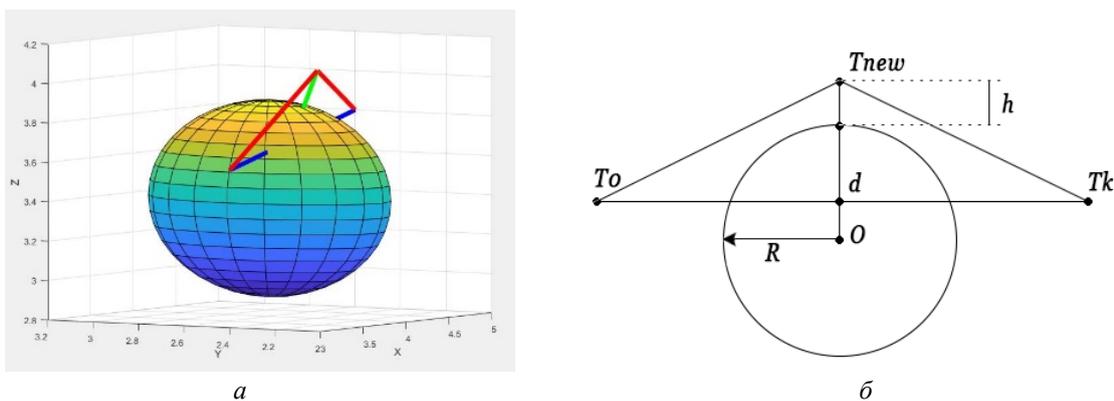


Рис. 2. Траектория обхода препятствия манипулятором (а – 3D; б – проекция)

На рисунке 2б) центр сферы обозначен как O , ее радиус – R . Для обхода препятствия необходимо найти координаты точки T_{new} . Для этого на отрезке траектории найдем точку d – ближайшую к центру препятствия. Построим вектор от точки T_0 до центра препятствия O . Построим проекцию вектора $\overline{T_0O}$ на вектор $\overline{T_0T_k}$, можем найти координаты точки d . Зная координаты центра сферы и ближайшей к центру сферы точки на отрезке траектории, проведем прямую линию по этим двум точкам от центра сферы на расстояние радиуса сферы плюс коэффициент h , учитывающий толщину манипуляторов.. Таким образом, мы получим координаты точки для обхода всех препятствий попавших на траекторию движения. Если новая траектория все равно пересекает препятствие, применяем тот же метод для каждой новой траектории и так до тех пор, пока вся траектория будет не пересекаться с препятствием.

III. ТЕОРИЯ

Найдем точку d - которая является наиболее близкой к центру сферы. Для нахождения точки d вычислим проекцию вектора $\overline{T_0O}$ на вектор $\overline{T_0T_k}$. Для этого найдем перпендикуляр из конца одного вектора на другой. Приведем аналитическое решение задачи нахождения проекции вектора на вектор. Проекцию можно представить в виде αY , для чего найдем значение α . Значение α можно найти из следующего условия:

$$\min_{\alpha} \|X - \alpha Y\|_c = \min_{\alpha} (X - \alpha Y, X - \alpha Y),$$

которое возникает при анализе неравенства Коши-Буняковского – Шварца. В результате получаем, что проекция вектора X на вектор Y имеет вид

$$\hat{X} = \alpha_{\min} Y, \quad \alpha_{\min} = \frac{(X, Y)}{(Y, Y)}.$$

При условии, что расстояние между точкой d и центром препятствия, превышает радиус окружности, то выполняется условие не пересечения траекторий препятствия. В противном случае точка d попадает внутрь сферы, что свидетельствует о пересечении траектории и препятствия.

Если отрезок траектории находится за пределами препятствия, то оно не мешает движению манипулятора.

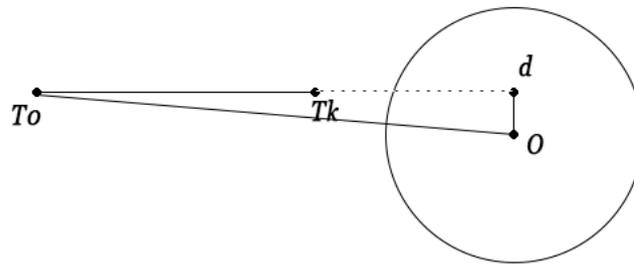


Рис. 3. Препятствие не мешает движению манипулятора

Поэтому необходимо проведение проверки находится ли точка d на отрезке траектории между точками T_0, T_k . Условие нахождения точки d на траектории будет иметь вид

$$\|T_0 d\| + \|T_k d\| - \|T_0 T_k\| = 0.$$

IV. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты позволяют не только предсказать возможное столкновение манипулятора с внешним препятствием, но и позволяет построить траекторию для его обхода. Зная координаты центра сферы и точки, ближайшей к центру сферы, нарисуем прямую линию через эти две точки длиной равной радиусу сферы плюс коэффициент, который учитывает толщину манипуляторов. Таким образом, мы получаем координаты точки новой траектории манипулятора для обхода препятствия. Если новая траектория все еще пересекает препятствие, мы применяем один и тот же метод для каждой новой траектории и так далее, пока вся траектория не будет проходить мимо препятствия.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как отмечалось ранее, предлагаемый способ будет эффективно использоваться при построении траектории манипулятора для предотвращения его столкновения с внешними препятствиями. Кроме того, использование современного подхода к построению управления «Programming by Demonstration» также потребует применения разработанного в статье метода прогнозирования столкновений с внешними препятствиями.

Подход «Programming by Demonstration» обеспечивает естественный способ программирования роботов, показывающий ему желаемую задачу. Метод основан на обучении робота выполнять различные операции по результатам действий «учителя».

Очевидно, что в процессе обучения «учитель» может совершать ошибки, например, из-за плохой калибровки копирующего костюма, вызывая столкновения между манипуляторами и внешними препятствиями, тем самым выводя их из строя.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ. БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 14.578.21.0264, проект RFMEFI57818X0264).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Siciliano B., Khatib O. Robot learning, Handbook of robotics //Bruno Siciliano, Oussama Khatib (Eds.) - Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016, p 2227.
2. M. Crenganiu, R. Breaz, G. Racz, O. Bologna. The Inverse Kinematics Solutions of a 7 DOF Robotic Arm Using Fuzzy Logic // 2012 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA) , p.518-523.
3. M. Shahinpoor, A Robot Engineering Textbook , Harper & Row Publishers, Inc., New York, 1987.
4. FEDOR: Final Experimental Demonstration Object Research // Новый оборонный заказ. Стратегии. – СПб: ООО «Дифанс-Медиа», 2019. – №5(58).

ИСПЫТАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОРШНЕВОГО МЕХАНИЗМА АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВОЙ ГИДРОМАШИНЫ В НАСОСНОМ РЕЖИМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В. С. Ельчинский, С. М. Стажков, А. О. Кузьмин, В. А. Королев

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»

им. Д.Ф. Устинова г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В современных гидравлических приводах объемного действия широко используются аксиально-поршневые гидромашины с наклонным диском, что обусловлено их высокой энергоемкостью и простотой конструкции. Однако большая по величине зона нечувствительности существенно снижает их диапазон регулирования. С целью уменьшения зоны нечувствительности была разработана конструкция усовершенствованного поршневого механизма, в процессе работы которого возникают существенно меньшие, по сравнению со стандартной конструкцией, силы трения. В данной работе представлены результаты экспериментальных трибологических испытаний штатного и усовершенствованного поршневых механизмов и влияния этих механизмов на момент срабатывания гидромашины.

Ключевые слова. Аксиально-поршневая гидромашинa с наклонным диском, зона нечувствительности, силы трения в поршневом механизме, гидравлический привод.

I. ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Аксиально-поршневые гидромашины с наклонным диском (АПГНД) часто применяются в объемных гидравлических передачах в составе энергоемких следящих приводов и приводов постоянной частоты вращения выходного вала [1].

Основными отличительными достоинствами АПГНД являются: высокая энергоемкость (отношение преобразуемой мощности к массе или объему гидромашины); обратимость (способность гидромашины выполнять как функции насоса, так и гидродвигателя); высокий уровень КПД в широком диапазоне преобразуемой мощности; высокие рабочие давления и возможность дальнейшего форсирования по давлению; быстроходность, благодаря малым радиальным габаритам и поэтому малым моментам инерции вращающихся частей, что особенно важно при использовании их в качестве гидромоторов.

Однако существенным недостатком АПГНД, по сравнению с аксиально-поршневыми гидромашинами с наклонным блоком цилиндров (АПГНБ), является малый диапазон регулирования, вызванный наличием большой зоны нечувствительности. Влияние на зону нечувствительности оказывают угол наклона блока цилиндров относительно опорного диска (а для АПГНБ - опорной шайбы) и величина силы трения в поршневой паре гидромашины. Для снижения сил трения был разработан и изготовлен модифицированный поршневой механизм [2].

Усовершенствованный поршневой механизм отличается от штатного смещением опоры относительно продольной оси поршня, что позволяет, изменив силовую схему поперечных сил, уменьшить суммарную реакцию и, следовательно, величину сил трения в поршневой паре. Также такая конструкция позволяет осуществить гидростатическую разгрузку пары “поршень-цилиндр”.

В данной работе приведены результаты испытаний и сравнительный анализ штатного поршневого механизма, усовершенствованного поршневого механизма со смещенной опорой без гидростатической разгрузки поршневой пары и усовершенствованного поршневого механизма со смещенной опорой и гидростатической разгрузкой поршневой пары.

Изучив исследования, проводимые в этой области [3],[4], в частности, построение математических моделей аксиально-поршневых гидроприводов и изучение факторов, влияющих на КПД и зону нечувствительности, была разработана специальная экспериментальная установка. В

конструкции установки использовался вращающийся опорный диск с углом наклона 18° , то есть был применен принцип инверсии, допустимый за счет кинематической обратимости данного типа гидромашин.

II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рычаг длиной 0.3 м устанавливался груз массой 130 Н, вследствие чего на валу образовывался момент в 38.3 Н·м. Давление в подпоршневой полости сначала плавно повышалось до величины, позволявшей удерживать груз на весу, а затем плавно понижалось до значения, при котором рычаг страгивался с места вместе с опорным диском, и поршневой механизм переходил в насосный режим работы.

Регистрация момента перехода в насосный режим происходила с помощью датчика усилия, который синхронизирован по времени с датчиком давления. Момент перехода в насосный режим в связи с опрокидыванием груза сменялся резким переходом в моторный режим, что мгновенно фиксировалось датчиком усилия.

На рис. 1 представлена схема экспериментальной установки, цифрами обозначены: 1 – поршень, 2 – башмак, 3 – наклонный диск, 4 – вал, 5 – радиально упорный подшипник, 6 – датчик усилия.

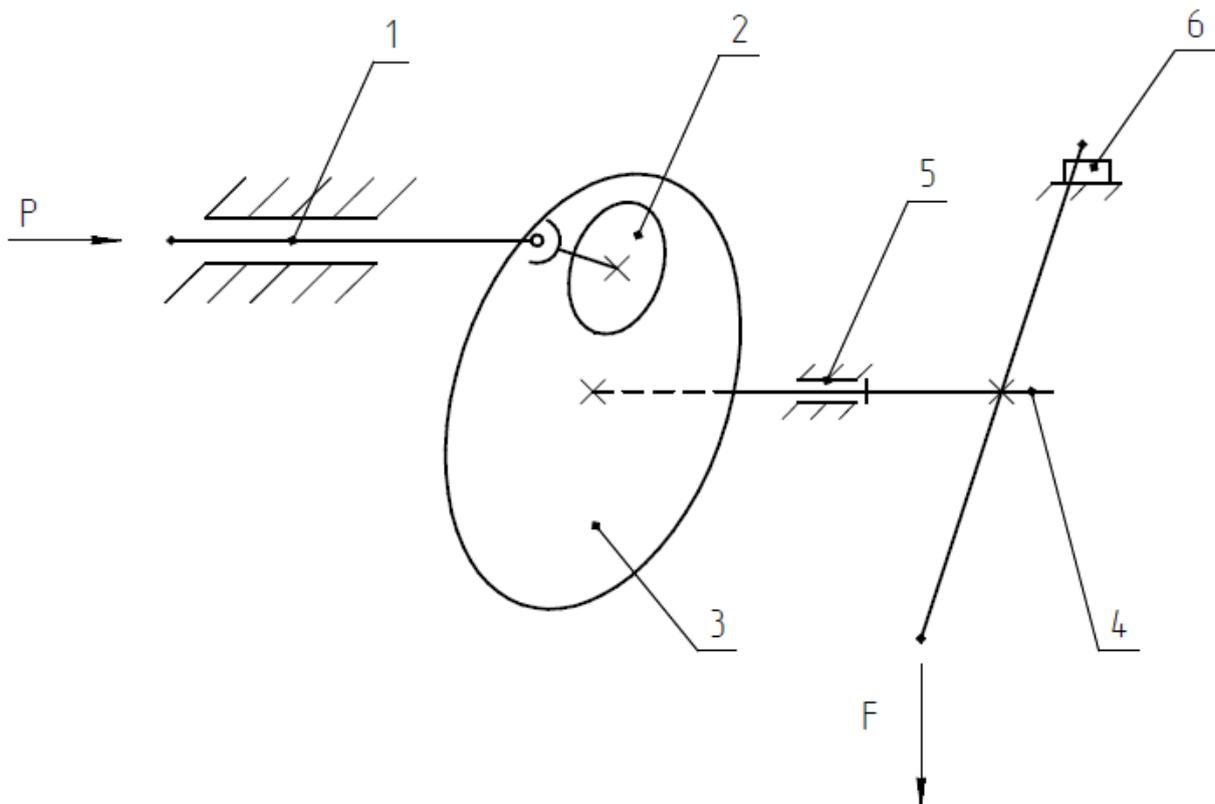


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 2-4 приведены графики зависимости усилия, создаваемого поршнем, от давления в ходе эксперимента для исследуемых поршневых механизмов при моменте на валу в 38.3 Н·м.

Для наглядности на графиках выделены зоны: I – зона моторного режима работы, II – зона нечувствительности, III – зона перехода в насосный режим.

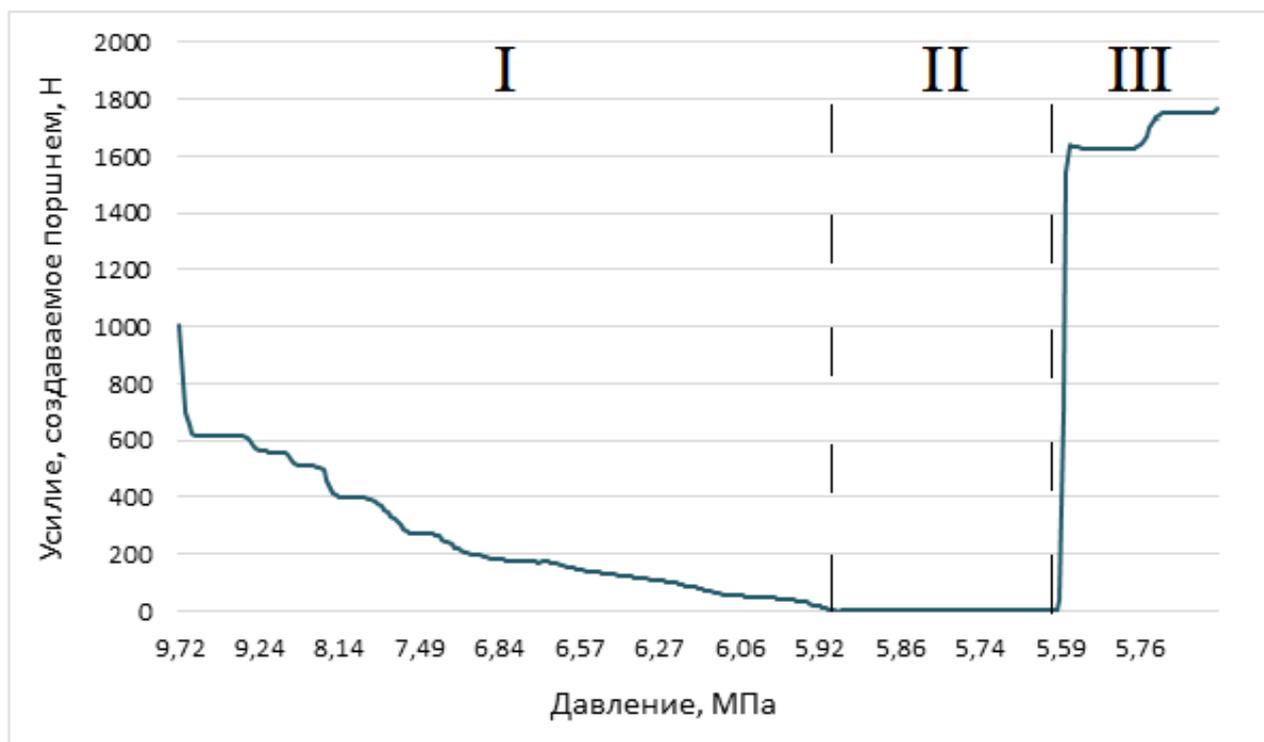


Рис. 2. Переход в насосный режим при моменте на валу 38.3 Н·м для штатного поршневого механизма

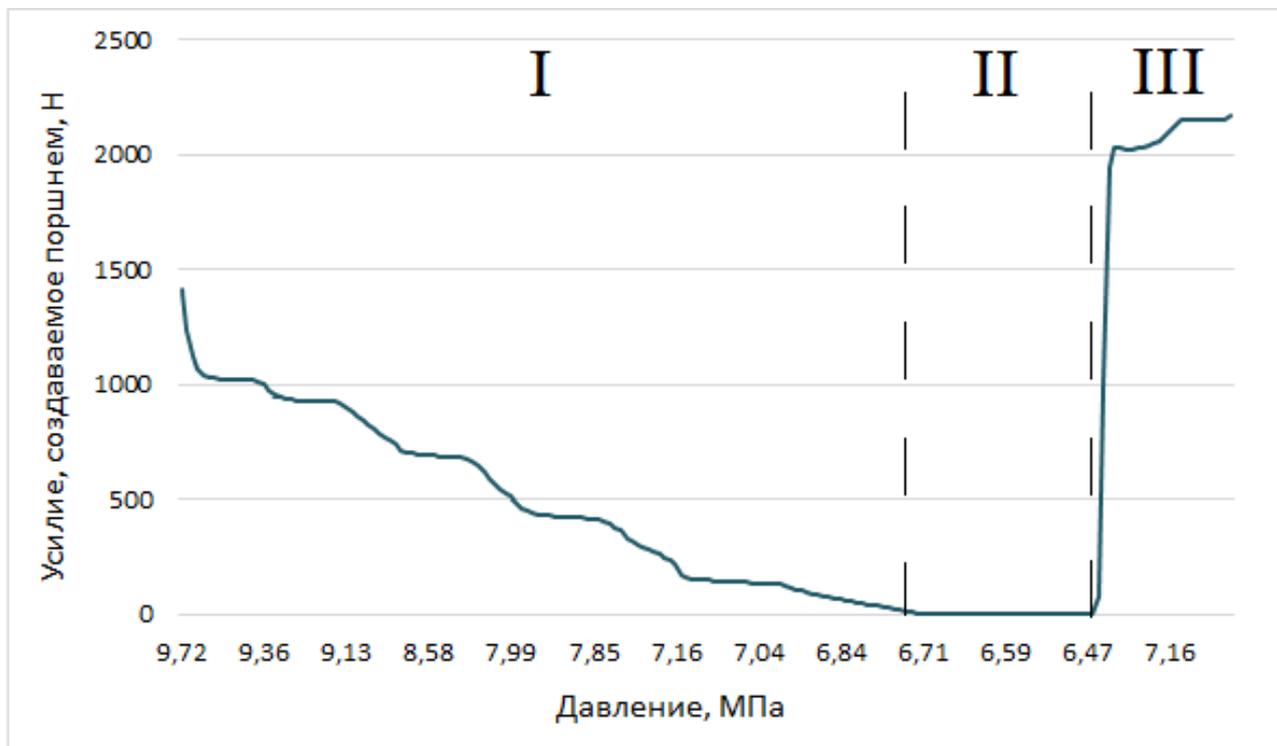


Рис. 3. Переход в насосный режим при моменте на валу 38.3 Н·м для модифицированного поршневого механизма без гидростатической разгрузки

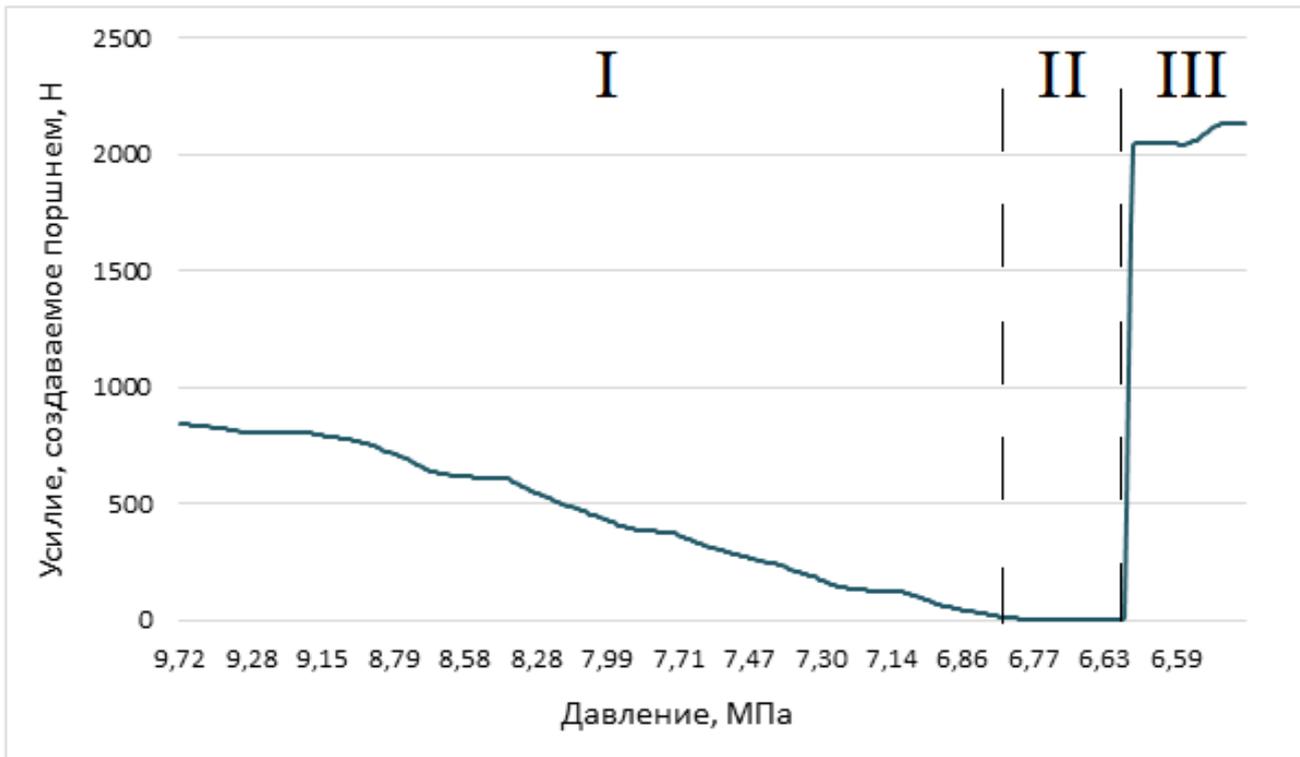


Рис. 4. Переход в насосный режим при моменте на валу 38.3 Н·м для модифицированного поршневого механизма с гидростатической разгрузкой

Проанализировав данные графики, можно заметить, что существует диапазон значений давления, внутри которого датчик усилия фактически не регистрирует воздействия, однако груз находится в положении равновесия, следовательно, удерживается исключительно за счет сил трения в поршневой паре. Также можно заметить уменьшение зоны нечувствительности для модифицированных поршневых механизмов в 1.8 раза.

Разница сил, при которых произошёл переход в насосный режим, является разницей в силах трения соответствующих поршневых механизмов. Отношение силы трения к силе давления на торец поршня для насосного режима находится по следующей зависимости:

$$\frac{T}{F_p} = \frac{\operatorname{tg}\gamma \cdot (l_{CA} + l_{CB} + 2 \cdot f \cdot r) - 2 \cdot r_c}{\operatorname{tg}\gamma \cdot (l_{CA} + l_{CB} + 2 \cdot f \cdot r) - 2 \cdot r_c - \frac{l_{AB}}{f}} \quad (1)$$

где T – сила трения в поршневой паре, F_p – сила давления на торец поршня, γ – угол наклона опорного диска, f – коэффициент трения, r – радиус поршня, r_c – величина смещение шарнира поршня от продольной оси, l_{CB} – расстояние от оси шарнира до точки контакта В, l_{CA} – расстояние от оси шарнира до точки контакта А.

По полученному отношению (1) были найдены значения силы трения для штатного, модифицированного без гидростатической разгрузки и модифицированного с гидростатической разгрузкой поршневых механизмов.

Для давления перехода в насосный режим штатного поршневого механизма теоретически полученное значение силы трения составит 365.9 Н, экспериментальное – 354.8 Н; для модифицированного поршневого механизма без гидростатической разгрузки теоретически полученное значение – 157.3 Н, экспериментальное – 154.6 Н; для модифицированного поршневого механизма с гидростатической разгрузкой теоретически полученное значение – 149.8 Н, экспериментальное – 146.3 Н.

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с результатами экспериментальных исследований зона нечувствительности при применении модифицированного поршневого механизма уменьшилась в 1.8 раз; силы трения при применении модифицированного поршневого механизма без гидростатической разгрузки снизились на 63%, при применении модифицированного поршневого механизма с гидростатической разгрузкой силы трения снизились на 64.5% по сравнению со штатной конструкцией.

Результаты данных экспериментов дают основание полагать, что применение модифицированного поршневого механизма в аксиально-поршневых гидромашинах с наклонным диском приводит к существенному уменьшению сил трения в насосном режиме работы поршневого механизма, что позволит значительно расширить применение данных гидромашин в реверсивных приводах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов/ Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др.- 2-е изд., перераб.- М.: Машиностроение, 1982. – 423с., ил.
2. Stazhkov, S[ergey]; Korobova, I[raida]; Korolev, V[ladimir] & Kuzmin, A[nton] (2019). Hydrodynamic Processes Research of the Positive Displacement Hydraulic Machines Piston Interface, Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium, pp.0580-0585, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-22-8, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria
3. Grzegorz Skorek, Determination of Coefficients of Energy Losses Occurring in a Constant Capacity Pump Working in a Typical Hydrostatic Drive, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 26, No. 1 2019.
4. Mengdi Gao, Haihong Huang, Xinyu Li, Zhifeng Liu, A Novel Method to Quickly Acquire the Energy Efficiency for Piston Pumps, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control OCTOBER 2016, Vol. 138.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА РОБОТА ОТНОСИТЕЛЬНО РЕАЛИЗУЕМОЙ ТРАЕКТОРИИ В РТК НА БАЗЕ ОБРЕЗНОГО ПРЕССА

В. Г. Хомченко, А. В. Колтышкин

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. Рассмотрена проблема проектирования роботизированного технологического комплекса на базе обрезающего пресса. Данная проблема актуальна для промышленных предприятий, занимающихся обработкой деталей с использованием роботизированных технологических комплексов. Целью работы является нахождения оптимального расположения манипулятора относительно объектов комплекса и заданной траектории движения схвата. Для решения данной задачи разработаны алгоритм оптимизационного поиска и соответствующая расчетная программа. В результате получены оптимальные координаты расположения манипулятора.

Ключевые слова. Оптимизация, роботизированный технологический комплекс, метод градиентного спуска, манипулятор, целевая функция.

I. ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация технологических процессов, представляет собой неотъемлемую часть организации любого современного производства, особенно это относится к автоматизации изготовления деталей, имеющих большой вес и габариты. Одним из способов автоматизации в этом случае является применение для загрузки заготовок и выгрузки готовых изделий промышленных роботов, что позволит увеличить выпуск деталей в единицу времени и повысить культуру производства.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При использовании промышленного робота в составе роботизированного технологического комплекса (РТК) возникает задача оптимального расположения манипулятора этого робота относительно требуемой (заданной) траектории движения схвата. Траектория движения схвата определяется, кроме прочего, расположением обслуживаемого технологического оборудования и необходимостью обеспечения плавности движения удерживаемого предмета манипулирования и свободным подходом в рабочую зону оборудования и выходом из нее [1]. В случае правильно выбранного расположения манипулятора снижается нагрузка на звенья манипулятора при перемещении им заготовок и готовых деталей между объектами РТК.

Задачей данной работы является нахождение оптимального расположения манипулятора робота в роботизированном технологическом комплексе на базе обрезающего пресса.

III. ТЕОРИЯ

РТК на базе обрезающего пресса показан на рисунке 1. Обрезающие прессы предназначены для обрезки излишек материала, остающихся на детали после обработки. Промышленный робот захватывает заготовку в исходной позиции питателя (1), укладывает ее в штамп обрезающего пресса (2), а после обрезки укладывает поковку в тару для отштампованных деталей (3), после чего схват манипулятора вновь перемещается к исходной позиции (1). Далее цикл работы повторяется. Для упрощения траектории позиции входного и выходного накопителей и высота расположения штампа приняты на одном уровне.

Для загрузки-выгрузки используется манипулятор ангулярного типа Fanuc M-410iB/450. Конструкция этого манипулятора имеет рабочую зону, достаточную для обслуживания проектируемого РТК, и позволяет обходить имеющиеся препятствия. Рабочий диапазон перемещения схвата робота показан на рис. 2.

Нахождение оптимальной позиции манипулятора будем определять при условии, что масса заготовки равна 80 кг, масса готовой детали – 70 кг. Также в работе учитывается масса схвата манипулятора – 15 кг. Таким образом, при перемещении заготовки в рабочую зону обрезного пресса робот переносит массу, равную 95 кг, а при перемещении детали от обрезного пресса к выходному накопителю – 85 кг. После обработки заготовки масса готовой детали за счёт обрезки облоя уменьшится и составит вместе со схватом 85 кг. При перемещении от тары для отштампованных деталей до исходной позиции питателя учитывается масса схвата.

Исходя из выше сформулированных требований, зададим координаты траектории движения схвата между позицией накопителя заготовок 1, штампом пресса 2 и накопителем готовых деталей 3, а так же при его движении от накопителя готовых деталей 3 к накопителю заготовок 1 (табл.1).

В качестве критериальной функции K для рассматриваемой задачи примем выражение:

$$K = K_1 + K_2,$$

где:

$$K_1 = 95 * \sum_{i=1}^{i=5} \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} + 85 * \sum_{i=6}^{i=10} \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} + 15 * \sum_{i=11}^{i=15} \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2};$$

$$K_2 = 95 * \sqrt{(x - x_I)^2 + (y - y_I)^2} + 85 * \sqrt{(x - x_{II})^2 + (y - y_{II})^2} + 15 * \sqrt{(x - x_{III})^2 + (y - y_{III})^2};$$

x и y – искомые координаты расположения манипулятора; x_i и y_i – координаты i -й точки заданной траектории; x_I ; y_I , x_{II} ; y_{II} и x_{III} ; y_{III} – координаты соответственно накопителя заготовок 1, штампа пресса 2 и накопителя готовых деталей 3.

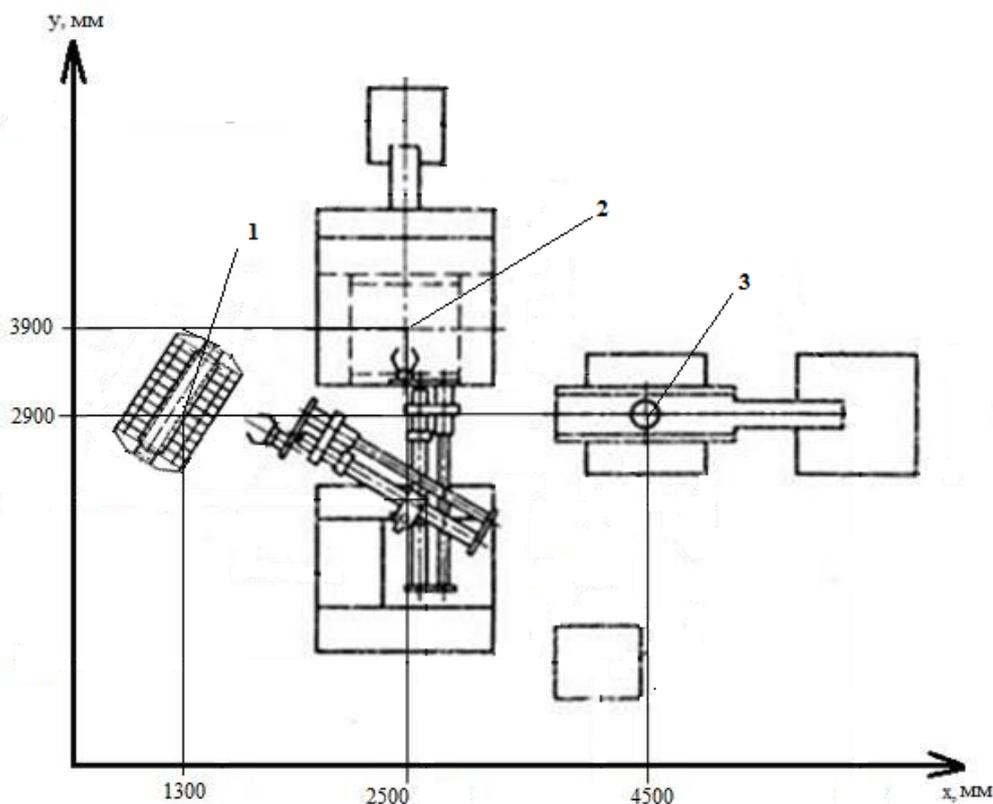


Рис. 1. Роботизированный технологический комплекс на базе обрезного пресса

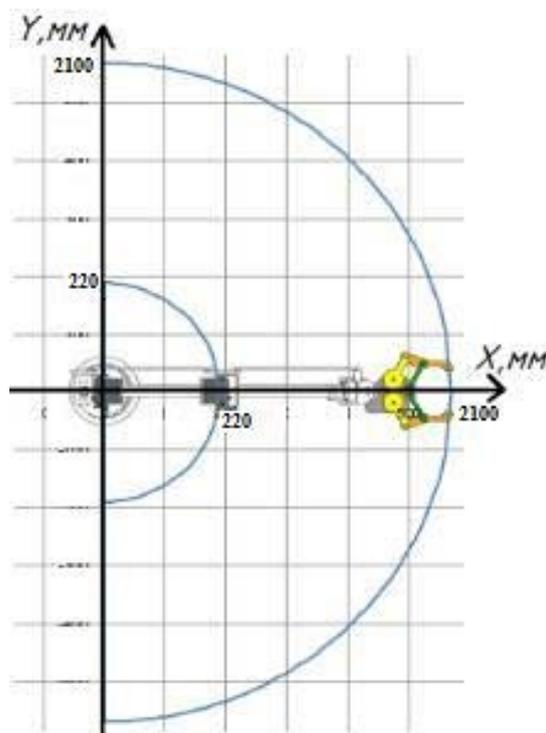


Рис. 2. Рабочая зона манипулятора

ТАБЛИЦА 1.
 КООРДИНАТЫ ТОЧЕК ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СХВАТА
 И ПОЗИЦИЙ ОБОРУДОВАНИЯ РТК

| № точек траектории | x, мм | y, мм | Масса заготовки/детали/схвата, кг |
|-------------------------------------|-------|-------|-----------------------------------|
| Питатель поштучной выдачи заготовки | 1300 | 2900 | 95 |
| Точка 1 | 1540 | 2900 | 95 |
| Точка 2 | 1780 | 3050 | 95 |
| Точка 3 | 2150 | 3300 | 95 |
| Точка 4 | 2320 | 3500 | 95 |
| Точка 5 | 2500 | 3700 | 95 |
| Обрезной пресс | 2500 | 3900 | 95 |
| Точка 6 | 2500 | 3700 | 85 |
| Точка 7 | 2800 | 3350 | 85 |
| Точка 8 | 3200 | 3090 | 85 |
| Точка 9 | 3600 | 2940 | 85 |
| Точка 10 | 4100 | 2900 | 85 |
| Тара для отштампованных деталей | 4500 | 2900 | 85 |
| Точка 11 | 4100 | 2900 | 15 |
| Точка 12 | 3250 | 3550 | 15 |
| Точка 13 | 2500 | 3700 | 15 |
| Точка 14 | 1900 | 3420 | 15 |
| Точка 15 | 1540 | 2900 | 15 |

Для решения данной задачи воспользуемся градиентным методом [2-4], алгоритм которого представлен на рис. 3.

Реализацию метода градиентного спуска осуществляется функцией `grad_sp (x0, y0, eps)`, входными параметрами которой являются координаты начальной точки приближения и точность приближенного решения ϵ . Результатом выполнения этой функции будет значение координат расположения манипулятора, доставляющих минимум рассматриваемой критериальной функции и значение критериальной функции (рис. 4). Функция `grad_sp (x0, y0, eps)` содержит вспомогательные функции $f_x(x,y)$ и $f_y(x,y)$, которые вычисляют частные производные по координатам x и y .

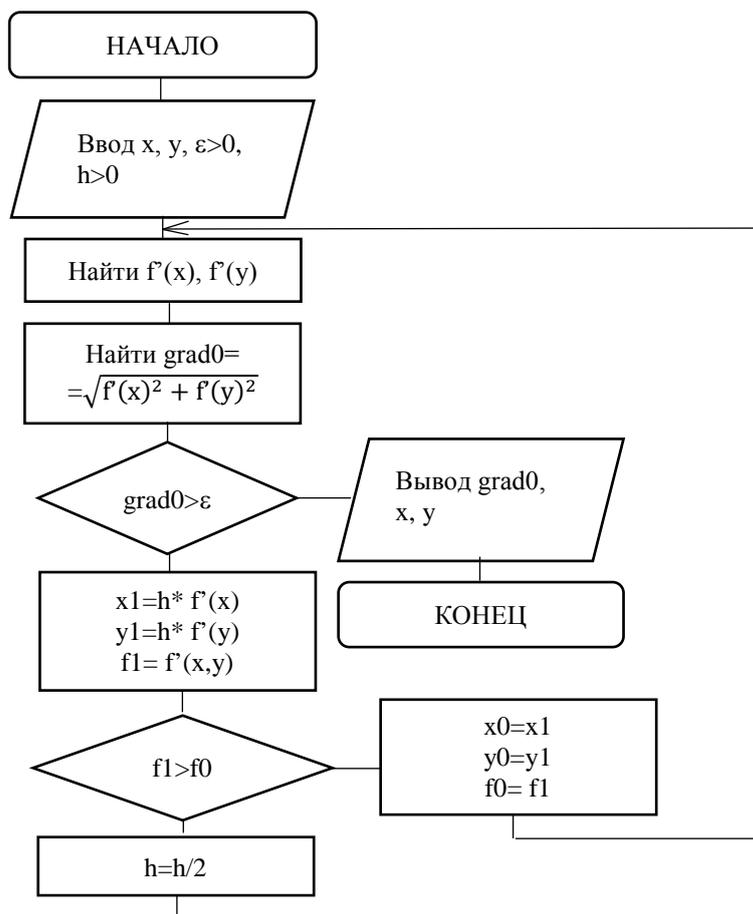


Рис. 3. Алгоритм градиентного метода

$$\text{grad_sp}(3,3,0.001) = \begin{pmatrix} 2.472 \times 10^3 \\ 3.439 \times 10^3 \\ 1.033 \times 10^6 \end{pmatrix}$$

Рис. 4. Результат выполнения программы

Алгоритм достаточно хорошо работает в большинстве случаев за исключением произвольно расположенных, «глубоких» оврагов в рельефе критериальной функции [1].

По результатам расчетов построены линии уровня критериальной функции K (рис. 5). Вычислительная траектория движения к минимуму критериальной функции в этом методе располагается нормально по отношению к линиям уровней этой функции.

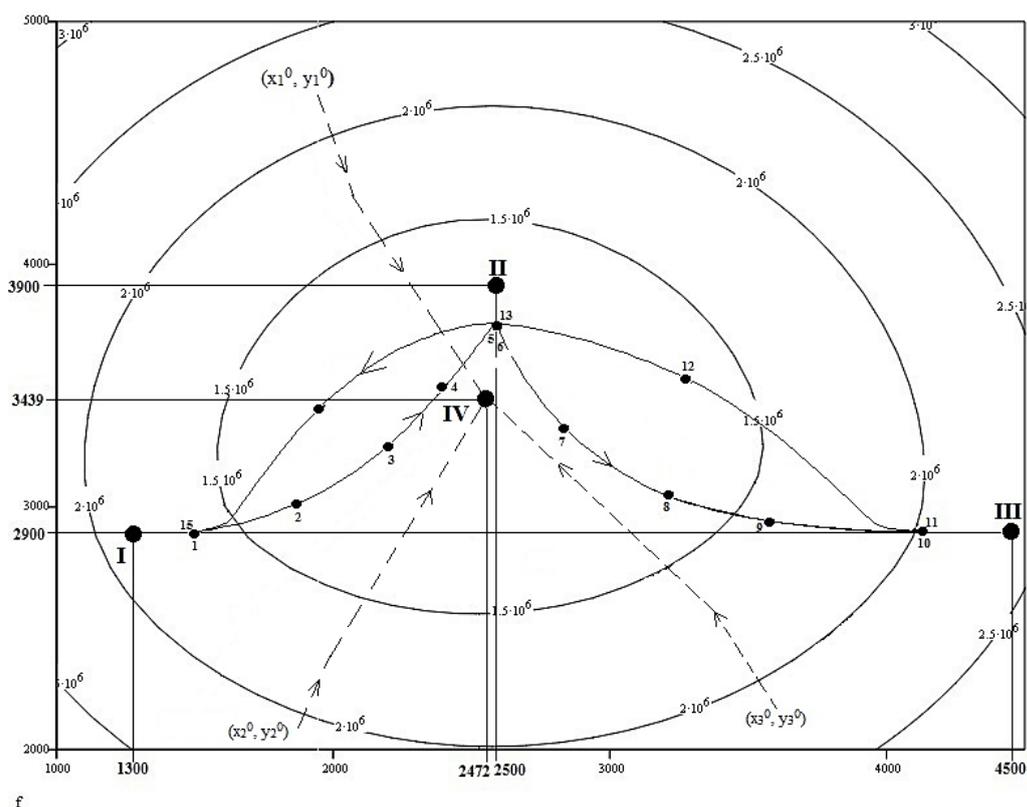


Рис. 5. Линии уровня функции

Сплошными линиями на рис. 5 показана траектория движения схвата манипулятора между объектами РТК: I – питатель поштучной выдачи заготовок; II – обрезной пресс; III – тара для отштампованных деталей; IV – манипулятор. Пунктирной линией показано нахождение оптимальной точки расположения манипулятора из трёх начальных точек: $(x_1^0 = 1900; y_1^0 = 4650)$; $(x_2^0 = 1850, y_2^0 = 2100)$; $(x_3^0 = 3700, y_3^0 = 2250)$.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Градиентным методом было получено оптимальное расположение манипулятора относительно других объектов РТК и заданной траектории со следующими координатами: $x = 2472$ мм, $y = 3439$ мм, целевая функция при этом $F(x,y)=1,033 \cdot 10^6$ кг*мм. Рабочая зона манипулятора, при найденных координатах его расположения, позволяет обойти габариты прессы и реализовать заданную траекторию его перемещения. При данном расположении манипулятора, затраты на перемещение заготовок и деталей будут минимизированы, снизится также нагрузка на его звенья.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложена критериальная функция оценки качества расположения манипулятора работа, разработаны алгоритмы и программа для нахождения минимума критериальной функции от двух переменных методом градиентного спуска. В результате было получено оптимальное расположения манипулятора относительно объектов РТК и заданной траектории перемещения предметов манипулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. Г. Хомченко, В. Ю. Соломин. Мехатронные и робототехнические системы: учеб. пособие – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008. – 160 с.
2. Васильков Ю.В., Василькова Н.Н. Компьютерные технологии вычислений в математическом моделировании: Учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 256 с.
3. Дьяконов В.П. MathCAD 14 в математике: Справ. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 958 с.
4. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Оптимизация в технике. В 2 кн. Кн. 1. – М.: Мир, 1986. – 349 с.

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ АЛГОРИТМОВ ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ МОБИЛЬНЫХ НАЗЕМНЫХ РОБОТОВ

Я. В. Касьянов, Е. В. Федотова, К. В. Штыбина

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. В статье рассматривается проблема планирования маршрута движения мобильного наземного робота и то, как она решается при помощи алгоритмов поиска путей на графах. Проводится анализ развития этих алгоритмов от общих, наименее эффективных в условиях функционирования мобильных роботов к наиболее специализированным и полезным. Рассматриваются такие алгоритмы, как поиск в ширину, алгоритм Дейкстры, А-звезда и Safe interval path planning for dynamic environments.

Ключевые слова. Мобильная робототехника, поиск пути, планирование маршрута, автоматическое пилотирование

1. ВВЕДЕНИЕ

В условиях все большего внедрения мобильных роботов в сферы профессиональной и повседневной жизнедеятельности человека особенно важными становятся показатели безопасности и скорость их перемещения в условиях наличия других движущихся агентов: людей, животных, других мобильных технических систем. Одним из определяющих условий для реализации этих показателей является эффективность алгоритмов, используемых для решения задач планирования и управления движением робота. В данной работе рассмотрена задача поиска пути от текущей позиции, в которой находится робот, до целевой позиции, в которую он должен переместиться в процессе работы. Выбранный для ее решения алгоритм должен обеспечивать построение кратчайших маршрутов движения, позволяющих избегать столкновений робота с препятствиями.

Для того, чтобы осуществлять поиск таких траекторий в автоматическом режиме, бортовая вычислительная система робота должна иметь модель среды функционирования. Так как в данной задаче рассматриваются мобильные наземные роботы, то среду функционирования можно представить как плоскость, по которой осуществляется движение. Одним из наиболее широко применяемых подходов модели среды является сетчатая карта занятости (СКЗ): плоскость разбивается квадратной сеткой, клетки которой могут содержать непроходимые препятствия, либо быть доступны для движения робота [1]. Основным достоинством этой модели является то, что ее можно легко представить в виде графа, как показана на рис. 1.

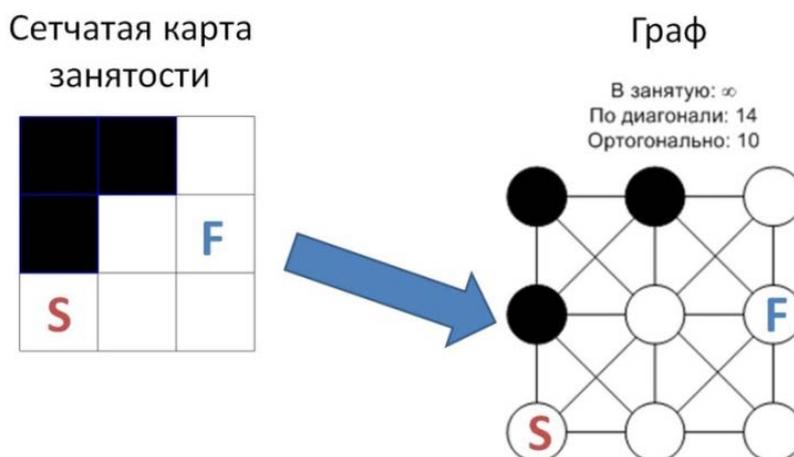


Рис. 1. Преобразование сетчатой карты занятости во взвешенный граф

Вершины такого графа будут соответствовать реальным участкам пространства функционирования робота. На этом графе также обозначены начальная вершина S , соответствующая текущей занимаемой роботом позиции, и вершина F , отображающая целевую позицию движения. Далее, обладая таким графом, в памяти бортовой ЭВМ, возможно осуществлять поиск безопасного маршрута движения, используя алгоритмы поиска путей на графах.

II. ПОИСК В ШИРИНУ

Существуют различные алгоритмы, позволяющие найти маршрут на графе из начальной вершины в целевую. Одним из первых для решения этой задачи стал применяться алгоритм поиска в ширину [2]. Приведем псевдокод алгоритма поиска в ширину с остановкой в вершине *финиш* (таблица 1). Там же приведены основные определения, используемые в псевдокоде.

В начале выполнения алгоритма (строки 1-3) создаём границу, в которую помещаем вершину *старт* (S). Для неё родительская вершина отсутствует. Далее основной цикл алгоритма (строки 4-11) выполняются, пока в очереди *граница* находится хотя бы одна вершина. В процессе его выполнения вершина, которая извлекается из *границы*, именуется *текущая* на протяжении одной итерации цикла.

ТАБЛИЦА 1
ПСЕВДОКОД АЛГОРИТМА ПОИСКА В ШИРИНУ

| Псевдокод | Определения |
|--|---|
| 1. Создаем пустую очередь <i>граница</i> 2. Добавляет вершину <i>старт</i> в <i>граница</i> 3. <i>родитель</i> [<i>старт</i>] = отсутствует 4. пока <i>граница</i> не пуста: 5. <i>текущая</i> = извлечь вершину из <i>граница</i> 6. если <i>текущая</i> является <i>финиш</i> то: 7. завершить работу 8. для каждой <i>соседней</i> из <i>Соседи</i> (<i>текущей</i>): 9. если <i>родитель</i> [<i>соседняя</i>] не определено то: 10. добавляем <i>соседнюю</i> в очередь <i>граница</i> 11. <i>родитель</i> [<i>соседняя</i>] = <i>текущая</i> | <i>граница</i> – очередь по принципу «первый зашел – первый вышел»; <i>старт</i> – начальная позиция(вершина графа); <i>финиш</i> – целевая позиция(вершина графа); <i>текущая</i> – текущая рассматриваемая вершина; <i>Соседи(x)</i> – множество вершин, соседствующих с вершиной x ; <i>соседняя</i> – вершина соседствующая с вершиной <i>текущая</i> ; <i>родитель[x]</i> – указатель на вершину, из которой была посещена вершина x ; |

Если *текущая* вершина является *финишем*, это значит, что маршрут от вершины *старт* до *финиша* найден, и работа алгоритма окончена (строки 6-7). Если *текущая* вершина не является конечной, то поиск пути продолжается во вложенном цикле (строки 8-11). Находим все вершины графа, соединенные с *текущей* рёбрами. Обозначим множество этих вершин как *Соседи* (*текущая*) (строка 8). Далее для каждой *соседней* из них проверяем, была ли эта вершина обследована ранее (строка 9). Если это условие не выполняется, то добавляем *соседнюю* вершину в *границу* и определяем указатель *родитель* [*соседняя*] = *текущая* (строки 10-11). Таким образом, алгоритм функционирует, пока не найдётся *финиш* (строка 6), либо пока граница не опустеет, что указывает на невозможность найти маршрут. Пример постановки задачи, две итераций выполнения и окончания работы алгоритма поиска в ширину приведен на рис. 2. Вершины отмеченные крестиком являются занятыми препятствиями и движение через них невозможно.

Чтобы восстановить маршрут, полученный таким образом, необходимо двигаться по указателям *родитель* из вершины F до стартовой вершины S . Длина найденной в результате траектории определяется количеством ребер, входящих в неё. Таким образом, алгоритм поиска в ширину позволяет находить кратчайшие маршруты на графах, у которых веса ребер равны или отсутствуют.

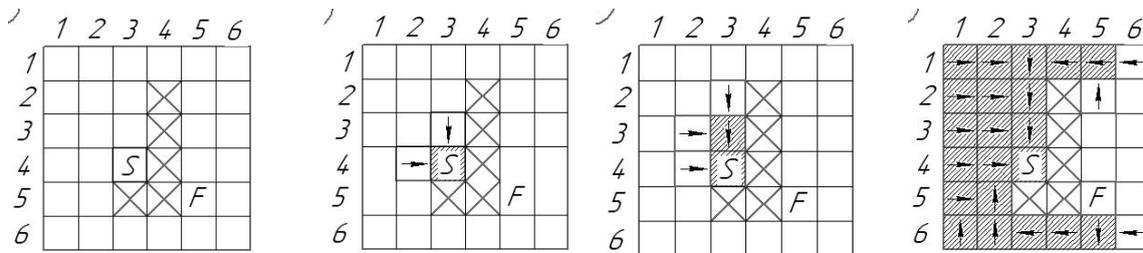


Рис. 2. Пример работы алгоритма поиска в ширину

III. АЛГОРИТМ ДЕЙКСТРЫ

Ограничение рассмотренного алгоритма не позволяет применять его для графов, в которых присутствуют не только ортогональные ребра, но и диагональные из-за разницы в длине, следовательно, и разницы в затратах перемещения по ребрам. Также различные свойства поверхностей, по которым может двигаться робот, могут значительно влиять на скорость его перемещения. Например, для робота на колесной платформе движение по асфальту является более быстрым, чем аналогичное движение по песку. Чтобы отразить эти особенности пространства необходимо учитывать меняющуюся стоимость перемещения между вершинами. Это легко реализовать, используя взвешенный граф (рис. 1, кадр справа), веса рёбер которого показывают затраты времени необходимые на перемещения. Чтобы учитывать разницу в весах ребер графа в процессе поиска кратчайшего пути используется алгоритм Дейкстры [3], псевдокод которого приведен в таблице 2. Также в ней представлены новые определения, либо определения поменявшие свое значение. Остальные термины и обозначения взяты из таблицы 1.

ТАБЛИЦА 2
ПСЕВДОКОД АЛГОРИТМА ДЕЙКСТРЫ

| Псевдокод | Определения |
|--|---|
| 1. Создаем пустую очередь <i>граница</i> 2. $G[\text{старт}] = 0$ 3. Добавить <i>старт</i> в <i>граница</i> с приоритетом $G[\text{старт}]$ 4. <i>пришел_из [старт]</i> = отсутствует 5. пока <i>граница</i> не пуста: 6. <i>текущая</i> = извлечь из <i>граница</i> с наименьшим $G[x]$ 7. если <i>текущая</i> является <i>финиш</i> то: 8. завершить работу 9. для каждой <i>соседней</i> из <i>Соседи(текущая)</i> : 10. $N[\text{соседняя}] = G[\text{текущая}] + c(\text{текущая}, \text{соседняя})$ 11. если $G[\text{соседняя}]$ не определено ИЛИ $N[\text{соседняя}] < G[\text{соседняя}]$ то: 12. $G[\text{соседняя}] = N[\text{соседняя}]$ 13. Добавить <i>соседняя</i> в <i>граница</i> с $G[\text{соседняя}]$ 14. <i>пришел_из [соседняя]</i> = <i>текущая</i> | <i>граница</i> – очередь с обратным приоритетом: извлекается вершина с наименьшим значением $G(x)$; $c(x, y)$ – стоимость передвижения из вершины x в вершину y (функция); $G[x]$ – стоимость передвижения из вершины <i>старт</i> в вершину x ; $N[x]$ – текущая рассматриваемая стоимость передвижения из вершины <i>старт</i> в вершину x ; |

Одно из главных отличий алгоритма Дейкстры от алгоритма поиска в ширину является наличие у каждой вершины приоритета. Различия алгоритмов начинаются со 2 строки, когда присваиваем вершине *старт* стоимость передвижения $G[x]$, а в 3 строке добавляем вершину в *границу*, но уже с определенным приоритетом. В процессе одной итерации *текущей* является вершина с наименьшим приоритетом, извлеченная из очереди (строка 6). В течении цикла (строки 9-14) берем очередную *соседнюю* вершину из множества *Соседей(текущая)*. Определяем предполагаемую наименьшую

стоимость передвижения из вершины *старт* в *соседнюю* $N(\text{соседняя})$, как сумму уже найденного пути от *старт* до *текущей* $G[\text{текущая}]$ и стоимости ребра, соединяющего *текущую* и *соседнюю* вершины, $s(\text{текущая}, \text{соседняя})$ (строка 10). Далее, если выполняется одно из двух условий: $G[\text{соседняя}]$ не определено или $N[\text{соседняя}]$ меньше, чем $G[\text{соседняя}]$, то присваиваем $G[\text{соседняя}]$ значение $N[\text{соседняя}]$ (строка 12). Второе условие позволяет обрабатывать ситуации, когда ранее уже был найден маршрут до вершины, но в процессе дальнейшей работы до этой вершины был найден менее долгий путь. После определения значения G , добавляем *соседнюю* вершину в границу и определяем его *родителя* как вершину *текущая* (строки 13-14). Таким образом, алгоритм функционирует, пока не найдётся *финиш* (строка 7).

Алгоритм Дейкстры осуществляет поиск на графе, равномерно во всех направлениях, при этом учитываются затраты на перемещение по ребрам графа, которые складываются в величину G , показывающую кратчайшее найденное расстояние от начальной вершины *старт* до любой из обследованных вершин графа. В ходе поиска большим приоритетом обладают кратчайшие траектории, что выражается наименьшим значением G . Такой подход позволяет точнее учитывать геометрические особенности пространства функционирования робота, а также неоднородность его ландшафта.

IV. АЛГОРИТМ А-ЗВЕЗДЫ

Хотя алгоритм Дейкстры нашел широкое применение на практике в том числе и в сфере мобильной робототехники, он обладает одним значительным недостатком. Изначальное назначение этого алгоритма — поиск кратчайших путей до всех вершин графа. Поэтому поиск осуществляемый таким образом ведется равномерно во всех направлениях. Но в задачах планирования движения робота необходимо найти кратчайший маршрут до одной конкретной вершины. Учитывая, что в реальных условиях функционирования к длительности построения и перепостроения маршрутов выдвигаются строгие временные ограничения, крайне желательным является концентрация вычислительных ресурсов на поиск именно в направлении целевой вершины. Для реализации этого принципа был разработан алгоритм А-звезды (A*) [4].

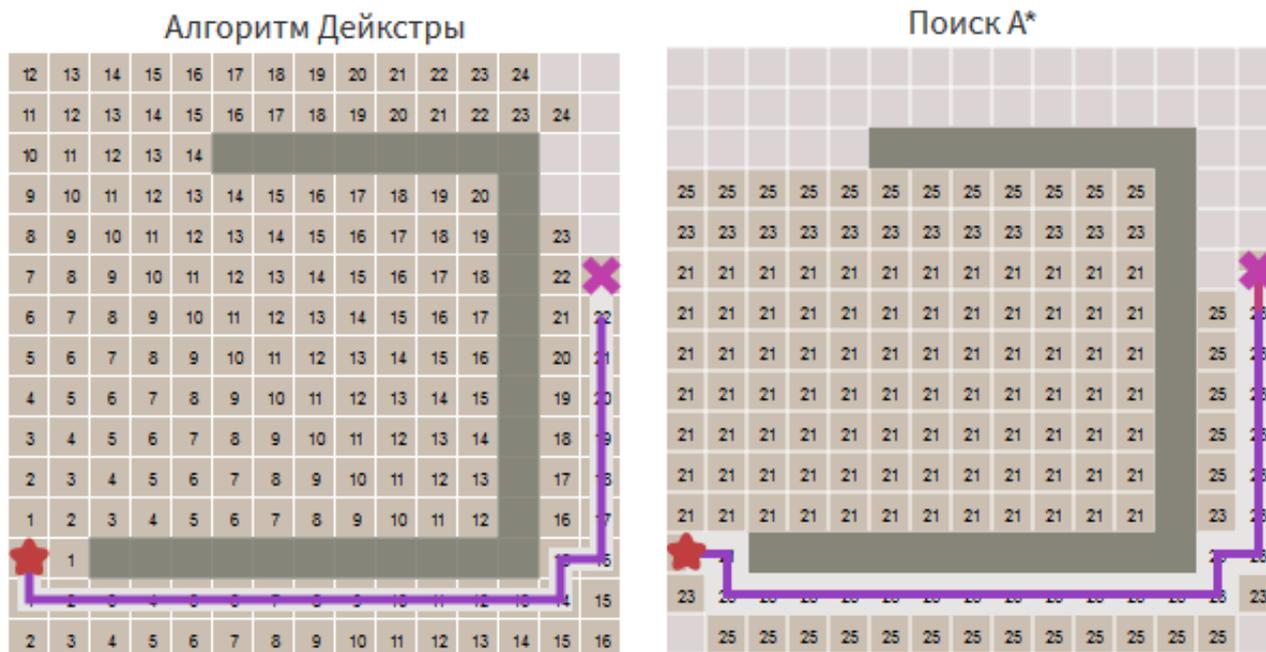


Рис. 3. Сравнение результатов выполнения алгоритмов Дейкстры и А-звезды

В его основе лежит алгоритм Дейкстры, в который была включена эвристическая оценка расстояния от любой вершины до целевой — $H(s)$. Эвристическая функция $H(s)$ может быть

реализована различными способами, зависящими от структуры графа и соображений разработчика. Но наиболее широко применяемый вариант — это оценка расстояния в евклидовой метрике. В исходном алгоритме Дейкстры приоритет определяется только значением $G(s)$. Для алгоритма A^* в процессе поиска при добавлении любой вершины графа s в очередь с обратным приоритетом, приоритет определяется суммой $F(s) = G(s) + H(s)$. Таким образом, вершины графа, расположенные дальше от целевой позиции *финиш*, будут обладать большим значением $F(s)$. Следовательно, из *границы* для обследования будут сперва извлекаться вершины расположенные ближе к вершине *финиш* с наименьшим значением $F(s)$.

Такой подход позволяет модифицировать алгоритм Дейкстры и сфокусировать поиск в сторону целевой вершины. На рис. 3 представлен пример поиска пути в одинаковых исходных условиях алгоритмами Дейкстры и A^* -звезды. Как видно, в обоих случаях найден одинаковый маршрут, но алгоритм A^* -звезды выполнил это быстрее, обследовав меньше вершин, чем алгоритм Дейкстры. Это позволяет снизить время поиска и сэкономить вычислительные ресурсы бортовой ЭВМ.

Хотя алгоритм A^* нашел широкое применение на практике в том числе и в сфере мобильной робототехники, он обладает одним значительным недостатком. Данный алгоритм рассчитан на работу со статическим графом: структура графа не меняется в процессе поиска. В реальных условиях функционирования мобильного робота зачастую окружает множество подвижных препятствий: люди, животные, другие мобильные технические системы и т. д. Изменения положения подвижных препятствий ведет к изменению структуры графа. Это может явиться причиной того, что найденный маршрут не является более действительным (например, препятствие становится на пути). В результате чего, алгоритм A^* должен быть выполнен заново, чтобы получить актуальную безопасную кратчайшую траекторию.

В настоящее время существуют алгоритмы, позволяющие определять подвижные препятствия и строить прогноз их перемещения на основе данных от бортовой сенсорной системы робота (лазерные и ИК дальномеры, камеры объемной съемки и др.) [5]. Чтобы избавиться от необходимости перестроения траектории движения в случае изменения положения препятствий, возможно строить маршруты, учитывающие полученный прогноз. Одним из алгоритмов, осуществляющий поиск пути на основе предполагаемого поведения препятствий, является Safe Interval Path Planning for Dynamic Environments (далее SIPP) [6].

В его основе также лежит поиск на графе, построенном на базе сетчатой карты занятости, но имеет несколько отличий. В СКЗ учитывается различие между статическими и подвижными препятствиями. Имея информацию о предполагаемом поведении подвижных препятствий, возможно строить прогноз изменения сетчатой карты занятости, это показано на рис. 4 на кадрах А, В, С.

Кадр А соответствует начальному моменту времени $t=0$. Кадры В и С соответствуют двум последующим прогнозируемым состояниям среды в дискреты времени $t=1$ и $t=2$. Позиция S — начальная занимаемая роботом позиция, F — целевая позиция маршрута. Пятиугольник — подвижное препятствие, клетки со штриховкой — неподвижные препятствия. Как было показано ранее, СКЗ легко преобразуется в двумерный граф, отражающий пространственные свойства среды функционирования робота.

В алгоритме SIPP для поиска траектории используется трехмерный граф, который имеет не только пространственные координаты X, Y , но и временную координату t (далее XUt -граф). Чтобы получить такой граф, плоские графы, соответствующие какому-то одному моменту времени, наслаиваются друг на друга в порядке увеличения t . В дальнейшем поиск по XUt -графу осуществляется аналогично алгоритму A^* с некоторым отличием. Перемещение возможно только между вершинами, соседствующими на плоскости XU , но при этом перемещении координата t вершины, в которую осуществляется перемещение, должна быть больше координаты t исходной вершины. И эта разница Δt должна быть больше или равна некоторому минимальному возможному времени движения робота, таким образом учитывается ограничение по скорости.

На кадре С (рис. 4) утолщенными стрелками показана проекция, найденного таким образом маршрута, на плоскость XU . Тонкими стрелками обозначены проекции остальных вершин, обследованные в процессе поиска.

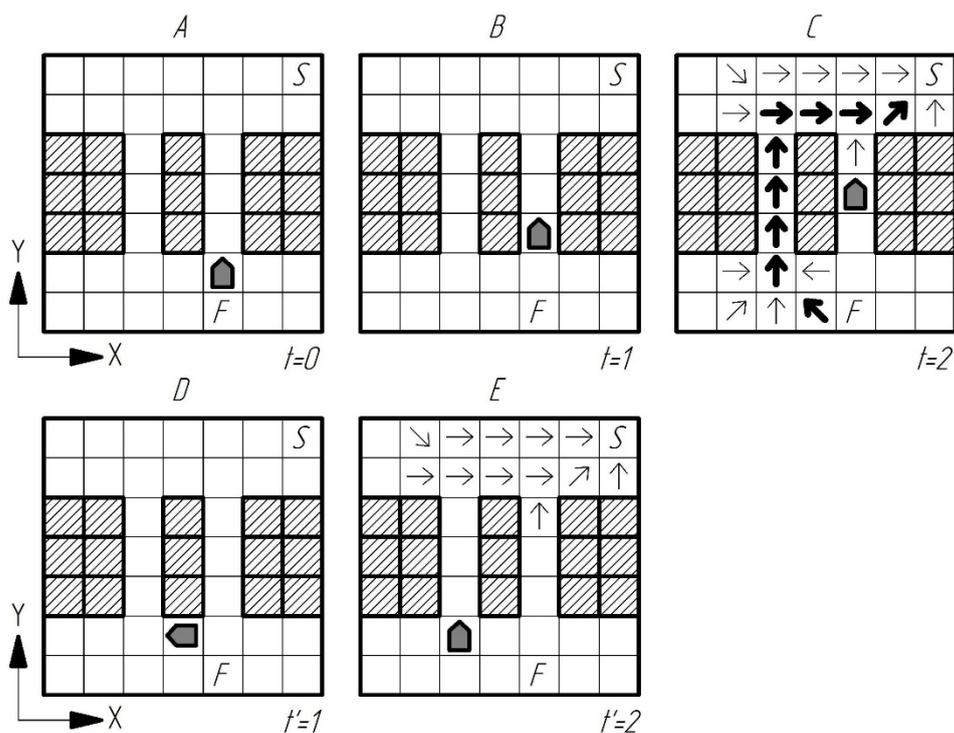


Рис. 4. Построения сетчатых карт занятости и маршрута движения робота с учетом прогноза поведения подвижных препятствий

Хотя алгоритм SIPP является наиболее подходящим из рассмотренных алгоритмов поиска пути для сферы мобильной робототехники, он обладает недостатком подобным алгоритму A*: SIPP рассчитан на работу со статичным графом. Если поведение подвижного препятствия является отличным от прогнозируемого, то это приводит к необходимости проводить поиск пути заново из-за изменений в структуре XYt-графа.

Однако, изменения структуры зачастую касаются лишь небольшого участка графа и нет необходимости проводить весь поиск заново, ведь полученные данные о большей части вершин графа и ребер, соединяющих их, остаются актуальными. Поэтому предлагается модифицировать алгоритм SIPP, применив в нем подход инкрементного поиска, предложенного в [7]. Суть этого подхода заключается в том, что в случае изменения структуры графа сбрасываются данные только о тех ветвях дерева поиска, родительские вершины которых подверглись этим изменениям. Это проиллюстрировано на рис. 4 на кадрах D, E. Они отображают альтернативное развитие событий из исходного момента $t=0$ (кадр A) в моменты времени $t'=1$ и $t'=2$: вместо прогнозируемого перемещения препятствия «вверх», препятствие движется «влево». Таким образом, открывается возможность движения по правому коридору и невозможно движение без столкновения по левому коридору. Тем не менее, часть информации, полученной в процессе планирования маршрута до обнаружения изменения поведения препятствия, все еще остается актуальной. Она отмечена на кадре E стрелками. Таким образом процесс поиска нового маршрута начинается уже с некоторым исходным запасом данных, полученных ранее, что позволяет сократить время поиска.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе была рассмотрена задача построения безопасной и кратчайшей траектории движения мобильного наземного робота из текущей занимаемой позиции в целевую. В качестве алгоритмов решения этой задачи были представлены алгоритмы поиска путей на графах. Была проанализирована эволюция этих алгоритмов от наиболее общеприменяемых к специализированным: алгоритм поиска в ширину, алгоритм Дейкстры, алгоритм A* и SIPP. В статье показано, какие недостатки того или иного алгоритма в условиях функционирования мобильных роботов послужили отправной точкой для дальнейшего развития семейства этих методов. В окончании был отмечен недостаток

работы алгоритма SIPP, в случае когда поведение подвижных препятствий расходится с прогнозом, и выдвинуто предложение как можно улучшить эту ситуацию, используя методы инкрементного поиска.

В дальнейшем планируется осуществить программную реализацию предложенной модификации SIPP и осуществить компьютерные и натурные испытания для подтверждения ее эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Adam Milstein (June 1st 2008). Occupancy Grid Maps for Localization and Mapping, Motion Planning Xj Jing, IntechOpen, DOI: 10.5772/6003z
2. T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, C. Stein. Introduction to Algorithms. — 3rd edition. — The MIT Press, 2009 — ISBN 978-0-262-03384-8.
3. Dijkstra E. W. A note on two problems in connexion with graphs. Numer. Math — Springer Science & Business Media, 1959. — Vol. 1, Iss. 1. — P. 269–271.
4. Hart, P. E.; Nilsson, N. J.; Raphael, B. (1968). "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths". IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics SSC4. 4 (2): 100–107.
5. Kim, S., Guy, S. J., Liu, W., Walkie, D., Lau, R. W. H., Lin, M. C., & Manocha, D. (2015). BRVO: Predicting pedestrian trajectories using velocity-space reasoning. International Journal of Robotics Research, 34(2), 201-217. <https://doi.org/10.1177/0278364914555543>
6. Phillips, M., and Likhachev, M. 2011. SIPP: Safe interval path planning for dynamic environments. In Proceedings of The 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA-2011), 5628–5635.
7. Stentz, A. 1995. The Focussed D* Algorithm for RealTime Replanning. In Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-1995)

Секция 3

ПРОГРАММНОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 004.932

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДСЧЕТА ПРОДУКЦИИ НА КОНВЕЙЕРЕ СРЕДСТВАМИ БИБЛИОТЕКИ OPENCV

М. С. Суворова, Д. В. Демидов, Г. А. Пивоваров, П. П. Трубин

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. В статье рассмотрена задача автоматического подсчета продукции на конвейере. Проведено исследование технологического процесса производства пищевой продукции. Построена карта пути продукции, на основании полученной модели разработана программа для автоматического подсчета продукции на конвейере по данным видеоряда. Для разработки использовалась библиотека компьютерного зрения OpenCV и язык программирования python 3.

Ключевые слова. Автоматизация конвейера, OpenCV, python, компьютерное зрение, автоматический счет.

I. ВВЕДЕНИЕ

В 21 веке все чаще человек сталкивается с таким термином, как Автоматизация (технологических процессов) – набор средств и методов, для реализации систем, которые позволяют управлять технологическим процессом без участия (непосредственного) человека, или оставлять за человеком права принятия только наиболее важных решений.

Автоматизация помогает ускорять процесс производства и увеличивать его объем, поэтому проблема подсчета продукции на конвейере остается одной из актуальных в наше время. В работе решалась задача автоматизации подсчета продукции на конвейере пищевого предприятия ОАО «Омский Бекон».

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для начала работы была составлена карта пути продукции (использовались колбасные изделия на ОАО «Омский Бекон»).

ТАБЛИЦА 1
КАРТА ПУТИ ПРОДУКЦИИ

| Процесс | Фото процесса | Процесс | Фото процесса |
|---------------------------------|---|---------------------------------|---|
| 1. Укладка колбасы для упаковки |  | 4. Отбор продукции без дефектов |  |

| Процесс | Фото процесса | Процесс | Фото процесса |
|----------------------------------|---|---|---|
| 2. Запайвание упаковки |  | 5. Маркировка продукции |  |
| 3. Разделение на единицы колбасы |  | 6. Расфасовка по коробкам (по количеству) |  |

В данной карте было выделено 6 этапов упаковки и укладки по ящикам продукции. Нам интересны последние 3 шага, т.к. там будет применена автоматизация счета изделий.

Благодаря данной карте была наглядно продемонстрирована проблема ручного счета и понятен процесс производства продукции на конвейере.

III. ТЕОРИЯ

В ходе работы был разработан алгоритм автоматического подсчета продукции (рис. 1).

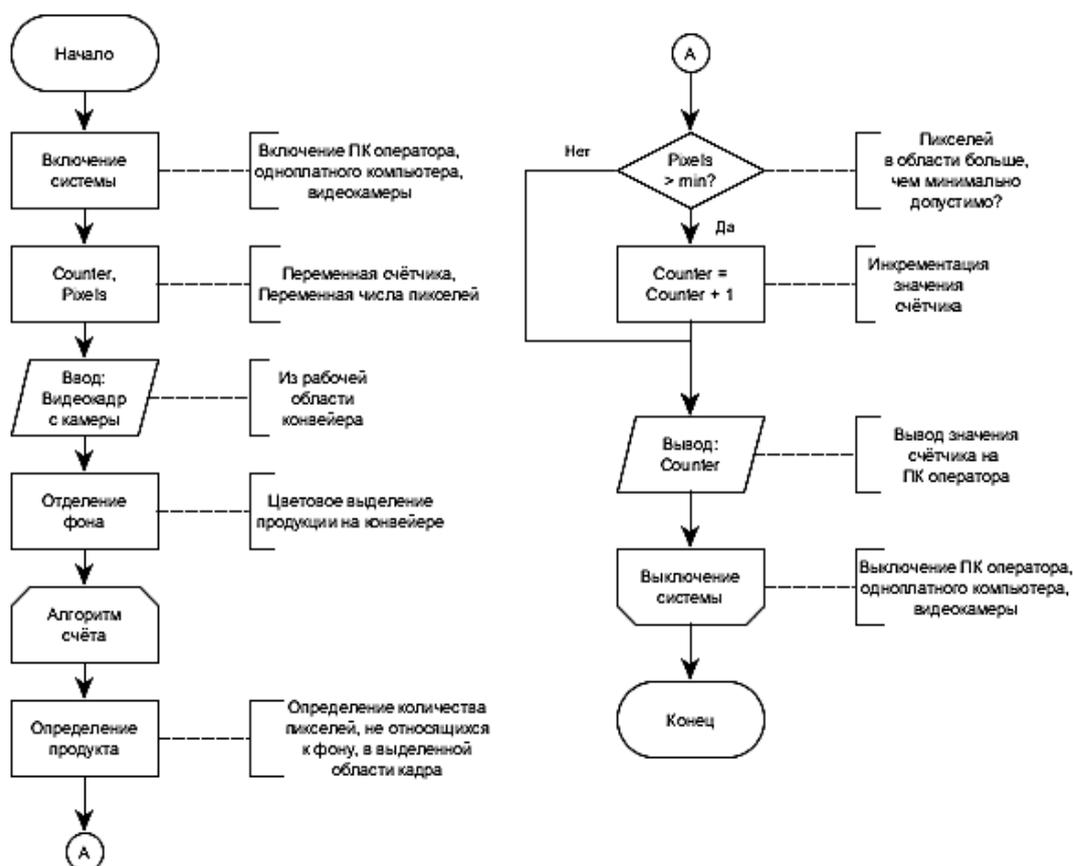


Рис. 1. Алгоритм автоматического подсчета продукции

Исходное цветное видео для дальнейшей обработки переводится в монохромное. Для начала запуска счета требуется выделить контуры нужных объектов, и для каждого объекта посчитать его ровно 1 раз. При работе с изображением возникают потребности в различных представлениях изображения, т.к. по конвейеру может двигаться продукт разного вида и объема, поэтому нельзя задать сразу готовые размеры объекта.

Для реализации алгоритма автоматизации была использована библиотека OpenCV (Open Source Computer Vision) - это открытая библиотека компьютерного зрения, первая версия которой была разработана в 1999 году компанией Intel. Библиотека является кросс-платформенной и предназначена для обработки изображений в режиме реального времени, также включает распространяемую по открытой лицензии реализацию алгоритмов компьютерного зрения [1]. В библиотеке OpenCV есть множество функций для работы с видеопотоками, что позволяет использовать её для решения задачи подсчета продукции. Ближайшей альтернативой OpenCV является Intel IPP (Integrated Performance Primitives). Но это программное решение является коммерческим продуктом, а библиотека OpenCV – программным продуктом с открытым кодом [2].

Для разработки проекта был выбран язык высокого уровня Python 3, что позволяет применять его практически в любой области разработки ПО и в приложениях различных предметных областей. Python 3 имеет модульную структуру, что позволяет путём подключения различных библиотек расширять возможности языка. Одной из таких библиотек является OpenCV [3].

При реализации описанного выше алгоритма была использована библиотека NumPy (Numeric Python), которая обеспечивает реализацию основных методов для работы с массивами и матрицами. Изначально создается матрица, заполненная нулями, которая представляет область сканирования. В дальнейшем она проходит вдоль изображения по вертикали, находя и записывая в новый массив индексы столбцов, в которых какое-либо значение не равно нулю. Если количество таких записей не нулевое, то выполняется цикл до тех пор пока значение инкрементирующейся переменной не достигнет величины длины размерности массива индексов. Таким образом мы отделяем движущиеся объекты от конвейера и ведем их счет, когда матрица-строка не получает значений.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе работы были проведены пробные записи и обработки видео. Было симулировано движение на конвейере с продукцией разного размера и цвета и проверен ее счет. Результаты приведены на рис. 2

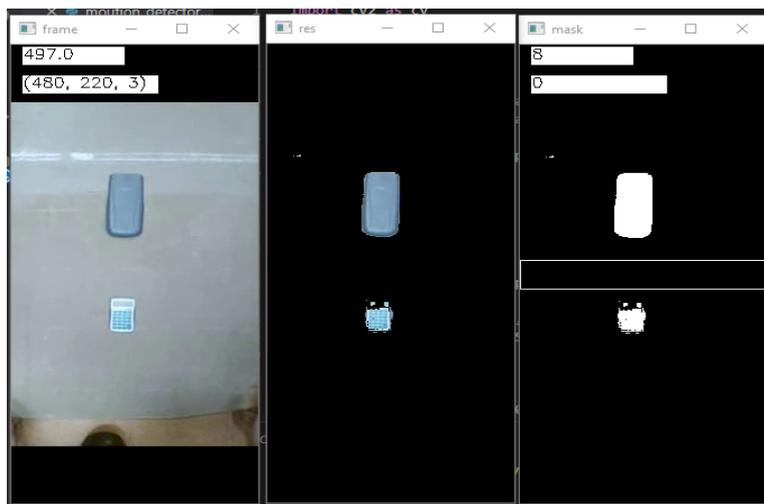


Рис. 2. Процесс счета продукции на конвейере.
Имитация процесса. frame - первоначальное видео конвейера,
res - выделение только объектов, mask - подсчет объектов

В левой части рис. 2 можно наблюдать экран “frame”, на котором показан необработанный кадр из исходного видеопотока, полученного с устройства видеозаписи. В правой части рис. 2 можно увидеть экран “mask”, отображающий результат поиска продукции на видеокadre конвейера. Этот

кадр получается в результате перевода видеокadra в цветовую модель HSV и последующего вычитания из него маски, которая включает в себя как неоднородную по цвету ленту конвейера, так и распознанные как шумы изображения неровности, получающиеся в результате съёмки. На этом экране картинка отображена в черно-белом цвете, где черным цветом показано вычтенное маской пространство из кадра, а белым - найденный отличающийся по цвету продукт. Далее, на экране "res" в центре рис. 2, изображен итоговый результат: оставшаяся после вычитания маски из исходного кадра часть изображения в его оригинальной цветовой модели RGB.

Вышеперечисленные экраны в первую очередь предназначены для отладки и настройки алгоритма выделения продукта на кадре при добавлении нового типа продукции. Так, например, на рис. 2 видно, что алгоритм, настроенный на равномерные по цвету и неотражающие поверхности, отлично справляется с выделением соответствующей продукции (товар на верхней части рисунка), однако при использовании продукции другого типа (товар в нижней части рисунка) - алгоритм обнаруживает продукт хуже, чем это возможно при правильных настройках.

Помимо пользовательского графического интерфейса для более наглядного и удобного вывода информации необходимо более точно определить минимальную границу пикселей в области для подсчёта. Сложность определения границы связана с непосредственно выбранным методом. Для каждого продукта следует определять новые границы измерений, от которых и зависит точность данного программного решения. По результатам испытаний относительная погрешность счета составила около 10 %.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе был предложен алгоритм счета продукции на конвейере. Для проведения экспериментального исследования была разработана и протестирована программа записи, выделения движущихся объектов и их подсчет. Данный код является универсальным для любого размера продукции и, таким образом, может применяться на любых заводах для автоматизации счета продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полякова А.С. О применении библиотеки OpenCV в задаче распознавания лиц по их изображению // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. №12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-primenenii-biblioteki-opencv-v-zadache-raspoznavaniya-lits-po-ih-izobrazheniyu> (дата обращения: 27.03.2020).
2. Лошаков К. П. Алгоритм отслеживания и выделения движущихся объектов в видеопотоке / К. П. Лошаков // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов VI Международной конференции, 14-19 октября 2019 г., Томск. - Томск: Изд-во ТПУ, 2019. - [515-521].
3. Бухаров Т. А., Нафикова А. Р., Мигранова Е. А. обзор языка программирования Python и его библиотек // Colloquium-journal. 2019. №3-1 (27). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-yazyka-programirovaniya-python-i-ego-bibliotek> (дата обращения: 27.03.2020).
4. Морозов, С.С. Робототехнический комплекс упаковки стеклянной бутылочной продукции / С.С. Морозов, Е.С. Гебель //

ЗАДАЧА ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ВО ВРЕМЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ И ПОДХОДЫ К ЕЕ РЕШЕНИЮ

А. Р. Бахтиярова, О. А. Калашникова, Д. Д. Георгиев, П. П. Трубин

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. В статье анализируются современные алгоритмы обнаружения объектов в изображении или видеопотоке, то есть автоматический выбор динамических объектов на сложном неоднородном фоне на основе расчета кросс-кадровых отличий в записанных изображениях с последующей обработкой пороговых значений, формирование общего дифференциального изображения и его фильтрации. Изучается задача выделения объектов при картографировании. Выявляются слабые места существующих методов, проблемы распознавания объектов на изображении с помощью различных устройств. Рассмотрены некоторые решения проблем, их сущность и общие концепции.

Ключевые слова. Мобильная робототехника, выделение объектов, SLAM

I. ВВЕДЕНИЕ

Распознавание объектов на кадрах видеопотока - сложная задача. Алгоритмы распознавания объектов в пространстве постоянно улучшаются и модернизируются по многим параметрам, в том числе и точности распознавания. Объектами карты могут выступать транспортные средства, различные сооружения, люди и т.д.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Изучить и провести анализ методов обнаружения объектов по изображению. В ходе анализа выделить преимущества и недостатки методов, проблемы, с которыми сталкиваются при использовании.

III. ТЕОРИЯ

1. Основные подходы к решению задачи выделения объектов картографирования

В последние несколько лет разработано множество подходов, улучшающих качество распознавания объектов на видео. Среди них можно выделить четыре группы: **детерминированные методы, вероятностные методы, нейросетевые методы, комбинированные методы.**

К **детерминированным методам** относятся методы исследования, в которых взаимосвязь между рассматриваемыми признаками строго специфицирована или детерминирована (от лат. *determinare* – определять), в связи с этим исследование приводит к однозначным выводам.[1]

Вероятностные методы, в свою очередь, рассматривают последовательность кадров, содержащую объект с изменяющимися параметрами. Эти методы применяют концепцию пространства состояний. Исходя из предположения о наличии у движущегося объекта определенного внутреннего состояния, осуществляется его определение на каждом кадре. В тривиальном случае алгоритм делает предположения только о положении объекта на изображении.[2]

Нейросетевые методы рассматривают объект в видеопотоке сразу и в контексте изменяющихся и в контексте неизменяющихся атрибутов. В этих методах этап обучения нейронной сети является важной частью алгоритма. С другой стороны, нейросеть требуется отдельно обучать под каждый тип задач.[3]

Комбинированные методы отличает то, что они состоят из сочетания методов по высшим показателям различных критериев. Алгоритмы этого класса отличаются большей устойчивостью к шуму и различным искажениям объекта. В комбинированных алгоритмах обычно сочетаются как вероятностные, так и детерминированные и нейросетевые подходы. Комбинированные методы можно разделить на две группы: обучение с учителем и обучение без учителя.[4]

2. Приложения задачи выделения объектов

Выделение объектов обязательно для применения предиктивных моделей окружения в контексте навигации мобильного робота. Кинематические свойства объектов необходимо вычислять для оценки их будущего расположения. Это вычисление можно разбить на этапы кластеризации объектов карты и вычисление их кинематических характеристик. Другими словами, на этапы распознавания и

идентификации. Данные, полученные как результат этапа выделения объектов, позволяют спрогнозировать движение объектов в окружении робота. Такой прогноз позволяет находить оптимальные траектории, распознавать и как можно раньше обнаруживать возможные столкновения

3. Слабые места у существующих решений и проблемы, еще не решенные в рамках этой задачи

Следует отметить, методы для задач распознавания объектов на изображениях довольно просты. Но несмотря на их внешнюю простоту, на пути использования тех или иных методов могут возникнуть проблемы, напрямую связанные с природой решаемых задач и решение которых требует достаточного количества разнообразных, сложных и крайне необычных методов.

При картографировании у методов выделения объектов присутствует ряд проблем, препятствующих правильному отображению тех или иных предметов. К таким проблемам можно отнести:

- Изменения, связанные с объектом: его яркость, то есть параметр, зависящий от внешней среды:
 - положения в пространстве и времени суток;
 - масштабируемость, объект может находиться ближе или дальше от камеры, что значительно влияет на размер;
- Также объект может совершать повороты по трем основным осям трёхмерного пространства, а так как объект зачастую не обладает идеальной формой, его размеры и параметры соответственно могут изменяться;
- Заслонение объекта, иными словами взаимодействие с другими объектами, зачастую мешающими наблюдать за искомым;
- Изменение цветовой гистограммы объекта, разные стороны тела могут иметь разные цветные гистограммы.
- Помимо вышеперечисленных, присутствует проблема возникновения шума на изображениях из-за естественных (некорректной работы камеры, неблагоприятные погодные условия) или искусственно созданных причин (действия человека, направленные на изменение качества изображения).

На данный момент первая проблема, яркости объекта на изображении, может быть решена с помощью использования камеры с ИК-подсветкой, либо (при невозможности ее применения) теплового изображения. Решения же других проблем только предстоит найти.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа методов обнаружения объектов по изображению были выделены преимущества и недостатки методов, проблемы с которыми сталкиваются при использовании. Таким образом, задача автоматического распознавания изображений - почти всегда комплексная задача, включающая использование совокупности различных методов, состав и степень применимости которых всегда оцениваются в контексте решаемой задачи. В то же время может быть отображен более общий подход к проблемам распознавания изображений.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ. БЛАГОДАРНОСТИ

Научный руководитель Гебель Елена Сергеевна. канд. технических наук, доцент.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уоссермен, Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика – Neural Computing. Theory and Practice [Текст] / Ф. Уоссермен – М.: Мир, 1992. – 240 с. – ISBN 5-03-002115-9.
2. Золотых, Н. Ю. Обзор методов поиска и сопровождения транспортных средств на потоке видеоданных [Текст] / Н. Ю. Золотых, В. Д. Кустикова, И. Б. Мееров // Информационные технологии, Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2012. – №5 (2). – С. 348–358.
3. Roth, D. The SNoW Learning Architecture [Текст] / D. Roth // Technical Report UIUCDCS-R-99-2102, UIUC Computer Science Department. – 1999. – С. 8– 10.
4. Viola, P. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features [Текст] / P. Viola // Accepted Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001). – 2001. – С. 511–518.
5. Гуровский, А. И. Модуль расширения системы управления мобильного робота IE-ROBO-CIRCLE / А. И. Гуровский, Е.С. Гебель, Е.В. Солонин // Автоматизация, мехатроника, информационные технологии : материалы IV Междунар. науч.-техн. интернет-конф. молодых ученых (Омск, 14-15 мая 2014 г.). – Омск : ОмГТУ, 2014. – С. 214–216.
6. Комаров А. Г. Сферический мобильный робот с гибридной системой движущих механизмов / А. Г. Комаров, Е.С. Гебель // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2017. – № 1. – С. 50–56.

ЭВОЛЮЦИЯ МЕТОДОВ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ В МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ

Д. Д. Георгиев, П. П. Трубин, О. А. Калашникова, А. Р. Бахтиярова

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. В данной статье рассмотрены методы одновременной локализации и картографирования в мобильной робототехнике, описана эволюция этих методов и составлено их генеалогическое древо. Показано, какие методы стали истоками задач SLAM, какие актуальны прямо сейчас. Целью работы являлось составление единой диаграммы, в которой легко могла прослеживаться история перехода от одного метода SLAM к другому. В статье приведены ссылки на фундаментальные исследования в области мобильной робототехники.

Ключевые слова. Одновременная локализация и картографирование, SLAM, эволюция и история методов SLAM, мобильная робототехника.

I. ВВЕДЕНИЕ

Мобильная робототехника в настоящий момент один из наиболее интенсивно развивающихся сегментов в промышленности. Сферы ее применения довольно разнообразны. Она особенно востребована в космической промышленности и в системе безопасности. Очевидно, что задача ориентирования на местности мобильным роботом выходит на первый план. До прихода микропроцессорной техники мобильные роботы перемещались в производственном помещении по инфракрасным маякам. Такой алгоритм управления был жестким и не предполагал ориентации в динамическом пространстве. Однако после появления микропроцессорной техники и мощных промышленных компьютеров мобильные роботы начали широко использоваться на открытом пространстве.

В 1986 году на конференции в Сан-Франциско, проводимой Институтом инженеров электротехники и электроники, было принято решение, что последовательное создание карты и одновременное определение своего текущего положения является фундаментальной проблемой в робототехнике с серьёзными проблемами и сложными вычислительными задачами [1]. Таким образом, задача SLAM становится наиболее актуальной в мобильной робототехнике. SLAM (от англ. Simultaneous localization and mapping) – одновременная локализация и картография. SLAM является основной вычислительной задачей построения и обновления карты неизвестной среды при одновременном определении местоположения мобильного робота [2]. Из определения следует, что SLAM состоит из двух основополагающих компонентов – картографии и локализации. Задачей картографии является представление окружающего пространства по полученным датчикам с мобильного робота. Задача локализации – определение положения робота на карте. Задача SLAM очень схожа с проблемой «курица или яйцо», так как для решения задач локализации необходима уже построенная карта, а для построения карты, то есть решения задач картографии, необходимо знание местоположения мобильного робота.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачей исследования данной работы является описание эволюции методов SLAM с момента зарождения и до наших дней. По завершении работы необходимо составить единую диаграмму, в которой указаны методы и их переходы от ранних до современных.

III. ТЕОРИЯ

Эволюцию и иерархию методов картографирования и одновременной локализации можно проследить на схеме, представленной ниже.

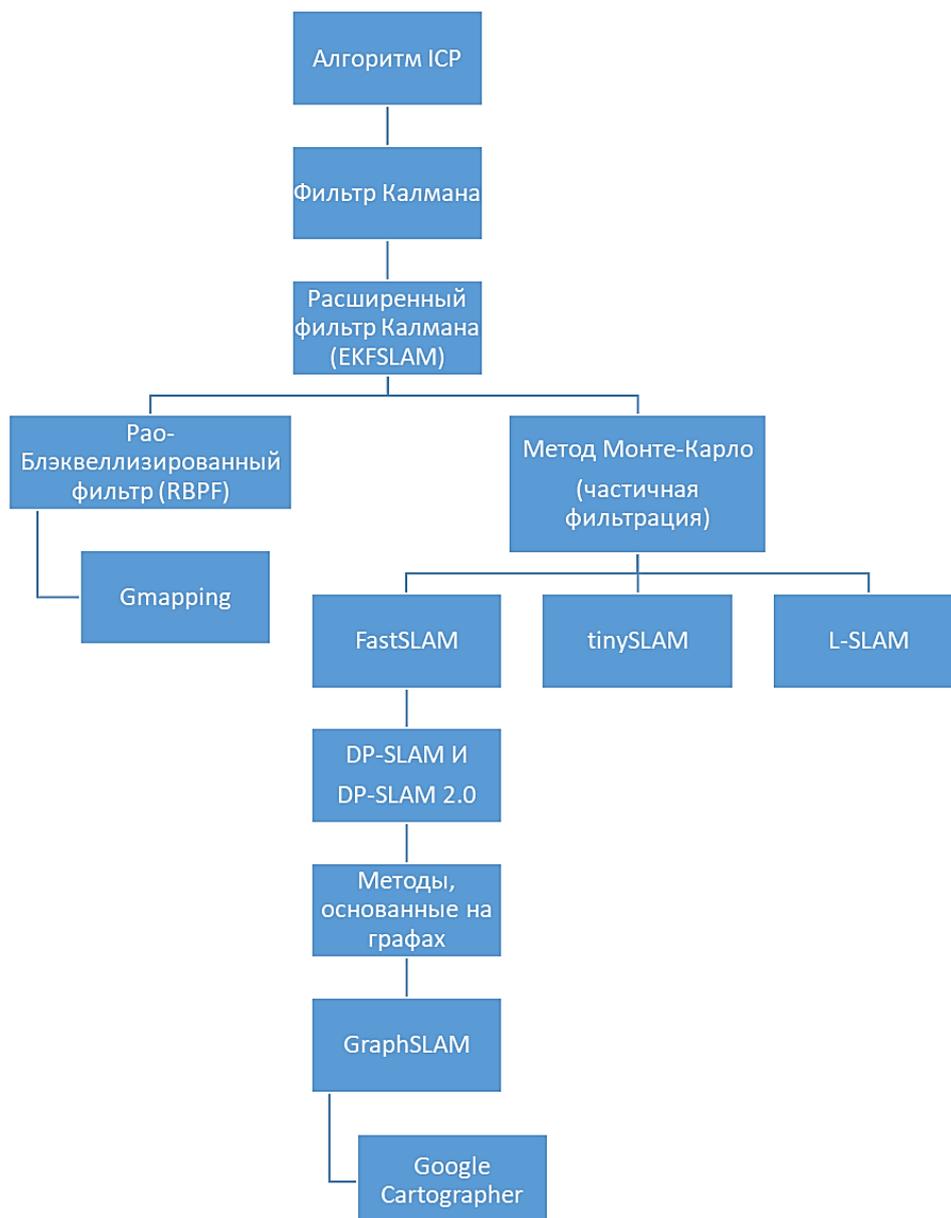


Рис. 1. Иерархия SLAM

ICP – алгоритм, сводящийся к поиску такой матрицы преобразований, где будет наименьшая разница между двумя облаками точек [3]. Именно он стал истоком SLAM. ICP часто используется для определения местоположения роботов и планирования их оптимального пути.

В основе алгоритмов SLAM лежат различные методы, позволяющие решать основные проблемы. В 1999 году на Международном симпозиуме по исследованию робототехники (ISRR'99) Себастиан Тран представил свою работу [4], в которой описан метод SLAM, основанный на применении фильтра Калмана. Фильтр Калмана – это часто применяемый в автоматизации и робототехники рекурсивный фильтр, с помощью которого по группе неточных измерений оценивается состояние линейной динамической системы.

В расширенном фильтре Калмана осуществляется извлечение ориентиров из окружения робота и определение их характеристик. Затем эти характеристики используются для сопоставления наборов ориентиров полученных в результате обработки новых данных и извлечённых ранее.. Стоит отметить один из недостатков расширенного фильтра Калмана – квадратичная зависимость времени обработки от количества элементов из-за расширения вектора состояния, что, в свою очередь, зашумляет ковариационную матрицу.

На рисунке представлена упрощенная схема работы метода EKF-SLAM (расширенный фильтр Калмана).

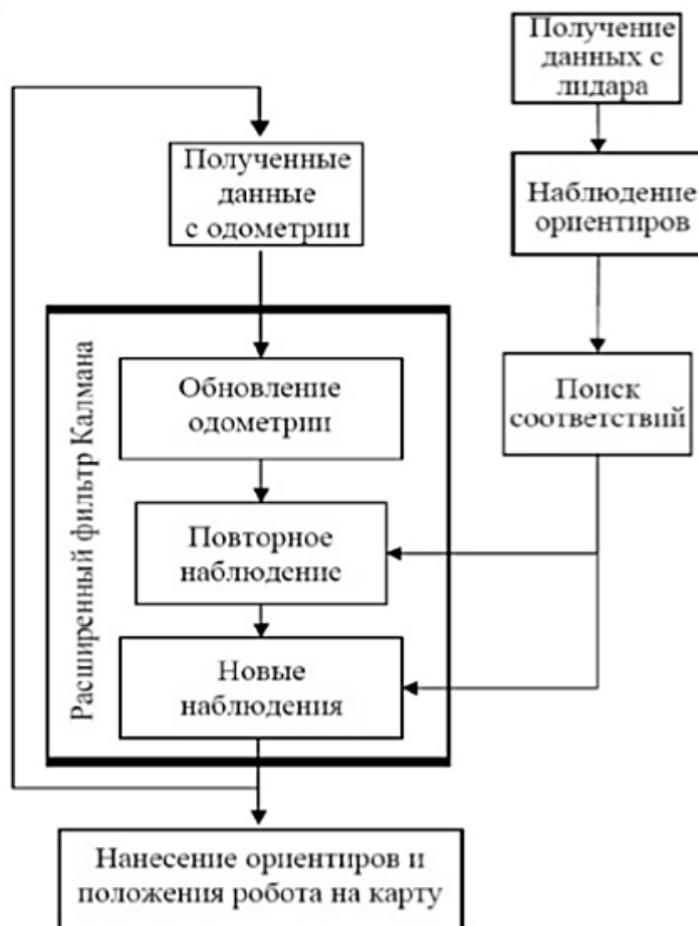


Рис. 2. Схема работы EKF-SLAM

В 1999 и 2000 годах Мерфи и коллеги [5,6] впервые ввели фильтр частиц Рао-Блэквелла (RBPf), который стал одним из наиболее успешных способов решения задач SLAM. RBPf предполагает разложение на множители по теореме Рао-Блеквелла-Колмогорова оценки относительной вероятности каждой частицы:

$$p(x_{t+1}, k|h_{t+1}, n_{t+1}+) = p(k|x_{t+1}, h_{t+1}) \cdot p(x_{t+1}|h_{t+1}, n_{t+1}+),$$

где x_{t+1} – набор последовательных позиций робота, k – глобальная карта, h_{t+1} – вектор наблюдения, $n_{t+1}+$ – данные одометрии. На основе RBPf был разработан алгоритм Gmapping, который считается одним из ключевых в навигационном стеке операционной системы ROS. Его главные преимущества - сравнительная эффективность и простота подхода. Реализация рассмотренного алгоритма описана в [7].

В 2002 году Монтемерло и коллеги предложили свой подход к решению задачи SLAM [8]. Они расширили идеи RBPf и разработали метод FastSLAM, который стал прорывом в разработке рекурсивного вероятностного метода SLAM. Предшествующие исследования были ориентированы на увеличение производительности EKF-SLAM. Метод FastSLAM, основанием которого является рекурсивная выборка по методу Монте-Карло или частичной фильтрации, стал одним из первых алгоритмов, работающих с нелинейной моделью процесса и отличным от нормального распределения.

Метод FastSLAM, предполагая независимость обнаруженных ориентиров, осуществляет обработку каждого из них отдельно. Это значительно увеличивает скорость обработки данных, но сказывается на точности результата.

Примерами схожего подхода могут служить алгоритмы *tinySLAM* [9], *L-SLAM* [10]. Этот метод – не общий, так как среда может содержать шаблоны, которые приводят к плотностям распределения с несколькими максимумами.

В 2003 году для Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту IJCAI учеными из университета Дьюка был предложен новый метод DP-SLAM. Спустя год, на Международной конференции по робототехнике и автоматизации была описана улучшенная версия DP-SLAM – DP-SLAM 2.0. Опираясь на архитектуру алгоритма *FastSLAM* из вычислительной части алгоритма DP-SLAM получилось избавиться от применения маркеров-ориентиров, выделенных в окружении робота. Эта редукция вычислительной схемы привела к устранению широкого класса проблем, возникавших как из требования к ассоциативности экспериментальных данных, так и из предположений о маркерах формирующихся априори. Но необходимость изменять и обновлять в памяти крупные массивы информации с сотнями участков локально-измеренных карт окружения стали главным недостатком этого метода. [11]

К настоящему времени широко востребованными методами SLAM являются методы, основанные на использовании графов. Предпосылкой к возникновению подходов этого типа является уместное желание рассматривать топологию окружения как разреженный граф [12]. Каждый узел в графе это потенциальная позиция робота. Часть вершин связываются рёбрами по результатам измерений положений препятствий. В то время как другие связи создаются по данным одометрии, после изменения позиции робота. В алгоритме *GraphSlam* вычислительные затраты на обработку и хранение матрицы ковариации растут слабее чем квадратично, что является существенным преимуществом над фильтром Калмана [13]. Однако, при длительной миссии, становится очевидным главный недостаток метода - это рост числа вычислений при увеличении длины пути [14].

Одним из самых новых методов решений задач SLAM является *Google Cartographer*. Он был представлен в 2016 году на международной конференции IEEE по робототехнике и автоматизации (ICRA) учеными Wolfgang Hess, Damon Kohler, Holger Rapp, Daniel Andor [15]. Эта программа (система) хранит карту окружения в виде графа, где каждая вершина представляет миникарту, и скана, полученного после создания соответствующей миникарты. Дополнительно появляется шаг оптимизации, сохраняющий карту консистентной. Оптимизации занимают много времени, поэтому эта работа выполняется каждые несколько секунд параллельно основному процессу и исправляет уже зарегистрированные результаты. Исходя из вышеуказанного, алгоритм *Cartographer* нельзя назвать строго алгоритмом реального времени. [16]

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа знакомит с понятием SLAM, становлении его задач, отслеживает и описывает эволюцию методов SLAM. Была составлена иерархия методов SLAM от их истоков до наших дней. Алгоритмы ICP стали отправной точкой для начала развития SLAM. Методы, основанные на фильтре Калмана, являются первыми решениями задач SLAM. В дальнейшем благодаря расширенному фильтру Калмана появился новый метод EKFSLAM. Фильтр частиц Рао-Блэквелла (RBPF) дал свое начало для метода *Gmapping*, а фильтр Монте-Карло послужил основой для более простых и быстроедейственных методов *tinySLAM*, *L-SLAM* и *FastSLAM*. После доработки *FastSLAM* были изобретены методы DP-SLAM и DP-SLAM 2.0, которые решали большое количество проблем, связанных с ассоциативностью данных и априорными предположениями о маркерах. Самым современным методом считается *Cartographer* от компании Google. Методы SLAM продолжают активно развиваться и в наши дни, при этом область мобильной робототехники, работающей на этих алгоритмах, захватывает практически все области промышленности.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ. БЛАГОДАРНОСТИ

Научный руководитель Гебель Елена Сергеевна. канд. технических наук, доцент.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. Антонов. Основы вероятностного метода SLAM в робототехнике. // Современная электроника. – 2018.-№5. – с. 16-21.

2. Durrant-Whyte, H.; Bailey, T. (2006). "Simultaneous localization and mapping: part I". *IEEE Robotics & Automation Magazine*. 13 (2): 99–110.
3. Вохминцев, А.В. алгоритм одновременной навигации и составления карты мобильным роботом на основе итеративного алгоритма ближайших точек и дескриптора, вычисляемого в круглом скользящем окне / А.В. Вохминцев, С.А. Пачганов // *Вестник Югорского государственного университета*. — 2018. — № 3. — С. 49-56. — ISSN 1816-9228. — Текст : электронный // *Лань : ЭБС*. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/309649> (дата обращения: 30.04.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Thrun S., Fox D., Burgard W. A probabilistic approach to concurrent mapping and localization for mobile robots. *Mach. Learning*, vol. 31, no. 1, pp. 29–53, 1998.
5. K. Murphy, "Bayesian map learning in dynamic environments," in *Proceedings of the Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS '99)*, pp. 1015–1021, Denver, Colo, USA, November–December 1999.
6. A. Doucet, J. F. G. de Freitas, K. Murphy, and S. Russel, "Rao-Blackwellized particle filtering for dynamic Bayesian networks," in *Proceedings of the Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI '00)*, pp. 176–183, Stanford, Calif, USA, June–July 2000.
7. An object-based semantic world model for long-term change detection and semantic querying. In *Intelligent Robots and Systems (IROS) / J. Mason and B. Marthi // 2012 IEEE/RSJ International Conference on*. – М., – 2012. – С. 3851–3858.
8. Montemerlo M., Thrun S., Koller D., Wegbreit B. Fastslam: A factored solution to the simultaneous localization and mapping problem. In *AAAI-2002 (Vancouver, BC, July 2002)*.
9. Steux B., Hamzaoui O. E. TinySLAM: A SLAM algorithm in less than 200 lines C-language program // *Proc. of the 11th Intern. Conf. on Control Automation Robotics Vision*. Washington: IEEE Robotics, 2010. P. 1975–1979.
10. Zikos N., Petridis V. L-SLAM: Reduced dimensionality FastSLAM with unknown data association // *Proc. of IEEE International Conf. on Robotics and Automation*. Shanghai: IEEE Robotics, 2011. P. 4074–4079.
11. A. Eliazar, R. Parr. DP-SLAM: Fast, Robust Simultaneous Localization and Mapping Without Predetermined Landmarks: [англ.]. — *IJCAI*. — 2003.
12. An evaluation of 2d slam techniques available in robot operating system. / J. M. Santos, D. Portugal, and R. P. Rocha // *In 2013 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)*. – М., – 2013. – С. 1-6.
13. Real-Time Loop Closure in 2D LIDAR SLAM, in *Robotics and Automation (ICRA) / W. Hess, D. Kohler, H. Rapp, D. Andor // 2016 IEEE International Conference*. – М., – 2016. – С. 1271–1278.
14. - A Visual Landmark Recognition System for Topological Navigation of Mobile Robot / M. Mata, J.M. Armingol, A. Escalera, and M.A. Salics // *International Conference on Robotics and Automation*. – М., – 2001. –С. 1124-1129.
15. W. Hess, D. Kohler, H. Rapp, and D. Andor, Real-Time Loop Closure in 2D LIDAR SLAM, in *Robotics and Automation (ICRA), 2016 IEEE International Conference on*. IEEE, 2016. pp. 1271–1278.
16. Гуровский, А. И. Модуль расширения системы управления мобильного робота IE-ROBO-CIRCLE / А. И. Гуровский, Е.С. Гебель, Е.В. Солонин // *Автоматизация, мехатроника, информационные технологии : материалы IV Междунар. науч.-техн. интернет-конф. молодых ученых (Омск, 14-15 мая 2014 г.)*. – Омск : ОмГТУ, 2014. – С. 214–216.
17. Комаров А. Г. Сферический мобильный робот с гибридной системой движущих механизмов / А. Г. Комаров, Е.С. Гебель // *Мехатроника, автоматика и робототехника*. – 2017. – № 1. – С. 50–56.

ПРИМЕНЕНИЕ CIROS ДЛЯ ПРЕПОДАВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБЩЕНИЯ

А. А. Черняев¹, А. Г. Ивашко²

¹Тюменский Государственный университет, г. Тюмень, Россия

²Тюменский Государственный университет, г. Тюмень, Россия.

Аннотация. Одной из самых важных проблем для преподавания мехатронных систем во время изоляции является отсутствие практических занятий, связанных с взаимодействием со станциями, что является актуальной проблемой. Цель статьи – изучение возможностей использования учебной системы CIROS в качестве инструмента для преподавания на дистанционной основе. Для достижения данной цели в статье рассматривается работа в инструменте CIROS, разобраны основные особенности данного ПО и методы работы со студентами. Результатом является оценка CIROS как инструмента для работы с мехатронными системами для преподавания и изучения мехатроники студентами.

Ключевые слова. Мехатронные системы, CIROS, программирование контроллеров, мехатроника, дистанционное образование

I. ВВЕДЕНИЕ

Использование дистанционных технологий в инженерном образовании уже давно не является дискуссионной темой [1, 2]. Широко применяются симуляторы, виртуальные тренажёры, технология дополненной реальности позволяют визуализировать практически любые технологические процессы. В тоже время, дистанционные технологии не могут заменить практическую работу студентов на лабораторном оборудовании. Гармоничное сочетание виртуальных технологий и работы с физическими установками и технологическим оборудованием является непростой задачей, особенно при реализации направления подготовки «Мехатроника и робототехника» [3]. Значимый вклад в решении этих задач привнесён участниками Международного университетского сетевого проекта «Синергия» [4, 5]. Использование общей технологической базы учебных систем, выпускаемых компанией Festo Didactic, создали необходимую унифицированную техническую среду обучения в различных вузах, которая дала возможность объединить их усилия по созданию сетевых программ подготовки бакалавров и магистров.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Одной из главных проблем преподавания мехатронных систем на удаленной основе является отсутствие практического применения знаний студентов. Для этого компанией Festo разработан инструмент CIROS, который предоставляет возможность симуляции работы с мехатронными станциями в полном размере. В данной статье рассматриваются возможности использования учебной системы CIROS [4] для выполнения курсовых и дипломных проектов в условиях дистанционного обучения.

III. ТЕОРИЯ

1. Моделирование

Данный программный продукт предлагает средства для моделирования мехатронных систем, как с нуля, так и используя уже готовые решения. Из всех представленных моделей можно выделить такие популярные станции, как: Distributing, Handling, Sorting, Separating и другие. Так же CIROS предлагает широкую библиотеку с различными механизмами, инструментами индикации и системами управления. Для моделирования CIROS использует стандартный для ПО, в этой сфере, интерфейс. Все системы представляют интерактивные 3D модели, с которыми можно взаимодействовать вплоть до самых тонких настроек.

Моделирование в CIROS работает по средствам режима редактирования. Для добавления новых предметов на модель необходимо выбрать нужный в библиотеке и нажать кнопку ADD. Когда предмет окажется в 3D пространстве необходимо перенести его на нужное место при помощи простого переноса мышью, либо указать конкретные координаты. Для правильного построения модели в приложение встроен компонент проверки на наличие коллизий.

Для управления моделями можно подключить как физический контроллер, так и воспользоваться симулятором. Каждый механизм можно подключить к виртуальному контроллеру при помощи окна I/O Panels. Подключение осуществляется простым перетягиванием «цепей».

В ходе построения модели мы можем не только менять параметры работы компонента, но также и внешний вид, включая размеры, материал, заранее подготовленный шаблон, настройка коллизий, симуляция физики и другие настройки.

2. Программирование

Для взаимодействия с станциями предусмотрен модуль подключения программного кода к проекту. CIROS позволяет подключать S7 PLC, PLCSIM или любую другую PLC подключенную через EasyPort. Т. е. программа дает возможность использовать внешние программы, для программирования симуляции контроллеров. Среди поддерживаемых языков можно выделить следующие:

1. IRL (Industrial Robot Language);
2. Movemaster command;
3. Melfa—Basic (3—5+ версии);
4. S7—PLC программы на языке STL;
5. RAPID.

Модуль Python для управления системой, позволяет написать собственную команды выполнения скрипта. Для этого для Python написана специальная библиотека с готовыми классами. Данная возможность открывает большие возможности для управления системой в автоматическом и ручном виде удаленно, а также сохранять данные, например, в базу данных.

Среди доступных PLC можно выделить такие популярные модели, как S-300, S-400, PLCSIM и PLC OPC. В данные каждого контроллера можно загрузить программы, функциональные блоки, функции, блоки с информацией, маркеры, счетчики и таймеры. Состояние подключения можно посмотреть в меню IO Connection Monitor.

3. Симуляция

Симуляция работы выполняется при помощи одного из видов управления. Сюда входят ручное управление при изменении состояний в таблице состояний, либо при помощи кнопок в 3D пространстве симулирующих контрольную панель. Для выполнения движений для каждого отдельного компонента можно записать анимацию в окне Animation designer. Записать осуществляется по отдельным ключевым кадрам на временном отрезке. Для каждой анимации можно выбрать настроить время начала и конца и условия запуска.

Одной из важных возможности CIROS является наличие симуляций ошибок, для представления возможных вариантов при совершении некорректной работы системы. Можно организовать цветовую индикацию, анимацию ошибки и в виде данных в таблице. Приложение поддерживает симуляцию физики во время исполнения. Для каждого компонента можно задать определенные параметры, такие как вид материала, массу, может ли предмет используя кинетическое движение, плотность и другие. Все это можно оценить при помощи доступных измерений.

Для взаимодействия с симуляцией предусмотрены несколько видов инструментов. Первый, основной, инструмент — это взаимодействие, где все управление считывается через мышь\клавиатуру. Второй вариант — это управление при помощи геймпада. Для этого предусмотрена возможность настройки кнопок управления под различные варианты. Последний вариант — это взаимодействие с симуляцией при помощи VR аппаратуры, т.е. просмотр симуляции в виртуальном пространстве.

4. Разработка заданий

Выполнение курсовых и дипломных проектов студентов направления «Мехатроника и Робототехника» осуществляется в рамках производственных задач, различных промышленных предприятий. Написание технического задания предшествует изучению технологических процессов, а этап разработки функциональных схем автоматизации согласуется с используемым на предприятиях оборудованием. Введение режима самоизоляции в марте 2020г. не позволило выполнить эти виды работ всем студентам 3 курса и некоторым студентам 4 курса (дипломникам).

Во время изоляции важной проблемой является преподавание практических занятий по направлениям связанным с мехатронными системами. В первую очередь, практические занятия рассчитаны на прямой контакт студента с учебными станциями, что невозможно осуществить на удаленной основе. Для решения данной проблемы программа CIROS предоставляет возможности для разработки заданий относительно виртуальных моделей.

Основываясь на особенностях программы, описанных в предыдущих главах, мы можем разработать один из следующих вариантов заданий:

- 1) Построение модели мехатронной системы используя готовые компоненты и 3D редактор;
- 2) Программирование готовых мехатронных систем;
- 3) Тестирование программных решений;
- 4) Подготовка к ошибкам и некорректной работы в системе.

Взаимодействие с PLC позволяет использоваться связку программ, таких как TIA Portal или Step7 для загрузки программного кода в виртуальный контроллер. Это позволяет оптимизировать работу программы на виртуальных механизмах и не использовать неудобный PLCSIM. Следует отметить такую важную часть функций CIROS, как Teacher mode в который входят подготовка ошибок, нарушений системы. Симуляция ошибок позволяет подготовить студентов к сложным ситуациям.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На данный момент студенты в CIROS выполняют курсовые и дипломные работы. Для них были выбраны станции, которые они описывают, преобразовывают и программируют. И если о финальных результатах говорить пока рано, все же мы можем выделить некоторые важные плюсы: первое, что хочется отметить, что у студентов появилась возможность поработать с системами, которые они не могут увидеть в университете, что дает прекрасную возможность для получения опыта. Полученные задания позволят студентам глубже погрузиться в мехатронные системы и проявить свои навыки.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге CIROS предоставляет отличные возможности для работы с студентами по мехатронным системам на дистанционной основе. Разработанные задания позволят студентам написать уникальные курсовые и дипломные работы на высоком уровне. Использование CIROS предоставляет все функции для применения комплексов программ в мехатронике и робототехнике. Доступные готовые станции и инструменты открывают возможность получения бесценного опыта работы на практических занятиях.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ. БЛАГОДАРНОСТИ

Компания ООО «ФЕСТО-РФ» в рамках поддержки центров компетенции по подготовки мехатроникой предоставила Тюменскому государственному университету бесплатный временный доступ к данному продукту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е.П. Попова, М.Н. Иванов, В.Ф. Солдатов Использование дистанционных образовательных технологий при подготовке инженеров в техническом университете. Открытое образование т 6. 2014 с. 80-84

2. Бобцов А.А., Боргуль А.С., Зименко К.А., Маргун А.А. Применение мехатронных комплексов в обучении автоматизации и робототехнике. Дистанционное и виртуальное обучение. 2013. № 2 (68). С. 22-30.

3. Солдатов В.Ф., Клепиков В.В. Султан-заде Н.М. Особенности методического обеспечения курсового проектирования по техническим дисциплинам в условиях дистанционного образования // Качество дистанционного образования: концепции, проблемы, решения (DEQ-2012): материалы XIV Международной научно-практической конференции 7 декабря 2012 г. – М.: МГИУ 2012. – С. 178–179.

4. Бобряков А.В., Зуев А.В., Кабанов А.А., Каталинич Б., Стажков С.М., Филаретов В.Ф., Хомченко В.Г. Опыт создания электронных образовательных ресурсов для подготовки инженерных кадров по автоматизации производства, мехатронике и робототехнике в рамках междуниверситетской научно-образовательной сети "Синергия". Омский научный вестник. Серия Общество. История. Современность. 2017. № 3. С. 70-75.

5. С. М. Стажков Новый подход к использованию сетевых технологий в инженерном образовании. Инновации 2017. №1. С 33-38

6. CIROS®: профессиональное обучение в виртуальной учебной среде <https://www.festo-didactic.com/ru-ru/4441/486/ciros/ciros.htm?fbid=cnUucnUuNTcxLjI5LjE4LjExMTAuNzc5Mg>

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПУНКТА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ НА ОСНОВЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ

А. Н. Полуянов

*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

Аннотация. В статье рассмотрено применение метода «Дифференциальная эволюция» для решения задачи оптимизации размещения центра управления при известных координатах и удельных затратах на коммуникации до производственных объектов. Разработана универсальная реализация метода в среде Matlab, позволяющая выполнять расчеты для аналитически заданной целевой функции с произвольным количеством параметров.

Ключевые слова. Расположение центра управления, многопараметрическая оптимизация, дифференциальная эволюция

I. ВВЕДЕНИЕ

Задача оптимизации размещения центра управления производственными объектами является актуальной [1], применение проектными организациями математического аппарата при планировании размещения производственных объектов позволит существенно сократить затраты на кабельную продукцию и кабеленесущие системы.

В статье рассматривается решение задачи оптимизации размещения центра управления с использованием метода «Дифференциальная эволюция» [2].

Разработана универсальная реализация метода в среде Matlab, позволяющая выполнять расчеты для аналитически заданной целевой функции с произвольным количеством параметров.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для решения задачи оптимизации размещения центра управления предприятия необходимо построить соответствующую целевую функцию.

Введем следующие обозначения:

(x_i, y_i) – координаты расположения производственных объектов.

S_i – удельные затраты на коммуникационные связи для объектов.

(x, y) – искомые координаты центра управления.

Центр управления следует расположить так, чтобы затраты на коммуникационные связи были минимальными.

Количество объектов, координаты объектов и удельные затраты на коммуникационные связи являются входными параметрами задачи.

С учетом того, что на реальных производственных объектах размещение межцеховых коммуникаций подчиняется определенным правилам, евклидову мере для определения расстояния между объектами применять не всегда корректно.

В данном случае, логичнее будет использовать так называемое «расстояние городских кварталов» [3].

Расстояние городских кварталов – метрика, введенная немецким математиком Германом Минковским. Расстояние городских кварталов также известно как манхэттенское расстояние, метрика прямоугольного города, метрика городского квартала, метрика такси, прямоугольная метрика и т.д.

Согласно этой метрике, расстояние между двумя точками равно сумме модулей разностей их координат.

Обозначим R_i – манхэттенское расстояние от центра управления до объекта с номером i .

$$R_i = |x - x_i| + |y - y_i|$$

Обозначим F_i – затраты на коммуникационные связи от центра управления до производственного объекта с номером i .

$$F_i = R_i S_i$$

Обозначим F – суммарные затраты на коммуникационные связи от центра управления до производственных объектов.

$$F = \sum_{i=1}^M F_i$$

Таким образом, необходимо решить задачу оптимизации:

$$F = \sum_{i=1}^M F_i = \sum_{i=1}^M R_i S_i = \sum_{i=1}^M (|x - x_i| + |y - y_i|) S_i \rightarrow \min.$$

$$0 \leq x \leq X_{\max}, 0 \leq y \leq Y_{\max}.$$

F – целевая функция, (x, y) – свободные параметры, M – количество объектов.

При решении данной задачи можно задать дополнительные ограничения в виде штрафных функций на несовпадение координат центра управления с координатами производственных объектов. Но, поскольку, центр управления можно разместить в пределах одного из производственных объектов (на самом деле, так чаще всего и происходит), то дополнительные ограничения вводить не будем.

III. ТЕОРИЯ

Дифференциальная эволюция - метод многомерной оптимизации, который относится к классу стохастических алгоритмов и использует некоторые идеи генетических алгоритмов.

Метод дифференциальной эволюции разработан Рэйнером Сторном и Кеннетом Прайсом, опубликован впервые в 1995 году и получил дальнейшее развитие в более поздних работах [2].

Кратко алгоритм можно описать следующим образом. На первом шаге генерируется некоторое множество векторов (особей) в n -мерном пространстве (для нашей задачи $n=2$), сгенерированное множество будем называть поколением. На каждой итерации алгоритма генерируется новое поколение векторов, путем случайной комбинации векторов из текущего поколения. Количество векторов в каждом поколении одинаково и является одним из входных параметров метода.

Рассмотрим подробнее итерацию алгоритма: В цикле для каждой особи i (номер особи) случайным образом выбираются 3 различные особи a, b, c .

Введем обозначения:

N – особей в поколении.

M – текущее поколение особей (массив векторов).

K – сила мутации.

P – вероятность наследования.

Формируется мутантный вектор по следующей формуле:

$$\text{Mutant_V} = M(c) + K * (M(a) - M(b)).$$

Мутантный вектор подвергается операции «скрещивание». Задается вероятность P , с которой потомок наследует очередной (мутированный) генетический признак. Данный признак от вектора-родителя i наследуется с вероятностью $1-P$.

Полученный после скрещивания вектор называется пробным вектором. Если пробный вектор оказывается лучше вектора-родителя i (значение целевой функции для пробного вектора меньше), то в новом поколении вектор-родитель i заменяется на пробный вектор.

После перебора в цикле всех особей алгоритм переходит на следующую итерацию, на которой выполняются аналогичные действия для следующего поколения особей (векторов).

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработана универсальная реализация метода в среде Matlab, позволяющая выполнять расчеты для аналитически заданной целевой функции с произвольным количеством параметров. Проведены расчеты на тестовых данных методом дифференциальной эволюции для целевой функций F.

Сходимость метода проверялась для следующих входных параметров:

Количество особей в популяции $N = 10, N=30, N=100$.

Сила мутации $K = 0.5$,

Вероятность наследования $P = 0.7$.

Проведено сравнение результатов расчета методом «Дифференциальная эволюция» с методом Гаусса-Зейделя, градиентным методом. Результаты расчета различными методами совпали в пределах погрешности расчета.

На рисунках 1, 2, 3 приведены результаты работы метода «Дифференциальная эволюция» на начальном распределении (рис. 1), 10-й итерации (рис. 2) и 30-й итерации (рис. 3). Как мы видим, на 10-й итерации особи приблизились к точке глобального минимума, а на 30-й итерации все особи сошлись в одной искомой точке.

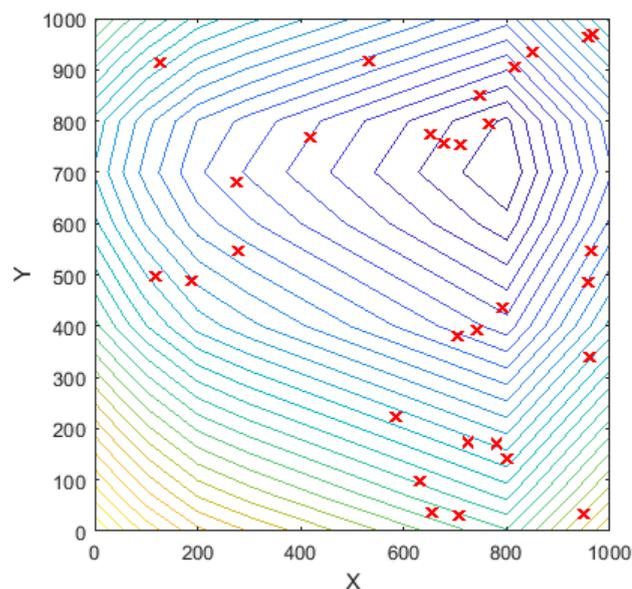


Рис. 1. Итерация №1 метода дифференциальная эволюция

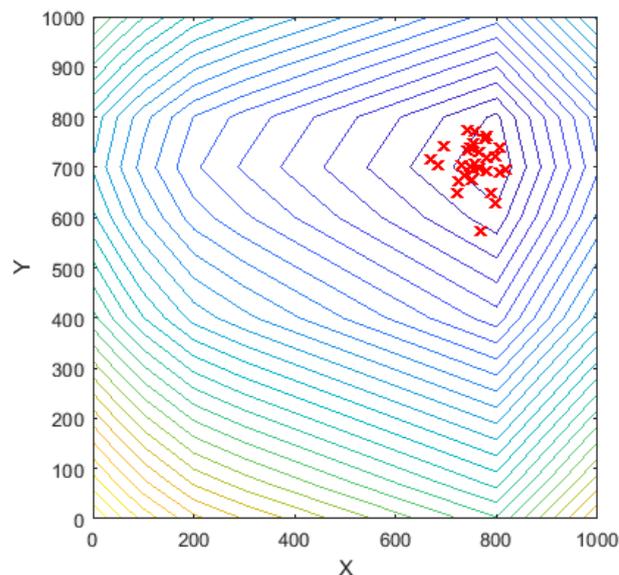


Рис. 2. Итерация №10 метода дифференциальная эволюция

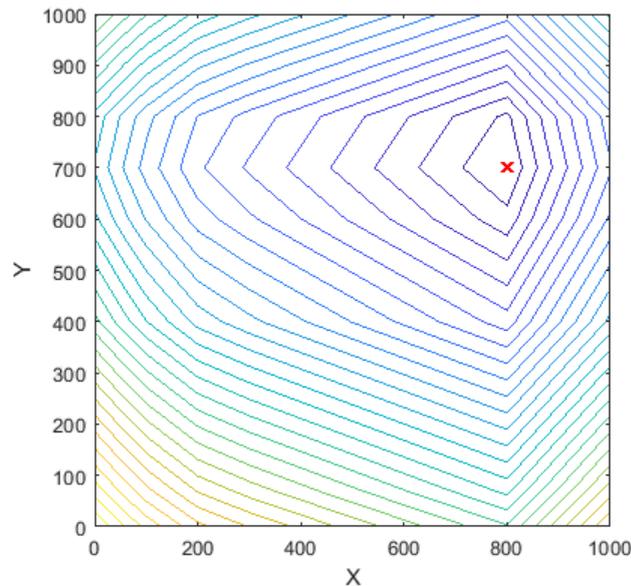


Рис. 3. Итерация № 30 метода дифференциальная эволюция

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты расчетов для различных входных данных показали хорошую сходимость метода «Дифференциальная революция» к глобальному минимуму, что позволяет рекомендовать метод в качестве одного из методов для решения задач многокритериальной оптимизации.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ. БЛАГОДАРНОСТИ

Работы выполнены при поддержке программы фундаментальных научных исследований СО РАН № I.5.1., проект № 0314-2016-0020.

Автор благодарит д.т.н., профессора В.Г. Хомченко за помощь в подготовке статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синтез схем внешних кабельных проводок на основе волнового алгоритма с использованием окрестности Мура / А. О. Строев, А. Н. Кужель, И. М. Зуга, В. Г. Хомченко // Автоматизация, мехатроника, информационные технологии [Электронный ресурс] = Automation, Mechatronics, Information Technologies : материалы VIII Междунар. науч.-техн. интернет-конф. молодых ученых (Омск, 16 мая 2018 г.) / ОмГТУ. – Электрон. текстовые дан. (7,33 Мб). – Омск, 2018. – С. 122–124. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: процессор Intel Pentium 1,3 ГГц и выше ; оперативная память 256 Мб ; свободное место на жестком диске 260 Мб ; операционная система Microsoft Windows XP/Vista/7/10 ; разрешение экрана 1024x768 и выше ; акустическая система не требуется ; дополнительные программные средства Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше. – Загл. с этикетки диска.

2. Price K., Storn R., Lampinen J. Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization, Springer, 2005. 539 p.

3. Paul E. Black, "Manhattan distance", in Dictionary of Algorithms and Data Structures [Электронный ресурс] // URL: <https://www.nist.gov/dads/HTML/manhattanDistance.html> (Дата обращения: 01.05.2020).

РАЗВИТИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ОТЧЁТНОСТИ В ЦЕЛЯХ ФИНАНСОВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДВЕДОМСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

А. Е. Зверев, А. В. Куликова, М. М. Полотнов, Г. А. Фомин

ФГБУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия

Аннотация. Объект исследования и разработки - развитие методологии и технологии построения программного обеспечения системы сбора и обработки плановых и отчётных данных для задач финансового планирования и оперативного мониторинга деятельности подведомственных организаций Минобрнауки России с целью выполнения требований адаптивности и переконфигурирования системы для реализации новых управленческих задач. Обеспечение интеграции системы в составе единого информационного пространства специализированного интернет портала.

Ключевые слова. Системы сбора данных, централизованные хранилища данных, информационные системы, интернет-портал

I. ВВЕДЕНИЕ

В статье приводятся актуальные подходы и способы модернизации системы сбора и обработки отчётности, используемой в управленческих задачах Минобрнауки России при планировании экономики отрасли. Целью модернизации является повышение адаптивности системы к решению новых задач, возникающих в связи с изменениями механизмов финансирования и новыми управленческими решениями, а также переход к единой унифицированной платформе сбора и обработки отчётности.

Информационная система (ИС) сбора и обработки отчётности, запрашиваемой в целях финансового планирования и оперативного мониторинга деятельности подотчётных организаций, является инструментом, обеспечивающим реализацию процедур информационного взаимодействия структурных подразделений Департамента экономической политики и других департаментов Минобрнауки России с финансово-экономическими службами подведомственных учреждений в части процедур предоставления, обработки и хранения плановых и отчётных данных.

Функционирование ИС предполагает интеграцию в состав Единого портала информационного взаимодействия с учреждениями, подведомственными Минобрнауки России, позволяющего использовать Internet как основное средство коммуникации и ведения документооборота [1]. Развитие подобной инфраструктуры является крайне актуальным в рамках тенденции перехода к цифровой экономике.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В ходе работы над проектом решались следующие основные задачи:

- модернизация методологии и технологии процесса подготовки плановой и отчетной информации с учетом функционирования ИС в составе Единого портала информационного взаимодействия www.cbias.ru;
- проектирование технологической развязки по различным видам (направлениям) сборов;
- разработка и интеграция в подсистемы сборов модуля сопряжения с единым Реестром организаций;
- реализация механизма автоматической авторизации пользователей в подсистемах сбора при входе через Единый портал в соответствии с установленными правами по категориям пользователей (организация, куратор, администратор);
- реализация новой конфигурации подсистемы сбора информации по принятым и исполненным в отчетном финансовом году и подлежащих принятию в текущем финансовом году обязательствам за счет средств целевых субсидий в рамках существующей структуры БД и ПО;

- реализация многоуровневой системы согласования и утверждения документов с контролем статусов посредством введения системы групп и ролей пользователей для курирующих департаментов и отделов;
- аналитическая панель руководителя – доступ к сводной информации в выбранных разрезах, полный контроль процесса сбора и проверки отчётности на всех уровнях.

III. ТЕОРИЯ

Информационная система представляет собой набор информационных подсистем, построенных по единым методологическим и технологическим принципам, имеющих единообразный пользовательский интерфейс, и встраиваемых в соответствующие разделы аналитического портала.

Структура модернизированных программных средств (ПС) сбора и обработки отчетности (изображена на рис. 1) построена по модульному принципу.

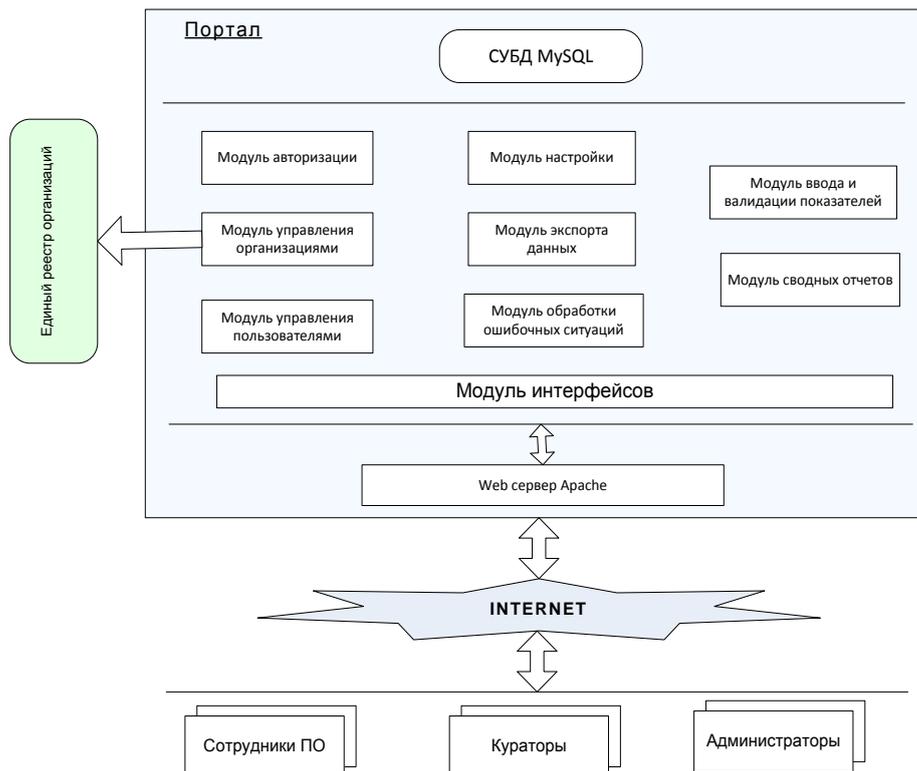


Рис. 1. Состав модернизированных ПС сбора и обработки отчётности.

В состав структуры ИС входят следующие основные элементы.

- Единое хранилище отчётных данных различных задач и временных периодов, реализуемое на основе СУБД MySQL. Модель данных построена таким образом, что не зависит от структуры отчётности и логически отделена от состава параметров. Логика обработки данных отделена от самих данных, что обеспечивает независимость централизованного хранилища и программного обеспечения по обработке собираемых и обрабатываемых показателей.
- Модули идентификации и авторизации пользователей, управление учетными записями и профилями пользователей. Посредством данных модулей реализуется опция единой точки входа через интерфейс информационного портала.
- Системное ПО. Обеспечивающее функционирование и интеграцию всех архитектурных уровней, а также реализует функции защиты информации.
- Модуль, реализующий функции Front-end и построение интерфейсов подсистем.
- Модуль настройки: обеспечивает настройку всей системы для работы, генерирует необходимые шаблоны, настраивает базу данных, модуль интерфейсов, списки пользователей и организаций, сводные отчеты, создает зависимости для расчета ячеек в формах и в сводных отчетах.
- Модуль обработки и предотвращения ошибочных ситуаций и исключений.

- Модули управления списком организаций, списком пользователей, ввода и валидации показателей, формирования сводных форм отчетов.

- Реестр: Централизованный реестр организаций Минобрнауки. Содержит актуальный перечень организаций, филиалов с набором атрибутов.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Логическая структура модернизированных компонентов баз данных изображена на рис. 2 (основные сущности БД с учётом новой конфигурации системы сбора в рамках проекта сбора информации о субсидиях).

Документ является агрегатом отчётных сведений, предоставляемых подведомственной организацией. Форма является промежуточным агрегатом параметров. Документ агрегирует формы в пределах задачи сбора. Задача сбора определяет комплект (либо набор комплектов) форм сбора и перечень учреждений, участвующих в задаче.

Субсидия является промежуточным агрегатором форм в рамках задачи сбора. Представляет собой самостоятельный документ, который проверяется и утверждается на уровне курирующих Департаментов.

Департамент – курирующий департамент, осуществляющий проверку и согласующий и/или утверждающий соответствующий документ. Департаменты могут включать в себя группы с различными полномочиями.

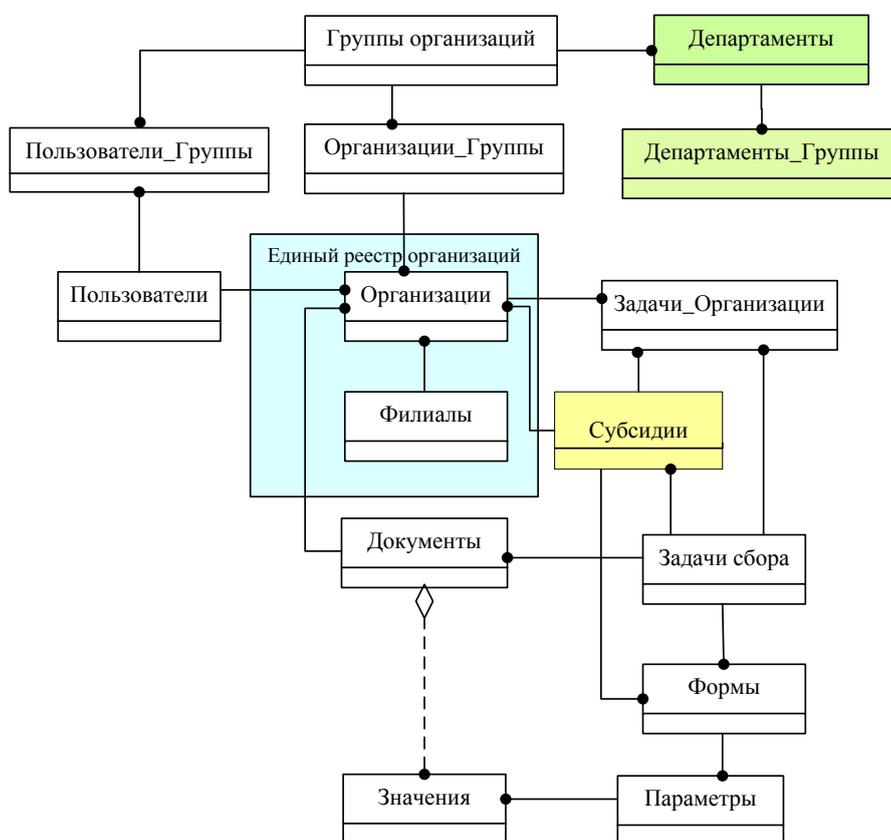


Рис. 2. Логическая структура компонентов баз данных формирования и ведения информационных массивов

Департаменты_группы – реализует связь многие-к-многим между департаментами и входящими в них курирующими группами.

Организации_Группы – реализует связь многие-к-многим между организациями и группами организаций

Пользователи_Группы – реализует связь многие-к-многим между пользователями и доступными им группами организаций.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Реализация программного обеспечения строится по модульному принципу, что позволяет многократно применять разработанные компоненты при построении новых подсистем. На всех уровнях функционирования системы используется унифицированная платформа, а также кроссплатформенные решения. Унификация программных реализаций предопределяет единообразие форматов хранения, принципов работы и средств обработки данных, а также интерфейсов взаимодействия с пользователем. Внедрённые технологии, архитектурные и программные решения реализуют следующие основополагающие требования к ИС:

- Масштабируемость. Способность системы работать как с малым, так и с очень большим количеством параметров, эффективно используя аппаратные ресурсы.

- Переконфигурация системы «на лету». Возможность изменения структуры и надстроек системы, форм представления, условий обработки информации в конкретной подсистеме, не прерывая работы и не мешая другим подсистемам.

- Расширяемость. Количественное добавление новых подсистем сбора информации, новых типов рабочих мест с разграничением прав доступа, новых форм хранения информации, а также возможность развития системы в будущем.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрённые концепции и технологические решения ИС сбора и обработки отчётности повышают интеграционные возможности новых подсистем, разрабатываемых в её составе, и готовность к расширению и решению новых производственных задач с вводом их в эксплуатацию в кратчайшие временные сроки.

Результаты выполненных работ по модернизации ИС способствуют эффективному решению задач бюджетного планирования и управления экономикой отрасли образования и науки за счёт оперативности и достоверности сбора отчётных показателей в требуемых информационных разрезах, а также единому информационному пространству взаимодействия подведомственных учреждений и курирующих подразделений Минобрнауки России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зверев А.Е., Куликова А.В., Полотнов М.М. Создание единого информационного пространства для реализации процессов сбора и обработки плановой и отчетной информации в целях финансового планирования и оперативного мониторинга деятельности подведомственных учреждений. Интеллектуальные системы, управление и мехатроника – 2018: Материалы Всероссийской научн.-техн. конф. // Севастополь: [Изд-во СевГУ], 2018. С. 152-156.

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ РЕСУРСНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ ПРОМЫШЛЕННОГО СООРУЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ

В. Г. Хомченко¹, И. М. Зуга², А. О. Строев²

¹Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

²ПАО «ОМХП», г. Омск, Россия

Аннотация. Рассмотрена проблема поиска оптимального расположения ресурсных объектов, предназначенных для обслуживания или управления технологическим оборудованием в многоэтажном промышленном сооружении. Для оценки качества расположения ресурсного объекта используются критерии, равные произведению уровней удельных коммуникационных затрат на расстояния, измеряемые в евклидовой и манхэттенской метрике. Для решения поставленной задачи использован метод дифференциальной эволюции. Приведен пример.

Ключевые слова. Многоэтажные промышленные сооружения, ресурсный объект, критериальная функция, евклидова и манхэттенская метрика, метод дифференциальной эволюции

I. ВВЕДЕНИЕ

При решении задач размещения в пространстве промышленных сооружений ресурсных объектов, предназначенных для обслуживания технологического оборудования или управления им (насосные станции, шкафы управления, операторские и тому подобное) возникает проблема поиска оптимального расположения таких объектов относительно обслуживаемого оборудования. Оценка качества расположения ресурсного объекта относительно обслуживаемого им технологического оборудованием производится, как правило, по затратам на создание и эксплуатацию трубных и кабельных проводок [1, 2].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данной статье предлагается метод поиска оптимального расположения ресурсного объекта в объеме пространства промышленного сооружения (здания) на основе метода дифференциальной эволюции [3, 4] при условии, что обслуживаемое оборудование располагается на нескольких этажах этого сооружения. Учитывая, что синтез схем размещения оборудования, в том числе и определение места положения ресурсного центра производится на первых этапах проектирования затраты на реализацию коммуникаций между ресурсным объектом и оборудованием оцениваются в работе как произведение некоторого относительного уровня удельных затрат, определяемого экспертным путем в баллах, на соответствующие расстояния.

III. ТЕОРИЯ

В качестве критериальной функции K , выражающей зависимость коммуникационных затрат от уровня удельных затрат и расстояний между ресурсным объектом и обслуживаемым им оборудованием, примем выражение

$$K = \sum_{i=1}^{i=n} c_i * l_i ,$$

где: c_i и l_i – соответственно уровень удельных коммуникационных затрат и расстояние между ресурсным объектом и i -м обслуживающим оборудованием; n – число оборудования.

Расстояние l_i будем определять между характерными точками ресурсного объекта и оборудования в зависимости от проектной ситуации тремя способами:

- как евклидово (кратчайшее) расстояние:

$$l_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} ;$$

- как манхэттенское расстояние

$$l_i = |x - x_i| + |y - y_i| + |z - z_i|;$$

где: x_i , y_i и z_i – предварительно заданные координаты характерных точек i -го обслуживаемого оборудования; x , y и z – искомые координаты характерной точки ресурсного объекта.

- как комбинация евклидова и манхэттенского расстояний (в случае если между характерными точками ресурсного объекта и некоторого оборудования расстояние следует измерять по прямой, а другого оборудования – по соответствующим катетам),

В качестве характерных точек могут быть приняты центры геометрических образов оснований ресурсного объекта и технологического оборудования либо другие точки присоединения коммуникаций.

Изложим алгоритм метода дифференциальной эволюции применительно к поставленной в данной работе задаче.

Вначале с использованием генератора случайных чисел формируется матрица стартовой популяции родителей, содержащая v особей (строк):

$$x_1, y_1, z_1 ;$$

$$x_2, y_2, z_2 ;$$

.....

$$x_v, y_v, z_v ,$$

каждая строка которой представляет собой набор координат характерных точек ресурсного объекта.

Затем также случайным образом генерируется вектор, содержащий четыре целых числа в диапазоне от 1 до v . Строки выше полученной матрицы, соответствующие полученным четырем целым числам, используются для расчета координат родителя-мутанта по формулам (для упрощения изложения примем вектор четырех целых чисел, состоящим из цифр: 7; 3; 6; 2):

$$x_m = x_3 + k(x_6 - x_2); \quad y_m = y_3 + k(y_6 - y_2); \quad z_m = z_3 + k(z_6 - z_2),$$

где k – константа мутации.

Следующей операцией метода дифференциальной эволюции является операция кроссовера (скрещивания) с целью получения ребенка (потомка). Для этого используются гены основного родителя (в нашем случае строки №7 стартовой популяции) и родителя-мутанта так, что при выполнении определенного условия гены основного родителя заменяются одноименными генами родителя-мутанта. Замена производится, если соответствующее случайное число в диапазоне от 0 до 1 из предварительно сгенерированного вектора размерностью 3×1 оказывается меньше также случайно полученной скорости кроссовера. В результате будет получена хромосома ребенка, состоящая в нашем случае из трех генов, а именно: x_r , y_r , z_r .

Если выполняется условие

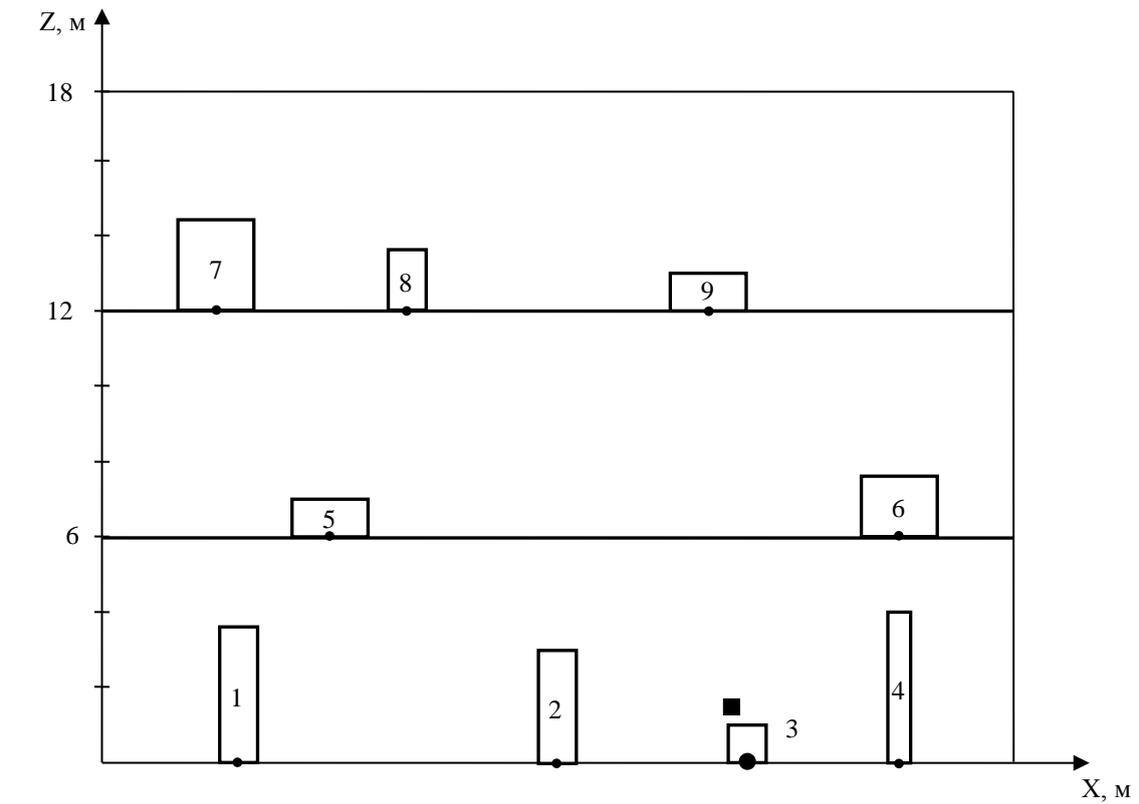
$$K(x_r, y_r, z_r) < K(x_7, y_7, z_7),$$

то хромосома x_7, y_7, z_7 основного родителя заменяется хромосомой ребенка x_r, y_r, z_r .

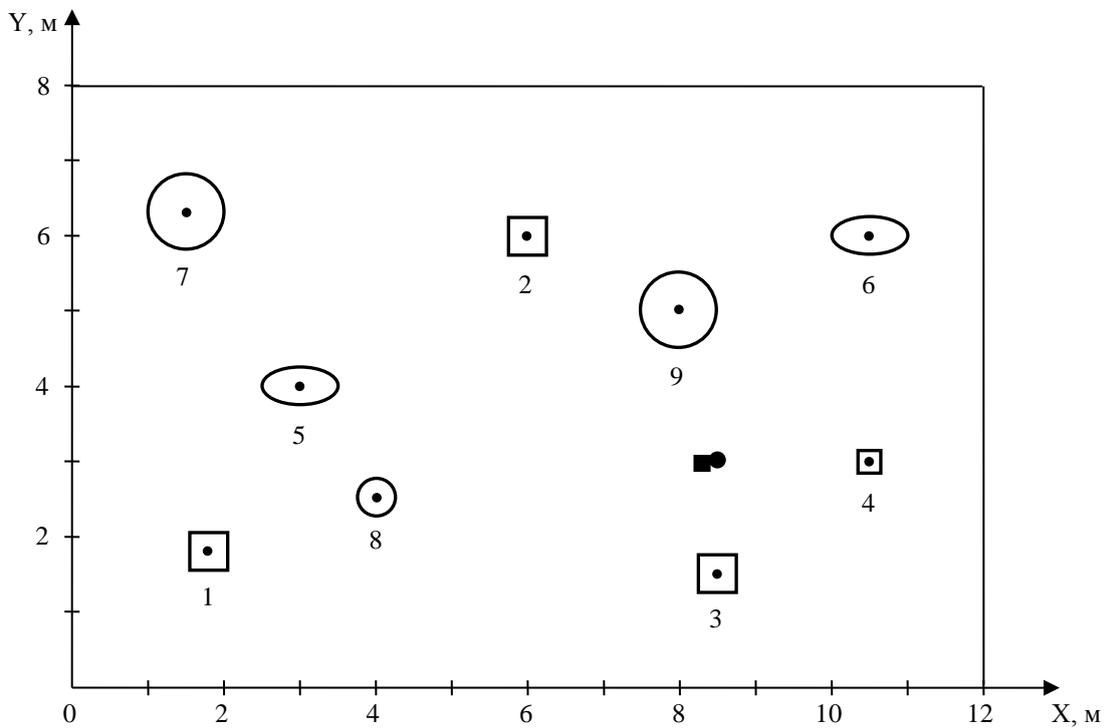
Итерации продолжаются по достижению их заданного числа либо по достижению определенного результата.

Пример. Задано расположение характерных точек девяти единиц обслуживаемого оборудования, распределенного на трех этажах производственного сооружения (рисунок) и уровни удельных коммуникационных затрат (по 20-балльной шкале) между ресурсным объектом и технологическим оборудованием (табл. 1).

На основании метода дифференциальной эволюции определим оптимальное расположение ресурсного объекта с использованием евклидова и манхэттенского расстояний.



а)



б)

Рисунок. Расположение оборудования и ресурсного объекта в пространстве производственного сооружения:

а) вид сбоку; б) вид сверху; на виде сверху оборудование, расположенное на первом этаже, представлено квадратами; на втором этаже – эллипсами; на третьем – окружностями.

ТАБЛИЦА 1
 КООРДИНАТЫ РАСПОЛОЖЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧЕК
 ОБСЛУЖИВАЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ И УРОВНИ УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ

| № этажа | № объекта | x, м | y, м | z, м | c |
|---------|-----------|------|------|------|----|
| 1 | 1 | 1,8 | 1,8 | 0 | 12 |
| | 2 | 6,0 | 6,0 | 0 | 4 |
| | 3 | 8,5 | 1,5 | 0 | 20 |
| | 4 | 10,5 | 3,0 | 0 | 18 |
| 2 | 5 | 3,0 | 4,0 | 6 | 10 |
| | 6 | 10,5 | 6,0 | 6 | 19 |
| 3 | 7 | 1,5 | 6,3 | 12 | 4 |
| | 8 | 4,0 | 2,5 | 12 | 1 |
| | 9 | 8,0 | 5,0 | 12 | 3 |

Использование метода дифференциальной эволюции для различных способов прокладки коммуникационных трасс позволило в рассматриваемом примере получить следующие координаты оптимального расположения ресурсного объекта, м:

- в евклидовой метрике: $x = 8,31$; $y = 2,96$; $z = 1,47$. (на рисунке показан заштрихованным малым квадратом);

- в манхэттенской метрике: $x = 8,50$ $y = 3,00$ $z = 0,00$. (на рисунке показан заштрихованной окружностью малого диаметра). Минимальное значение критерия в первом случае равно 464,496 условных единиц, а во втором – 666,5.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рассмотренном примере расположение ресурсного объекта по координатам x и y при различных способах прокладки коммуникаций практически совпало. В случае прокладки по кратчайшему расстоянию этот объект в соответствии с расчетами должен быть поднят на 1,5 м от поверхности первого этажа. Такое расположение может быть либо скорректировано с учетом этажности производственного сооружения по тем или иным дополнительным условиям, либо ресурсный объект будет установлен на отдельном основании. Длина коммуникаций в манхэттенской метрике на 43,49 % оказалась больше, чем в евклидовой, что вполне закономерно.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение метода дифференциальной эволюции к задачам поиска оптимального расположения того или иного объекта, предназначенного для реализации в пространстве многоэтажного сооружения функций обслуживания оборудования в том или ином смысле, позволяет вполне успешно за сравнительно небольшое число итераций получать приемлемые для проектной практики решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И. М. Зуга, В. Г. Хомченко. Математическая модель и алгоритм автоматизированного проектирования схем размещения объектов из условий минимизации коммуникационных затрат // Динамика систем, механизмов и машин: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. / ОмГТУ. – Омск, 2009. – Кн. 3. – С. 35–38.
2. И. М. Зуга, В. Г. Хомченко. К проектированию схем размещения объектов предприятий нефтегазового комплекса // Нефтепереработка-2009: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, 2009. – С. 25–26.
3. Storn, Rainer and Price, Kenneth. Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces // Journal of Global Optimization. – 1997. – Vol. 11, Issue 4. – P. 341–359.
4. Зуга И. М. Оптимизация схем расположения объектов нефтегазоперерабатывающих предприятий на основе метода дифференциальной эволюции / И. М. Зуга, В. Г. Хомченко, А. Н. Кужель, П. А. Овчинников, А. О. Строев // Техника и технологии нефтехимического и нефтегазового производства: материалы 10-й междунар. науч.-техн. конф. – Омск, 26 – 29 февраля 2020 г. – Омск: Изд.-во ОмГТУ, 2020. – С. 236-237.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ СХЕМ КАБЕЛЬНЫХ ПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА

В. С. Шляпужников, В. Г. Хомченко

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. Рассмотрена проблема прокладки оптимальных кабельных трасс между объектами. Данная проблема актуальна для промышленных и проектных предприятий, занимающихся трассировкой различных коммуникаций, в том числе кабельных. Целью работы является исследование возможностей метода муравьиной колонии для поиска кратчайшего пути между объектами при наличии препятствий. Приведен пример реализации нескольких итераций муравьиного алгоритма.

Ключевые слова. Муравьиный алгоритм, кратчайший путь, трассировка

I. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время остро стоит вопрос оптимизации сложных систем, все тщательней подбираются методы и способы достижения результата. Интенсивно развивается научное направление Natural Computing – «Природные вычисления», которое объединяет математические методы с природными механизмами принятия решений [1]. Данное направление показывает эффективный результат взаимодействия науки и природы. К одним из достаточно сложных систем относятся коммуникационные сети промышленных предприятий и, в частности, кабельные сети.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данной работе ставится и решается задача анализа и использования модели поведения муравьиной колонии, ищущей пути от колонии к источнику питания, для поиска минимальной по протяженности трассы между производственными объектами с учетом обхода возникающих на пути препятствий, в роли которых выступают те или иные здания или сооружения промышленных предприятий. Данная модель является основой муравьиного алгоритма и её применение представляет собой метаэвристическую оптимизацию [2].

III. ТЕОРИЯ

В реальном мире муравьи первоначально ходят в произвольном порядке в поисках источника питания. При нахождении продовольствия муравей возвращается обратно в колонию, оставляя при этом на своем пути феромонный след.

Феромон – летучее вещество, которое муравей оставляет на своем пути как след. Он воспринимается при перемещении другими муравьями, и чем выше концентрация феромона на определенной тропе, тем выше привлекательность этой тропы для других муравьев колонии. Каждый муравей колонии оставляет за собой феромон и укрепляет более короткий путь. С течением времени, феромон на тропе имеет свойство испаряться, следовательно, чем больше времени муравей потратит на прохождение пути от цели и обратно, тем сильнее испарится феромон. Таким образом, на более коротких участках плотность феромона будет выше, так как прохождение будет за более короткое время и, как следствие, более частым.

Основу «социального» поведения муравьев составляет самоорганизация – множество динамических механизмов, обеспечивающих достижение системой глобальной цели в результате низкоуровневого взаимодействия ее элементов [3]. Самоорганизация является результатом взаимодействия следующих четырех компонентов:

- Случайность. Когда в пространстве появляются феромонные следы, случайная природа муравьев позволяет с какой-то вероятностью не пойти по обогатенной феромоном тропе, а выбрать иную.

- Многократность. Для выбора оптимального пути понадобится не один десяток муравьев. Необходимо использовать множество попыток, чтобы исключить «лишние» тропы в пользу оптимальной (кратчайшей).

- Положительная обратная связь, также называемая стигмержи (stigmergy). Стигмержи — это разнесенный во времени тип взаимодействия, когда один субъект взаимодействия изменяет некоторую часть окружающей среды, а остальные используют информацию об ее состоянии позже, когда находятся в ее окрестности. Таким образом, стигмержи осуществляется посредством взаимодействия муравьев с феромонами пространства.

- Отрицательная обратная связь. Испарение феромонов с течением времени позволяет адаптировать свое поведение под изменение окружающей среды. Моделирование испарения феромона даст возможность муравьям искать другие пути и позволит убедиться, что найденное локальное оптимальное решение будет не единственным.

В данной статье рассмотрена возможность реализации основ муравьиного алгоритма при решении задачи поиска оптимальной кабельной трассы между объектами при наличии препятствий.

Имеется плоское дискретное рабочее поле, на которую нанесены прямоугольники, представляющие собой производственные здания и сооружения и являющиеся препятствиями для прокладки трасс между теми или иными объектами. С рабочим полем связана двухмерная декартова система координат. Муравьи перемещаются на плоскости, изменяя по соответствующим правилам свои координаты относительно осей.

Важную роль играет правило вероятности перехода муравья из точки i с координатами $[x_i, y_i]$ в точку j с координатами $[x_j, y_j]$:

$$P_{i,j} = \frac{\tau_{i,j}^\alpha * \eta_{i,j}^\beta}{\sum_{i=1}^m \tau_{i,j}^\alpha * \eta_{i,j}^\beta}, \quad (1)$$

где: $\tau_{i,j}$ - количество феромона между клетками i и j ;

α – регулируемый параметр, контролирующий влияние феромона на вероятность выбора клетки;

η – привлекательность клетки, величина обратная евклидову расстоянию между клеткой j и финишной f ($\eta = 1 / \sqrt{(x_j - x_f)^2 - (y_j - y_f)^2}$);

β – регулируемый параметр, контролирующий влияние привлекательности на вероятность выбора клетки;

m – количество возможных для перемещения клеток от j клетки до финишной.

Ключевым фактом является то, что по правилу (1) определяется лишь вероятность выбора той или иной клетки. Тогда как сам выбор точки осуществляется по принципу «колеса рулетки»: вероятность перехода на каждую клетку имеет величину сектора, пропорциональную вероятности, определенной по формуле (1). Для выбора необходимо сгенерировать случайное число и определить в какой сектор попадает полученное число.

При перемещении по маршруту муравей откладывает на каждой клетке своего пути количество феромона $\Delta\tau_{i,j}$, рассчитываемого по формуле:

$$\Delta\tau_{i,j} = \frac{Q}{L}, \quad (2)$$

где: Q – регулируемый параметр, определяющий концентрацию нанесения феромона;

L – показатель качества, в данном случае, длина пути в клетках от начальной клетки до конечной.

Обновление феромона на всем клеточном пространстве происходит по формуле:

$$\tau_{i,j} = (1 - \rho) * \tau_{i,j} + \Delta \tau_{i,j}, \quad (3)$$

где: ρ – регулируемый параметр, контролирующий скорость испарения феромона ($\rho \in 0 \dots 1$).

Построение пути завершается в случае, если конечная точка достигнута или больше не остается возможных клеток для перехода. Завершение самого алгоритма происходит, если L не изменяется на протяжении определенного количества итераций или пройдено определенное количество муравьев.

На основе муравьиного алгоритма решим задачу прокладки маршрута от синей клетки с координатами: $x=0; y=4$ до красной клетки с координатами $x=9; y=8$ (рис. 1). Здания, представляющие препятствия на пути муравья, отмечены черным цветом. Их координаты известны при инициализации задачи и эти клетки не будут учитываться муравьем при построении пути. На рис. 1 представлено рабочее пространство и начальное количество феромона на клетках.

Для исходной точки определим множество возможных переходов. Это точки с координатами $x=0; y=5$ и $x=1; y=4$. Клетка с координатами $x=0; y=3$ не входит в множество, так как является частью здания, куда входит начальная точка. По формуле (1) определяем вероятности перехода в каждую из клеток (пусть $\alpha=1, \beta=1$).

$$P_{[0,4]-[0,5]} = \frac{1^1 / (\sqrt{(0-9)^2 + (5-8)^2})^1}{1^1 / (\sqrt{(0-9)^2 + (5-8)^2})^1 + 1^1 / (\sqrt{(1-9)^2 + (4-8)^2})^1} = 0.485;$$

$$P_{[0,4]-[1,4]} = \frac{1^1 / (\sqrt{(1-9)^2 + (4-8)^2})^1}{1^1 / (\sqrt{(0-9)^2 + (5-8)^2})^1 + 1^1 / (\sqrt{(1-9)^2 + (4-8)^2})^1} = 0.515.$$

Определяем следующую клетку с использованием «колеса рулетки». «Рулетка» имеет 2 сектора с размерами 0.485 и 0.515 (рис. 2). Генерируем случайное число для выбора: 0.67. Выбрана клетка: $x=1; y=4$.

Происходит переход в следующую клетку, затем проделываем ту же процедуру выбора клетки пока это возможно (до выполнения условия завершения пути).

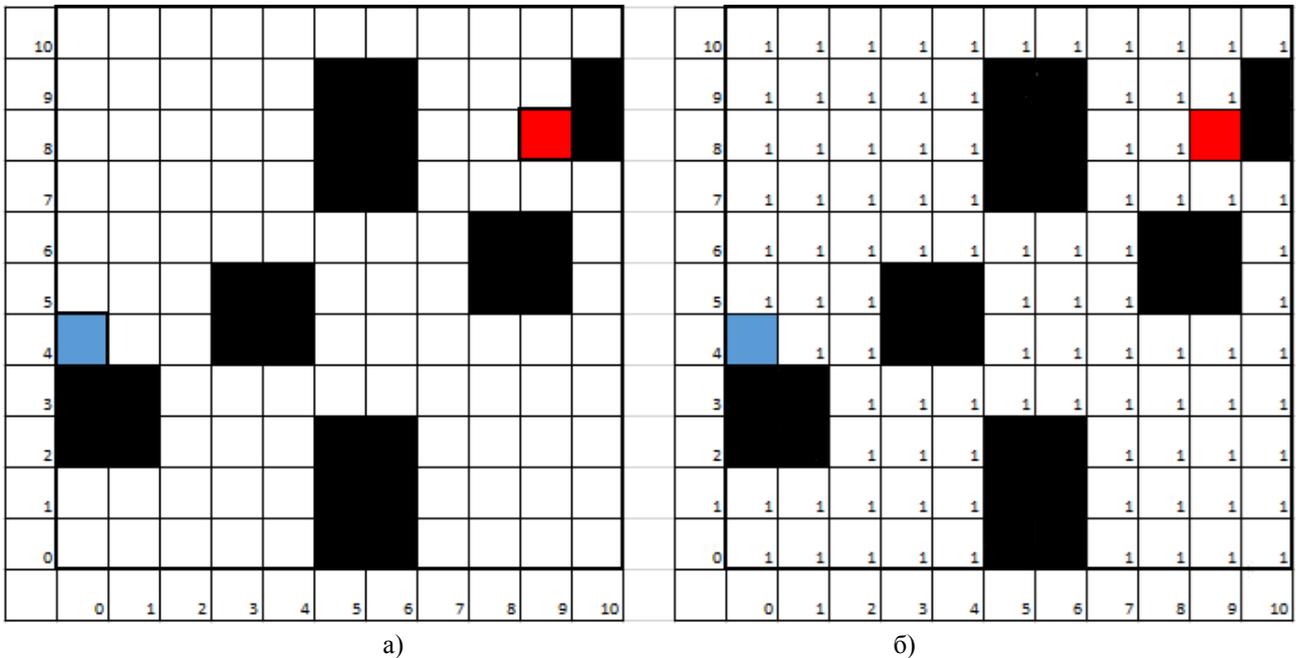


Рис. 1. Дискретное рабочее поле:
а) исходное рабочее пространство;
б) начальный уровень феромона на клетках рабочего пространства

| | |
|--------------|--------------|
| 0-0.485 | 0.485-1 |
| P[0,4]-[0,5] | P[0,4]-[1,4] |

0.67

Рис. 2. Вероятность перехода между клетками

Определяем длину пути маршрута и сохраняем её. В последующих итерациях будет сравниваться текущая длина пути с лучшей и при необходимости перезаписываться. В нашем случае $L=12$.

Для клеток, входящих в путь первого муравья, по формуле (2) вычислим количество откладываемого феромона. Пусть $Q=1$.

$$\Delta\tau_{i,j} = \frac{1}{12}.$$

И, наконец, происходит обновление феромона на всех клетках по формуле (3). Пусть $\rho=0.5$. Для клеток, входящих в путь муравья:

$$\tau_{i,j} = (1-0.5)*1 + \frac{1}{12} = 0.58.$$

Для клеток, не входящих в путь муравья, $\Delta\tau_{i,j} = 0$:

$$\tau_{i,j} = (1-0.5)*1 = 0.5.$$

На рис. 4 представлено рабочее пространство после прохода первого муравья (путь первого муравья отмечен желтым цветом), а также обновленное значение феромонов на клетках пространства (у клеток не входящих в путь первого муравья феромон испарился, а на клетках, составляющих путь муравья, добавилось значение $\Delta\tau_{i,j}$).

Рассмотрим путь второго муравья. На первой итерации определим множество его возможных переходов. Это точки такие же, как и для первого муравья. Определим вероятности перехода по формуле (1):

$$P_{[0,4]-[0,5]} = \frac{0.5^1 / (\sqrt{(0-9)^2 + (5-8)^2})^1}{0.5^1 / (\sqrt{(0-9)^2 + (5-8)^2})^1 + 0.58^1 / (\sqrt{(1-9)^2 + (4-8)^2})^1} = 0.448;$$

$$P_{[0,4]-[1,4]} = \frac{0.58^1 / (\sqrt{(1-9)^2 + (4-8)^2})^1}{0.5^1 / (\sqrt{(0-9)^2 + (5-8)^2})^1 + 0.58^1 / (\sqrt{(1-9)^2 + (4-8)^2})^1} = 0.552.$$

Как видно, вероятности распределены уже с большим разбросом – именно здесь и прослеживается влияние феромона на выбор следующей клетки. Но даже несмотря на это, выбор следующей точки осуществляется случайно, с помощью «колеса рулетки» (рис. 3). Случайное сгенерированное число: 0,62.

| | |
|--------------|--------------|
| 0-0.448 | 0.448-1 |
| P[0,4]-[0,5] | P[0,4]-[1,4] |

0.62

Рис. 3. Вероятность перехода между клетками для второго муравья

Определяем длину пути маршрута второго муравья и сравниваем с первым. $L_2=14$. Таким образом, лучшая длина ($L_1=12$) сохраняется.

Осуществим обновление феромона по пути второго муравья по формуле (2)

$$\Delta\tau_{i,j} = \frac{1}{14}.$$

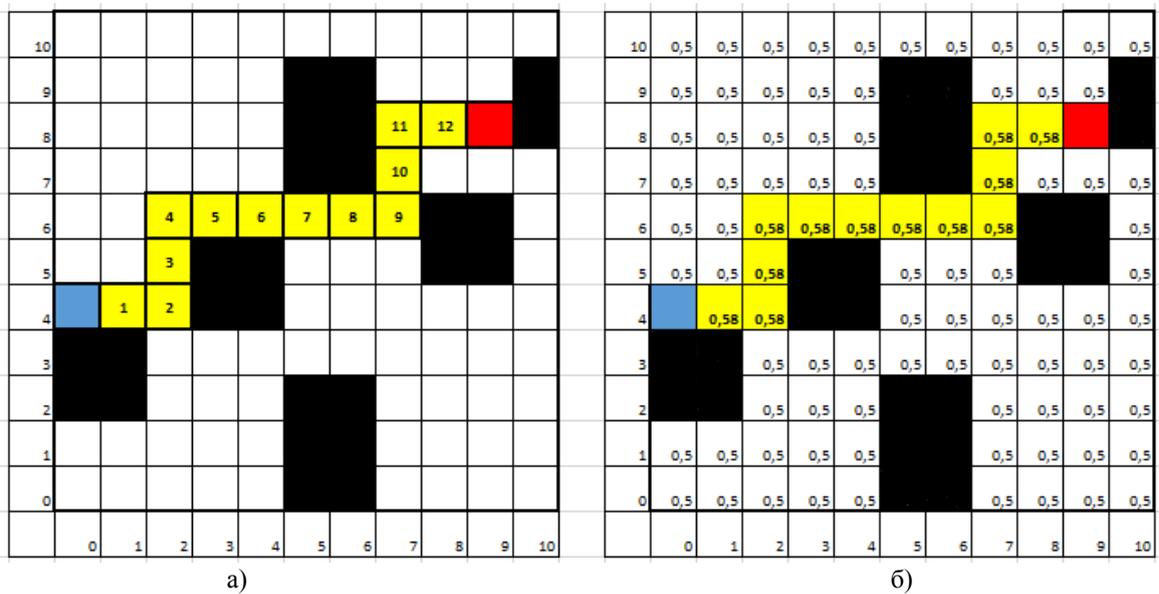


Рис. 4. Рабочее пространство после прохода первого муравья:
 а) путь первого муравья (желтый цвет);
 б) количество феромона после прохода первого муравья

Рассмотрим процесс обновления феромонов по формуле (3) [4]:

- после прохода второго муравья для клеток, вошедших в путь этого муравья:

$$\tau_{i,j} = (1-0.5)*0.5 + \frac{1}{14} = 0.32;$$

- для клеток, совпавших с клетками пути первого муравья:

$$\tau_{i,j} = (1-0.5)*0.58 + \frac{1}{14} = 0.36;$$

- для клеток, не вошедших в путь первого и второго муравьев:

$$\tau_{i,j} = (1-0.5)*0.5 = 0.25;$$

- для клеток, вошедших в путь первого муравья, но не вошедших в путь второго муравья:

$$\tau_{i,j} = (1-0.5)*0.58 = 0.29.$$

Рабочее пространство после прохода второго муравья показано на рис. 5 (путь первого муравья, не совпавший с путем 2-го муравья, остался выделенным желтым цветом, путь второго муравья – зеленым).

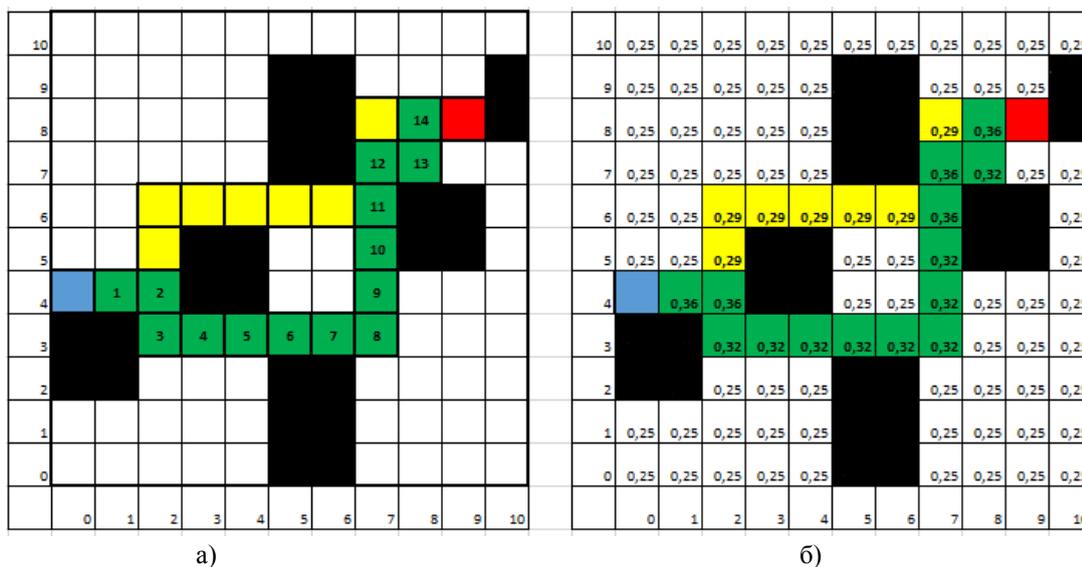


Рис. 5. Рабочее пространство после прохода второго муравья:
 а) путь второго муравья (зеленый цвет);
 б) количество феромона на клетках после прохода второго муравья

Каждый последующий муравей будет изменять количество феромона на клетках, тем самым изменяя вероятность перехода на каждую из них для последующих итераций. На клетках, по которым чаще всего проходят муравьи, будет откладываться все больше феромона.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После проведения определенного количества итераций, в рабочем пространстве сформируется кратчайший путь. Кратчайшим путем будет путь, имеющий самый высокий показатель качества (наименьшая длина пути) и наибольший уровень феромона.

Моделирование пути муравья может пойти непредсказуемо ввиду присутствия фактора случайности. Уменьшение рисков возможно путем варьирования величин регулируемых параметров (α , β , Q , ρ), а также начального количества феромонов на клетках [5, 6].

Также возможно использовать известные модификации алгоритма с последующим исследованием их влияния на результат прокладки (с учетом, как длины получившегося пути, так и времени выполнения)

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье был рассмотрен метод нахождения кратчайшего пути между объектами с помощью муравьиного алгоритма. В результате составлен алгоритм данного метода для последующей реализации на ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МакКоннелл Дж. Основы современных алгоритмов. Москва, Техносфера, 2004.
2. Лебедев О.Б. Трассировка в канале методом муравьиной колонии // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4 (93). – С. 46-52.
3. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы // Exponenta Pro. Математика в приложениях, 2003, №4, с.70-75.
4. Никитин Т.О., Суздальцев И.В. Автоматизация трассировки печатных плат электронных средств с использованием муравьиного алгоритма. ООО "Издательство Фолиант" (Санкт-Петербург), XXII Туполевские чтения (школа молодых ученых). Том III, 2015
5. Дориго М. Система муравьев: оптимизация с помощью колонии сотрудничающих агентов (Dorigo M. The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. – Part B26, (1):1–13, 1996).
6. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / М. Тим Джонс ; Пер. с англ. Осипов А. И. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 312 с.: ил.

Секция 4

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИКЛАДНЫХ ОБЛАСТЯХ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 622.456.6

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ТЕПЛОСНАБЖАЮЩИХ СИСТЕМ МЕГАПОЛИСОВ СРЕДСТВАМИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Е. В. Калашникова¹, Б. Н. Фешин¹, М. С. Пешко²

¹*Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан*

²*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

Аннотация. Резко континентальный климат северных и центральных областей Республики Казахстан определил актуальность совершенствования теплоснабжающих систем мегаполисов (ТСМ) как элементов жизнеобеспечения в направлении повышения качества, надежности и энергосбережения. Базу для решения этих задач предлагается создать путем построения подсистем прогнозирования состояний (ППС) электротехнических комплексов ТСМ средствами интеллектуальных информационных технологий. ППС будет содержать средства автоматического контроля и мониторинга (САКиМ). САКиМ разрабатываемые в специализированных программных средах LabVIEW и MatLAB-Simulink, будут позволять осуществлять прогнозирование износа оборудования по данным мониторинга скоростных режимов электроприводов (ЭП) насосов, анализируемых в пространстве реальных и виртуальных координат ЭП. Внедрение частотно-регулируемого ЭП позволит улучшить показатели энергоэффективности ЭП в моменты пуска, останова и переключения режимов работы. Интеллектуальные подсистемы прогнозирования ресурса и надежности оборудования повысят безопасность эксплуатации электротехнических комплексов ТСМ.

Ключевые слова. Энергосбережение, асинхронный электропривод, LabVIEW, объектно-ориентированное программирование

I. ВВЕДЕНИЕ

Резко континентальный климат северных и центральных областей Республики Казахстан (РК) фактически и нормативно определил обязательное наличие теплоснабжающих систем мегаполисов (ТСМ) как элементов жизнеобеспечения, актуальность совершенствования которых, в направлении повышения качества, надежности энергоснабжения и обеспечения энергосбережения, являются основными задачами ТСМ [1].

Анализ ТСМ г. Караганды показал, что существующие электротехнические комплексы насосных станций (которых насчитывается не менее 30шт.) оснащены центробежными насосами, приводимыми в действие высоковольтными асинхронными электродвигателями с короткозамкнутыми роторами и примитивными системами автоматического контроля. Регулирование режимов работы магистральных тепловых сетей осуществляется путем дросселирования запорной арматуры и регулирующих органов (причем во многих случаях ручным способом) [2].

Существует обширная теоретическая (например, [3]) и практическая (например, [4]) информация по модернизации электроприводов насосных установок на базе асинхронных двигателей и частотных преобразователей, но применительно к ТСМ анализируемой в [2], проблема заключается в невозможности в большом объеме и быстро совершить переход к новому, технически перспективному уровню электротехнических комплексов ТСМ.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Базу для решения задач повышения качества и надежности энергоснабжения, а также обеспечения энергосбережения предлагается создать путем построения подсистем прогнозирования состояний электротехнических комплексов ТСМ средствами интеллектуальных информационных технологий.

Назовем упомянутую подсистему — $PROG_{ЭК\ ТСМ}$.

Приемлемые результаты зависят от первоначального состояния электротехнических комплексов ТСМ. Здесь предлагается классифицировать состояние ТСМ следующим образом:

1. Объект – электротехнический комплекс ТСМ типа ОЭКС₁: *отдельная насосная станция оснащенная центробежными насосами, приводимыми в действие высоковольтными асинхронными электродвигателями с короткозамкнутыми роторами и примитивными системами автоматического контроля;*

2. Объект – электротехнические комплексы ТСМ типа ОЭКС₂: *$n_{нс}$ насосных станций оснащенных центробежными насосами, приводимыми в действие высоковольтными асинхронными электродвигателями с короткозамкнутыми роторами и примитивными системами автоматического контроля;*

3. Объект – электротехнические комплексы ТСМ типа ОЭКС₃: *отдельная насосная станция оснащенная центробежными насосами, приводимыми в действие высоковольтными асинхронными электродвигателями с полным комплектом частотно-регулируемого автоматизированного электропривода (АЭП);*

4. Объект – электротехнические комплексы ТСМ типа ОЭКС₄: *$m_{нс}$ насосных станций оснащенных центробежными насосами, приводимыми в действие высоковольтными асинхронными электродвигателями с полным комплектом частотно-регулируемого АЭП;*

5. Объект – ТСМ с электротехническими комплексами ТСМ типа ОЭКС₅: *$m_{нс}$ насосных станций оснащены центробежными насосами, приводимыми в действие высоковольтными асинхронными электродвигателями с полным комплектом частотно-регулируемого АЭП и геоинформационной системой оценки состояния ТСМ (например, типа ТГИД-05 [2]).*

Введем понятие «**Состояние электротехнических комплексов теплоснабжающих систем мегаполисов (ЭК ТСМ) — $S_{ЭК\ ТСМ}$** » — как совокупность информационных потоков, включающих:

- физически наблюдаемые в реальном времени координаты – элементы векторов $Z(t)$;
- физически наблюдаемые и ненаблюдаемые координаты - элементы векторов $Y(t)$, полученных путем имитационного моделирования математических моделей элементов ЭК насосных станций и ЭК ТСМ;

- множество показателей нормативных режимов элементов ЭК ТСМ — $N_{рм\ эк}$ и ТСМ — $V_{тсм}$;

- множество проектных данных ЭК ТСМ и ТСМ: $PRN_{рм\ эк}$ и $PRV_{тсм}$;

- множество геоинформационных, нормативно-табличных и фактических, в реальном времени, данных ТСМ— $GEOV_{тсм}$;

- оценки ресурса $R_{эк}$ и надежности $H_{эк}$ элементов ЭК ТСМ;

- оценки параметров электропотребления электроприводами i -ой насосной станции ТСМ за фиксированный и объявленный период времени $t_{инс\ jэп}$, где индекс $jэп$ соответствует анализируемому электроприводу. Обозначим оценку электропотребления $\text{ЭЭ}t_{инс\ jэп}$;

- рекомендации и методики совершенствования состояний ЭК ТСМ — $M_{ЭК\ ТСМ}$ и ТСМ — $M_{ТСМ}$.

Постановка задачи:

1. Для ТСМ определить:

- объект анализа ОЭКС _{k} , (где $k=1\dots 5$);

- осуществить сбор (мониторинг) $Z(t)$;

- провести оценку $Y(t)$;

- из базы данных ТСМ (предполагается, что она была создана в сервере ТСМ) извлечь $N_{рм}$

$_{эк}, V_{тсм}, PRN_{рм\ эк}, PRV_{тсм}, GEOV_{тсм}$.

2. Поместить полученную информацию в базу данных (БД) $PROG_{ЭК\ ТСМ}$.

3. По данным пп. 1 и 2 осуществить вероятностную оценку $R_{эк}, H_{эк}, \text{ЭЭ}t_{инс\ jэп}$.

4. По данным $Z(t), Y(t)$, пп. 2 и 3 разработать $M_{ЭК\ ТСМ}$ и $M_{ТСМ}$ для ОЭКС _{k} .

III. ТЕОРИЯ

Ключевым моментом постановки задач является определение $R_{\text{ЭК}}$, $N_{\text{ЭК}}$ и $\Delta t_{\text{инсјэп}}$. При оценке $R_{\text{ЭК}}$, $N_{\text{ЭК}}$ предполагается воспользоваться теоретическими разработками [5, 6], а $\Delta t_{\text{инсјэп}}$ — результатами, приведенными в [7, 8].

В [5, 6] доказано и разработана методика оценки долговечности машиностроительных изделий, имеющих вращающиеся валы, в функции от отношений отклонений минимальных и максимальных угловых скоростей и моментов на валах за анализируемый период времени.

В [7, 8] показаны зависимости электропотребления от квадратов отклонений (от заданных и эталонных значений) временных координат электроприводов, за время переходных процессов.

Для оценки $R_{\text{ЭК}}$, $N_{\text{ЭК}}$ и $\Delta t_{\text{инсјэп}}$ в базе данных $\text{PROG}_{\text{ЭК ТСМ}}$ должны находиться координаты $Z(t)$, $Y(t)$ – это решается в задачах физического и виртуального мониторинга ОЭКС.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

$\text{PROG}_{\text{ЭК ТСМ}}$, разрабатываемая в среде LabVIEW, оснащается средствами определения и прогнозирования износа оборудования в зависимости от скоростных режимов, информация о которых концентрируются в базе

данных фактических и виртуальных координат ЭК ТСМ.

Системы мониторинга АЭД, созданные в среде разработки LabVIEW, успешно были применены в работах [9, 10]. Среда основывается на графическом объектно-ориентированном языке G, являющимся оптимальным для рассматриваемых задач.

В отличие от работы [11], предлагается конкретизировать информацию, собираемую в банк данных $\text{PROG}_{\text{ЭК ТСМ}}$. В [1] определены основные параметры, регистрируемые САКиМ.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Согласно [12] императивно-процедурное программирование используют в задачах с ограниченным набором оборудования. Если потребуется менять структуру и конфигурацию $\text{PROG}_{\text{ЭК ТСМ}}$, нужны большие изменения в исходном коде. Логическое программирование работает в режиме «Вопрос – ответ», что не охватывает все подзадачи, определенные для работы САКиМ. Альтернативное параллельное программирование предназначено для решения более емких по функциям задач. Такие среды разработки являются дорогими, исходный код выходит более объемным. Функциональное и объектно-ориентированное программирование позволят осуществить легкую реконструкцию исходного кода $\text{PROG}_{\text{ЭК ТСМ}}$, либо выполнить написание такой программы, которая сможет учитывать будущие изменения. Однако, не существует сред разработки систем мониторинга, использующих функциональное программирование, в связи с чем и выбрана среда с объектно-ориентированным языком LabVIEW.

Графический объектно-ориентированный язык программирования G обеспечивает интеграцию с другими программными продуктами [13]. В случае настоящей работы – с прогнозирующими моделями электроприводов и систем управления электроприводов насосных агрегатов ТСМ, создаваемых в пакете прикладных программ Matlab-Simulink.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На рис. 1 изображена структурно-функциональная схема $\text{PROG}_{\text{ЭК ТСМ}}$. Плата сбора данных накапливает значения тока и напряжения статора АЭД, частоты вращения вала ротора АЭД, давления, расхода и температуры теплоносителя на входе и выходе насосного агрегата и в магистральном трубопроводе НС. Нужные данные поступают в имитационную модель насосной станции, чтобы получить значения управляющих моментов АЭД. Обработчик данных, разрабатываемый в LabVIEW, по расчетной схеме насосной станции прогнозирует износ АЭД.

Подобное решение успешно внедрено в работе [10], что позволяет сделать вывод о целесообразности разработки и внедрения усовершенствованной системы мониторинга ЭК ТСМ для осуществления частотно-регулируемого изменения режимов работы электроприводов на насосных станциях ТСМ, контроля и мониторинга параметров энергопотребления, ресурса и надежности электрооборудования ЭК ТСМ.

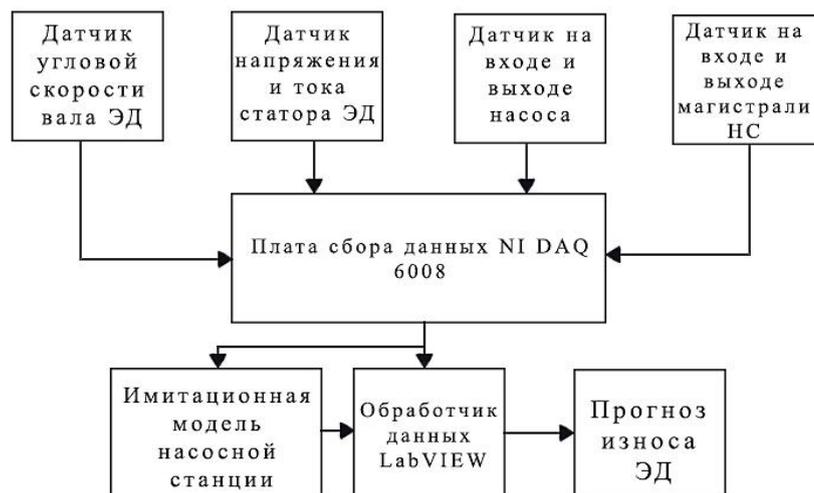


Рис. 1. Структурно-функциональная схема системы мониторинга и прогнозирования выходных параметров ЭК ТСМ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фешин Б.Н., Калашникова Е.В., Крицкий А.Б. Электротехнические комплексы теплоснабжающих систем мегаполисов как объекты мониторинга// Труды университета, №1, 2020. Карагандинский государственный технический университет, Караганда. Изд-во КарГТУ, 2020. 6 с.
2. НИР. № гр. 0112РК02313. Исследование и разработка иерархических информационно-управляющих технологий оптимизации функционирования теплоснабжающих комплексов мегаполисов/Науч. рук. Фешин Б.Н.– Караганда: КарГТУ, 2012. 226 с.
3. Лезнов Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. – М.: Машиностроение, 2013. 176с.
4. Козлов М., Чистяков А. Эффективность внедрения систем с частотно-регулируемыми приводами// Современные технологии автоматизации. www.cta.ru. — № 1. 2001. С. 76-82.
5. Фешин Б.Н. Многосвязные супервизорные системы управления угледобывающими машинами: Монография / Б.Н. Фешин; Карагандинский государственный технический университет. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2018. 165с.
6. Фешин Б.Н. Управление многосвязными техническими системами: Монография / Б.Н. Фешин; Карагандинский государственный технический университет. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2019. 136 с.
7. Фешин Б.Н., Шпакова Л.Г., Тохметова К.М. Алгоритмы энергосбережения в гибких автоматизированных производствах (часть 1) // Труды университета, № 3, 2019. Карагандинский государственный технический университет, Караганда. Изд-во КарГТУ, 2019. С. 145-148.
8. Фешин Б.Н., Шпакова Л.Г., Тохметова К.М. Алгоритмы энергосбережения в гибких автоматизированных производствах (часть 2) // Труды университета, № 4, 2019. Карагандинский государственный технический университет, Караганда. Изд-во КарГТУ, 2019. С. 130-133.
9. Дугина Т.О. Технология разработки систем мониторинга двигательных установок с использованием среды LabVIEW на примере системы стендовых испытаний. // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе, 2014. №1 (9). С. 99-104.
10. Design of a Novel Electric Diagnostic Technique for Fault Analysis of Centrifugal Pumps, Muhammad Irfan, Alwadie A, Adam Glowacz. – Switzerland: APPLIEDSCIENCES-BASEL. 2019. article No. 5093.
11. Альмагамбетов М.И., Киричев А.Д., Лобанов Е.В., Лобанов К.Е. К созданию моделей АСУ технологическим процессом теплоснабжения и транспортирования теплоносителей. // КИПиА в Казахстане, 2008. №2 (20). С. 42-43.
12. Городняя Л.В. О классификациях парадигм программирования и параллельном программировании // Образовательные ресурсы и технологии. Специальный выпуск. 2016. № 2 (14). С. 138-144.
13. Трэвис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех / Четвертое издание, переработанное и дополненное. – М.: ДМК Пресс, 2011. 904 с.

ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

В. В. Заводов, М. С. Пешко, А. С. Филичкина

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. В последнее время нефтеперерабатывающая промышленность все больше увеличивает свою производственную деятельность. Для любой компании важна максимизация прибыли с минимальными потерями в качестве продукции. По этой причине были созданы различные программные продукты, которые способны создать план производства, а также оптимизировать его с целью повышения эффективности предприятия. Данная статья проводит обзор возможностей и недостатков таких существующих программных обеспечений, а также дает рекомендации, где наиболее эффективно применять тот или иной продукт.

Ключевые слова. Планирование, оптимизация, нефтеперерабатывающая промышленность

I. ВВЕДЕНИЕ

Постоянное наращивание объемов производства, ужесточение требований к качеству выходных продуктов и поступление разного по свойствам входного сырья активизирует нефтеперерабатывающую промышленность к поисковым исследованиям новых способов и путей решения для организации эффективного плана производства и оптимизации технических процессов предприятия [1]. Данную задачу помогают решить специализированные программные продукты.

Одна из важнейших задач промышленности состоит в использовании своих ресурсов и возможностей максимально эффективно, что возможно только с использованием программных продуктов планирования и оптимизации. Однако многообразие представленных продуктов на сегодняшний день не дает четкий ответ и требует дополнительной проработки вопроса перед выбором конкретного решения.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основная проблема специализированного программного обеспечения заключается в его узкой социализации по решению конкретных задач и инструментарию. Данный факт приводит к длительному изучению всех представленных продуктов и выбору наиболее оптимального решения. Целью данной работы является обзор современных решений на рынке специализированного программного обеспечения планирования и оптимизации с выделением их сильных и слабых сторон.

III. ТЕОРИЯ

В наше время, наиболее широко используемыми программными продуктами стали: GAMS, CPLEX Optimization Studio, FICO Xpress, GoodsForecast.Scheduling, PIMS, AMPL. Каждое программное обеспечение эффективно в разных областях производства и имеет свои особенности.

1. GAMS (General Algebraic Modeling System), используется во многих офисах Германии, США. Нашел применение в более чем 120 странах, ГАМС используется многонациональными компаниями, университетами, научно-исследовательскими институтами и правительствами во многих различных областях, включая энергетику и химическую промышленность, для экономического моделирования, сельскохозяйственного планирования или производства [2]. Главная особенность данного ПО – это создание модели производства с помощью программного языка, благодаря которой любая модель становится очень гибкой к технологическому процессу. Именно поэтому, GAMS возможно эффективно использовать в нефтеперерабатывающей промышленности потому, что, именно там, происходит частое изменение параметров процессов и качеств входного

сырья. Но эта возможность накладывает и ограничения. Для использования GAMS необходим человек, обладающий навыками и знанием в области программирования и способного освоить новый язык.

2. CPLEX Optimization Studio содержит в себе несколько составляющих: интегрированная среда разработки (IDE), механизм математической оптимизации, механизма программирования ограничений (CP) для задач планирования и набора API (Python, Java, C# и т. д.) для моделирования, решения и внедрения оптимизационных решений [3]. Обладает возможностью контактировать и работать совместно с различными программными языками, а также с Microsoft Excel и MATLAB.

3. FICO Xpress позволяет создавать приложения, включающие в себя модели оптимизации предприятия. Данная возможность позволяет пользователям быстро и качественно работать с понятными им терминами. Но при этом появляется необходимость создавать модели на каждое изменение технологического процесса [4].

4. GoodsForecast.Scheduling – одна из лучших систем планирования производства. Позволяет учитывать практически все факторы, влияющие на эффективность работы предприятия: стоимость сырья и производственной рецептуры, различные штрафы по качеству выходного продукта, за просроченные или ранние отгрузки, стоимость изменения технологического процесса [5]. Благодаря данному программному продукту увеличивается скорость обслуживания заказов потребителей, освобождается место на складах и повышается прибыль компании.

5. PIMS (Process Industry Modeling System) – является самой первой системой оптимизации, реализованной на персональном компьютере, в которой интерфейс состоит из таблиц. Данное ПО используется практически на всех нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводах. При оптимизации технологического процесса учитывается огромное количество как экономических, так и производственных факторов: ретроанализ, оценка закупок сырья и оценка инвестиций. Наиболее эффективно создает планы производства одного или нескольких заводов на неделю, месяц или год. Недостатком данной системы является планирование на маленькие почасовые промежутки времени. В таком случае, на расчет будет затрачено большое количество времени [6].

6. AMPL (A Modeling Language for Mathematical Programming) представляет из себя язык программирования высокого уровня. Был создан для решения сложных задач оптимизации и теорий расписаний [7]. Преимущество данного языка заключается в том, что он позволяет дать очень краткое описание модели за счет своеобразного синтаксиса.

IV. ВЫВОДЫ

Таким образом, в зависимости от потребностей предприятия необходимо использовать подходящее программное обеспечение, чтобы реализовать полный потенциал производства и получить максимальную прибыль. Но при этом требуется учитывать и некоторые недостатки каждого из продуктов. Для предприятий с постоянно меняющимся технологическим процессом лучшим решением будет Gams. Однако, если производственный процесс постояен, то FICO Xpress позволит быстро достичь его максимальной эффективности. Если же необходимо выполнять различные расчеты и тесно взаимодействовать со сторонними ПО, такими как Microsoft Excel и MATLAB, то CPLEX Optimization Studio полностью удовлетворит такие потребности. GoodsForecast.Scheduling лучше всего справиться с повышением эффективности малого или среднего предприятия и с предоставлением им краткосрочного плана производства. Для создания качественных и долгосрочных планов в масштабном и большом производстве необходимо использовать PIMS. Язык AMPL бюджетный вариант для малых предприятий, который позволит быстро решать небольшие оптимизационные задачи.

Процесс планирования и оптимизации важен для каждого производства будь то комплекс нефтеперерабатывающих заводов или малое предприятие, работающее по одному технологическому процессу. При этом существуют только зарубежные программные продукты для реализации таких задач, которые имеют соответствующую стоимость за использование. На данный момент, Российских аналогов нет, либо они разработаны и используются в закрытом доступе одной из компаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е.Л. Сотскова, С.М. Головлева. / Основы автоматизации технологических процессов переработки нефти и газа. Учебник // М.: Academia, 2014. - 304 с.
2. [Электронный ресурс]. URL: https://www.gams.com/docs/contributed/gamsman_russian.pdf/ (дата обращения: 28.04.20).
3. CPLEX Optimization, Inc. (Incline Village, Nev.). Using the CPLEX® base system: including CPLEX mixed integer solver and barrier solver options. - CPLEX, 1995. - 147 с.
4. [Электронный ресурс]. URL: https://www.fico.com/fico-xpress-optimization/docs/latest/getting_started/dhtml/chap1_sec_c1s1.html (дата обращения: 28.04.19).
5. [Электронный ресурс]. URL: <https://goodsforecast.ru/> (дата обращения: 28.04.20).
6. [Электронный ресурс]. URL: <https://pims.org.in/about-us-demo/> (дата обращения: 28.04.20).
7. Щербина О. А. / Краткое введение в AMPL – современный алгебраический язык моделирования // препринт, 2012.