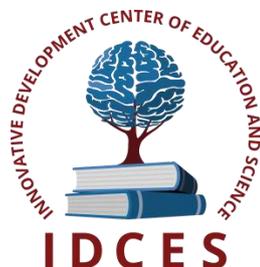


ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
INNOVATIVE DEVELOPMENT CENTER OF EDUCATION AND SCIENCE



**Вопросы современных технических наук: свежий взгляд
и новые решения**

Выпуск IV

**Сборник научных трудов по итогам
международной научно-практической конференции
(11 марта 2017г.)**

г. Екатеринбург

2017 г.

УДК 62(06)
ББК 30я43

Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения, / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 4. . г. Екатеринбург, 2017. 84 с.

Редакционная коллегия:

доктор технических наук, профессор Аракелян Э.К. (г. Москва), кандидат технических наук Белоусов М.В. (г. Екатеринбург), доктор физико-математических наук, профессор Будагян И.Ф. (г. Москва), доктор технических наук Бунаков П.Ю. (г. Коломна), кандидат технических наук Валеев А.Р. (г.Уфа), доктор технических наук, профессор Высоцкий Л. И. (г. Саратов), профессор, академик МАНЭБ, заслуженный ветеран СО РАН Галкин А. Ф. (г.Санкт-Петербург), кандидат технических наук, доцент Горюнова В.В. (г. Пенза), кандидат педагогических наук Давлеткиреева Л.З. (г. Магнитогорск), доцент доктор технических наук, профессор Дадашев М.Н. (г. Москва), доктор технических наук, профессор Денисов В.Н. (г. Санкт-Петербург), кандидат технических наук Егоров А. Б. (г. Харьков), доктор технических наук, профессор Жуманиязов М.Ж. (Узбекистан, г. Ургенч), доктор технических наук, профессор, заслуженный мелиоратор РФ Заднепровский Р.П. (г. Волгоград), кандидат технических наук Иванов В.И. (г.Москва), кандидат технических наук Ключева И.В. (г. Новосибирск), кандидат технических наук, доцент Корниенко В.Т. (г. Ростов-на-Дону), кандидат технических наук, профессор Куберский С.В. (Украина, г. Алчевск), доктор технических наук, доцент Курганова Ю. А. (г. Москва), кандидат физико-математических наук Лапушкин Г.И. (г. Москва), кандидат технических наук Мостовой А.С. (г. Энгельс), доктор технических наук, профессор Мухуров Н.И. (Белоруссия, г. Минск), кандидат технических наук, доцент Никулин В.В. (г.Саранск), кандидат технических наук, профессор Охрименко О.В. (г. Вологда-Молочное), доктор технических наук, профессор Пачурин Г. В. (г. Нижний Новгород), кандидат технических наук Полонский Я.А. (г. Волгоград), кандидат технических наук Решетняк С. Н. (г. Москва), инженер, аспирант Рычков Е.Н. (Франция, г.Пуатье), доктор химических наук Хентов В.Я. (г. Новочеркасск).

В сборнике научных трудов по итогам IV Международной научно-практической конференции **«Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения»**, г. **Екатеринбург**, представлены научные статьи, тезисы, сообщения студентов, аспирантов, соискателей учёных степеней, научных сотрудников, докторантов, специалистов практического звена Российской Федерации, а также коллег из стран ближнего и дальнего зарубежья.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных, не подлежащих открытой публикации. Мнение редакционной коллегии может не совпадать с мнением авторов. Материалы размещены в сборнике в авторской правке.

Сборник включен в национальную информационно-аналитическую систему "Российский индекс научного цитирования" (РИНЦ).

© ИЦРОН, 2017г.
© Коллектив авторов

Оглавление

СЕКЦИЯ №1. ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА, САПР, САД, САЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.01.01)	6
САПР ОДЕЖДЫ, ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ Диев О.Г., Марченко И.В., Петрикеева Е.Н., Мазикина Л.С.	6
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАРУЖНЫХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ Курченко Н.С., Никишина А.А., Пыцкая М.С.	9
СЕКЦИЯ №2. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.13.00)	13
СЕКЦИЯ №3. ЭЛЕКТРОНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.27.00)	14
СЕКЦИЯ №4. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.02.00)	14
ПРИМЕНЕНИЕ РОТАЦИОННОГО РЕЗАНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЦИЛИНДРИЧНОСТИ ЦАПФЫ Бондаренко Ю.А., Федоренко М.А., Санина Т.М.	14
ТЕПЛОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НИЗКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ В ДОБЫЧЕ НЕФТИ. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ УЭЦН В ДОБЫЧЕ НЕФТИ Гареев А.А.	16
МОДЕРНИЗАЦИЯ ЦЕМЕНТНЫХ ПЕЧЕЙ Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А.	35
СЕКЦИЯ №5. ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.14.00)	38
ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЛЕКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ РЕАГИРУЮЩИХ ДИФFUЗИОННЫХ МИКРОФАКЕЛЬНЫХ СТРУЙ Носков Д.А., Гурьянов А.И.	38
СЕКЦИЯ №6. ГОРНАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.05.00)	41
СЕКЦИЯ №7. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.16.00)	41
СЕКЦИЯ №8. ТРАНСПОРТ И СВЯЗЬ, КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.22.00, 05.08.00)	41
СЕКЦИЯ №9. АЭРО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.07.10)	41

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ЗАБРОСА ВОДЫ В ПРОТОЧНУЮ ЧАСТЬ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ИМИТАЦИИ ПОПАДАНИЯ ДОЖДЯ Гурьянов А. И., Евдокимов О. А., Гурьянова М. М., Веретенников С.В., Калинина К. Л.	41
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОЙ НЕССИМЕТРИЧНОСТИ ЭПЮРЫ СКОРОСТИ НА ВХОДЕ В КОЛЬЦЕВУЮ КАМЕРУ СГОРАНИЯ ГТД Гурьянова М.М., Тимофеева К.Р.	44
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЖИГАНИЯ СМЕШАННОГО И СИНТЕТИЧЕСКОГО ТОПЛИВА В ПРОТИВОТОЧНОМ ГОРЕЛОЧНОМ УСТРОЙСТВЕ Гурьянов А.И., Пиралишвили Ш.А., Кононова В.В., Евдокимов О.А., Гурьянова М.М., Бурцев В.А.	48
СЕКЦИЯ №10. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.23.00).....	51
ЕВРОПЕЙСКИЙ ОПЫТ УТЕПЛЕНИЯ НАРУЖНЫХ СТЕН ЗДАНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФЕКТИВНОСТИ ЖИЛОГО ФОНДА Гвозков П.А.	51
ПОВЫШЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЛЫХ ДОМОВ г. КУРГАНА, ВОЗВЕДЕННЫХ В ПЕРИОД 1930-1960 г.г. Пянзина Ю.А., Лац С.А.	53
СЕКЦИЯ №11. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.17.00).....	55
СЕКЦИЯ №12. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.18.00).....	55
RESEARCH OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF WATER-GRAIN SUSPENSION. Malakhov Y.L.	55
ВОДНО-СПИРТОВЫЕ ЭКСТРАКТЫ ИЗ ЯГОДНОГО СЫРЬЯ УССУРИЙСКОЙ ТАЙГИ - ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОДУКТОВ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ Лях В.А., Федянина Л.Н., Смертина Е.С., Коптиенко Е.О., Елизарова А. Е., Гладыщук О.С.	58
СЕКЦИЯ №13. ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.19.00).....	60
СЕКЦИЯ №14. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ, РАДИОТЕХНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.11.00, 05.12.00).....	60
СЕКЦИЯ №15. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.09.00).....	60
РАЗРАБОТКА ВНЕШНЕГО БЛОКА РАЗДЕЛЕНИЯ МОМЕНТА НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MATLAB SIMULINK Белоусов А.С., Головачев И.В., Головин А.Ю.	60

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ПОЛОЖЕНИЯ СЛЕДЯЩЕГО ПОЗИЦИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АСТАТИЗМОМ ВТОРОГО ПОРЯДКА Бугаков В.М., Гатин Б.Ф. Медведев Г.М.	63
УСТРОЙСТВО АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ФУНКЦИЕЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ Мещеряков В.Н., Евсеев А.М., Пикалов В.В., Бойков А.И.	68
СЕКЦИЯ №16. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА, ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ОХРАНА ТРУДА И ЭКОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.26.00).....	70
СЕКЦИЯ №17. ИНЖИНИРИНГОВЫЕ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ПЛАТФОРМЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.13.12).....	70
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ДОБЫЧИ И ПОДГОТОВКИ НЕФТИ ДЛЯ ТРЕНАЖЕРА-ИМИТАТОРА Низамов Е.С.	71
СЕКЦИЯ №18. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И МЕНЕДЖМЕНТ, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.02.22, 05.02.23)	78
СЕКЦИЯ №19. НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.16.08)	78
СЕКЦИЯ №20. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.25.05)	78
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВРЕДНОСНЫХ ПРОГРАММ В ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ Задорина Н.А., Мурашова И.Ю.	78
СЕКЦИЯ №21. МЕТОДОЛОГИЯ И ФИЛОСОФИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 09.00.08).....	81
ПЛАН КОНФЕРЕНЦИЙ НА 2017 ГОД.....	82

СЕКЦИЯ №1.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА, САПР, САД, САЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.01.01)

САПР ОДЕЖДЫ, ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Днев О.Г., Марченко И.В., Петрикеева Е.Н., Мазикина Л.С.

Курский государственный университет, г. Курск, Россия

Системы автоматизированного проектирования (САПР) широко используются в текстильной промышленности и являются одними из наиболее важных факторов быстрой реализации, конкурентоспособности и высокого спроса на продукцию швейного предприятия.

В настоящее время ввиду высокой конкуренции и появлению на рынке большого количества текстильных изделий из различных стран, большое внимание уделяется применению современных компьютерных технологий при изготовлении одежды.

Особую популярность получили системы автоматизированного проектирования с применением трехмерных технологий 3D. С развитием трехмерных компьютерных технологий в состав САПР швейных изделий также стали включаться 3D-модули различного характера и назначения.

Некоторые системы реализуют процесс трехмерного проектирования конструкции изделия с последующей разверткой, однако большинство современных САПР предлагает выполнение виртуальной примерки с оценкой цветового решения используемого материала.

К системам, реализующим трехмерную примерку, относятся: «Optitex», «Investronica», «Gerber», «Julivi», «DressingSim», «ЛЕКО» и др. Среди возможностей этих систем – сканирование фигуры человека («DressingSim», «Lectra», «Symcad»), «одевание» разработанных плоских лекал на трехмерный манекен, подбор технических параметров материала («Gerber», «Julivi», «Optitex»), оценка посадки виртуального изделия («Gerber», «Julivi», «Optitex»), внесение изменений в виртуальный макет и соответствующая корректировка плоских лекал («Julivi»).

В данной статье представлены результаты моделирования и проектирования коллекции модной одежды с применением программы трехмерного моделирования Marvelous Designer CLO 3D, позволяющей проектировать предметы одежды, производить примерку их на манекене и создавать варианты виртуального дефиле моделей на подиуме.

В Marvelous Designer можно создавать точные модели без помощи других САПР.

Достоинствами Marvelous Designer CLO 3D являются:

- синхронность: все, что вы делаете в окне лекал модели, немедленно отражается на драпировке одежды в режиме реального времени;
- легкость в использовании швейных операций: с помощью всего нескольких кликов мыши вы можете сшить любую модель в любом стиле;
- поддерживает операции многослойного шитья: с помощью этой функции вы можете сделать более сложные конструкции.
- еще одной ключевой особенностью является складная операция – можно сделать складки на любые швы и одежду. Складывающаяся функция позволяет сделать складки и гладить линии. Можно быстро создать задрапированные участки для одежды любой сложности.
- улучшения в скорости и качестве были достигнуты с помощью нового многоуровневого моделирования, которое было изучено и развито в команде разработчиков CLO 3D;
- поддержка различных физических свойств: физические характеристики ткани в цифровую форму и параметризованные в различные свойства – растяжение / сжатие / жесткость на изгиб, демпфирования, плотности, толщины и так далее – контроль этих параметров позволяет моделировать различные виды ткани, материалы;
- высокий уровень визуализация: в режиме реального времени визуализация обеспечивает высокое качество изображение, сопоставимое с реальной одеждой;
- широкая совместимость: Marvelous Designer может импортировать любые COLLADA и OBJ файлов из большинства инструментов 3D-моделирования, таких как 3DS Max, Maya, Softimage, Lightwave, Poser, Daz Studio, Vue и Modo. И аватар и ткань могут быть экспортированы в формат OBJ.

На рисунке 1 представлен результат нашего моделирования швейных изделий. В правом окне показан процесс конструирования лекал изделия, в левом окне выполнена операция многослойного шитья и показана виртуальная примерка.

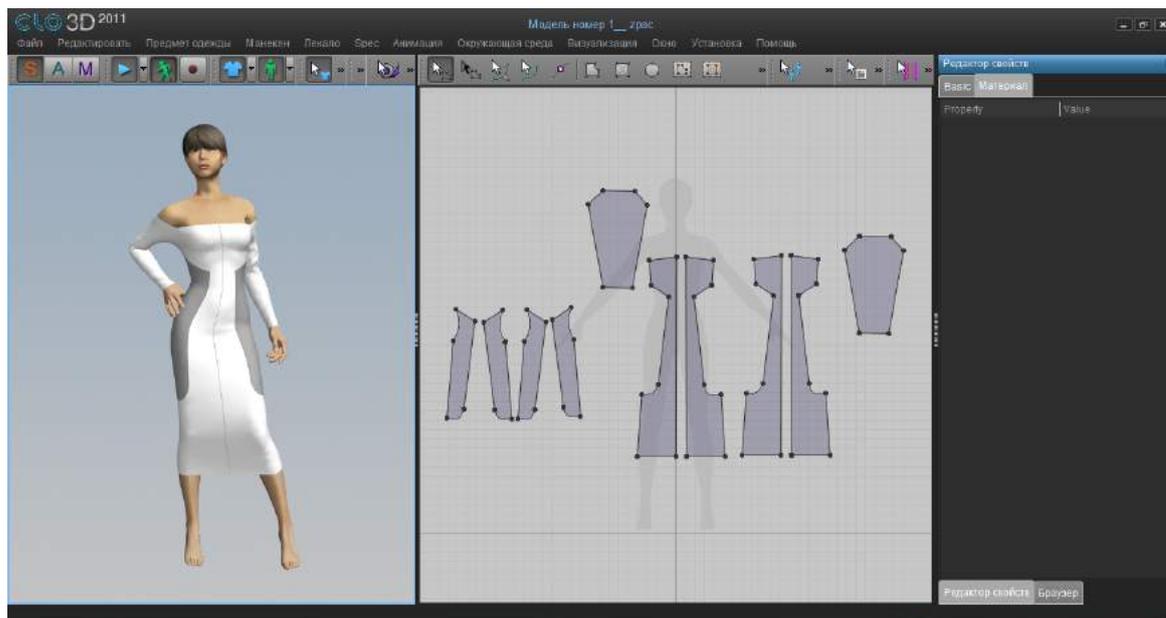


Рисунок 1 – Конструирование лекал и виртуальная примерка

Таким образом, строятся лекала, а по ним и модели, в программе Marvelous Designer. На рисунке 2 представлена разработанная нами виртуальная коллекция моделей.

Но на этом функции этой программы не заканчиваются – существует возможность задать движения манекену и посмотреть, как будет выглядеть созданная одежда на подиуме.



Рисунок 2 – Виртуальная коллекция моделей

Для этого нажимаем на вкладку «Файл» и выбираем функцию «Открыть движение», после чего выбираем из перечня имеющихся вариантов движения нужный (Рис.3).



Рисунок 3 – Движение виртуальной модели

В базе данных существуют файлы воспроизводящие движение. Существует возможность редактировать перемещение манекена, но для этого требуется компьютер, имеющий мощный процессор. В программе имеется возможность добавления цветов, что позволяет внести в каждое изделие свой принт, объединенный заданной темой. Кроме того при моделировании задается фактура и формоустойчивость тканей – воздушность рукавов, жесткость корсажей, струящиеся складки юбок.

Можно задать окружающий фон и воспользоваться при этом функцией «Загрузить рисунок заднего плана» во вкладках «Окружающая среда» «Задний план». Далее просматриваем имеющиеся картинки или фотографии на компьютере и выбираем наиболее подходящую.

Список литературы

1. Диев О.Г. Интегральный подход к оценке конкурентоспособности товара// Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2014. №1. С. 100-104.
2. Диев О.Г., Марченко И.В., Петрикеева Е.Н. Применение трехмерного моделирования и проектирования текстильных изделий с целью повышения их конкурентоспособности // В сборнике: Проблемы идентификации, качества и конкурентоспособности потребительских товаров сборник статей IV Международной конференции в области товароведения и экспертизы товаров. Юго-Западный государственный университет. 2015. С. 166-169.
3. Диев О.Г., Марченко И.В., Петрикеева Е.Н. Исследование ассортиментной политики магазина по продаже мужской одежды // В сборнике: Проблемы идентификации, качества и конкурентоспособности потребительских товаров сборник статей IV Международной конференции в области товароведения и экспертизы товаров. Юго-Западный государственный университет. 2015. С. 170-174.
4. Диев О.Г., Бароян Н.С., Марченко И.В., Петрикеева Е.Н. Исследование структуры ассортимента мужской одежды на региональном рынке на примере сети магазинов «Old President Club» // В сборнике: Вопросы и проблемы экономики и менеджмента в современном мире сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2016. С. 227-230.
5. Marvelous Designer: [Электронный ресурс] URL: <http://www.marvelousdesigner.com/>

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАРУЖНЫХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Курченко Н.С., Никишина А.А., Пыцкая М.С.

БГИТУ, г. Брянск, РФ

Использование автоматизированного проектирования в строительстве и при реконструкции объектов в настоящее время является мощным средством для решения таких важных задач как поиск рациональных параметров и структур несущих систем [1-3], а также параметров инженерных коммуникаций [4-5]. При этом могут быть применены эволюционные алгоритмы [1-2], методы триангуляции [3], твердотельное моделирование [4] и использование баз данных [5].

В данной статье приводится описание проектирования наружных сетей электроснабжения в системе автоматизированного проектирования GeoniCS. Детально описываются инструменты трассировки рассматриваемых сетей, построения проектных профилей, средства проектирования узловых соединений, сопутствующих инженерных сооружений.

Методика автоматизированного проектирования наружных сетей электроснабжения может быть представлена в виде последовательности следующих этапов:

1. Прокладка трассы сетей.
2. Построение и корректировка профилей по участкам сетей.
3. Детализация коммуникаций, проектирование вспомогательных сооружений, узлов соединений и других элементов на сетях.

Прокладка трасс сетей. Инженерные сети целесообразно проектировать с учетом построенных ранее цифровых моделей существующего и проектируемого рельефа. Следует учесть, что если цифровых моделей не создано, то все отметки для каждой из опорных точек трассы сети необходимо вводить вручную после предварительных вычислений. Это представляется весьма трудоемким. Для изображенного на (рис. 1) фрагмента застройки считаем, что подключение сетей (S1) электроосвещения зданий выполнено от щитков освещения, расположенных в помещениях электрощитовых, и имеющих подключение к вводно-распределительным устройствам. Проектируемая сеть электроснабжения (W2) имеет точку подключения в существующем колодце и выполнена в виде кабелей подземной прокладки, подключаемых во вводно-распределительные устройства соответствующих зданий. Наружные сети заземления не рассматриваем.

Топология сети S1 формируется линейными отрезками, в крайних точках которых располагаются вершины следующих типов: «Опора электроосвещения», «Подключение к сооружению», «Вершина сети», «Выпуск из здания». Для создания трассы сети W2 применяются аналогичные элементы

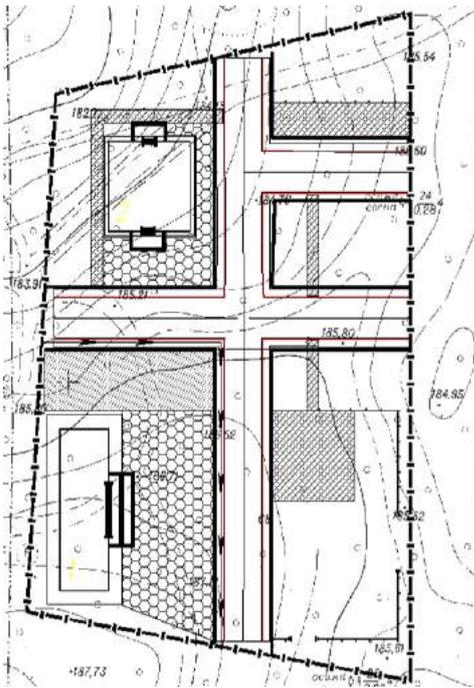


Рисунок 1 –Участок застройки

с тем отличием, что вместо вершины типа «Опора электроосвещения» используется вершина «Колодец». Тип «Вершина сети» используется для учета возможности перелома профиля сети как в плане, так и по высоте. Результаты построения трассы показаны на рис. 2,а, где с помощью маркировок ПГ1-ПГ5 обозначены опоры электроосвещения с четырехрожковыми светильниками, а маркировками 6, 7 обозначены опоры со светильниками паркового типа. Трасса сети W2 на участке от колодца 1 до первого ответвления имеет два кабеля, каждый из которых

подходит к зданиям 1 и 2 (рис. 2,б). GeonICS автоматически на плане не отображает число кабелей на участке, поэтому обозначим его в ручную двойной засечкой.

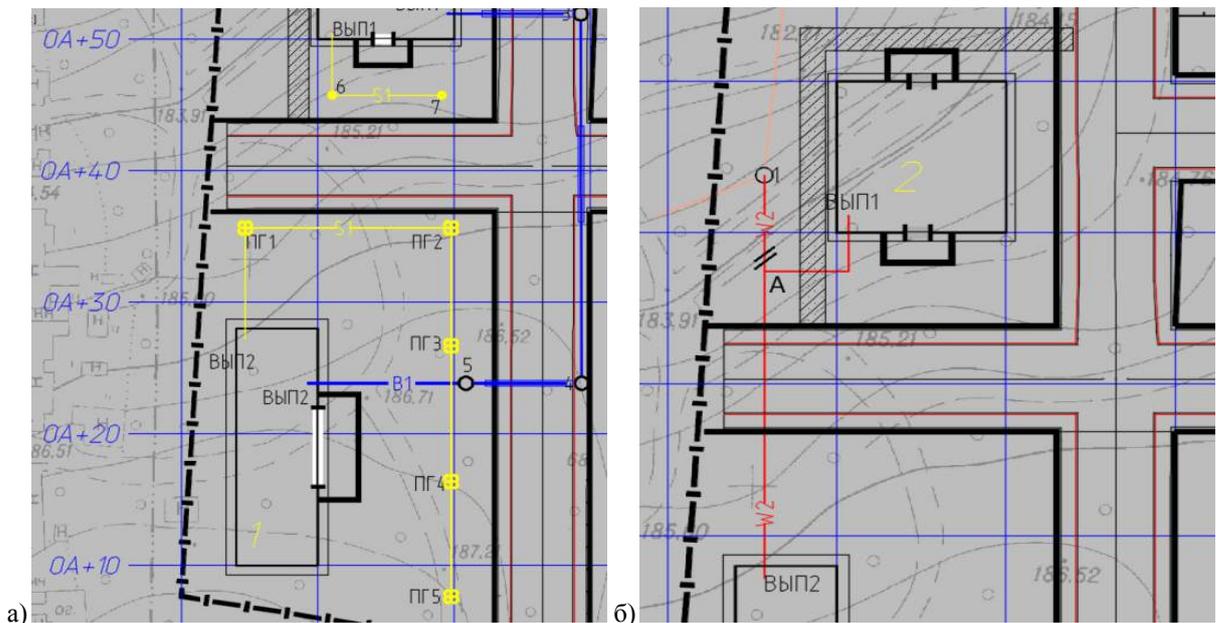


Рисунок 2 – Результаты построения трасс сетей S1(а) и W2 (б)

Построение и корректировка профилей сетей S1 и W2. Профили строятся автоматизировано с применением редактора профиля, в котором при

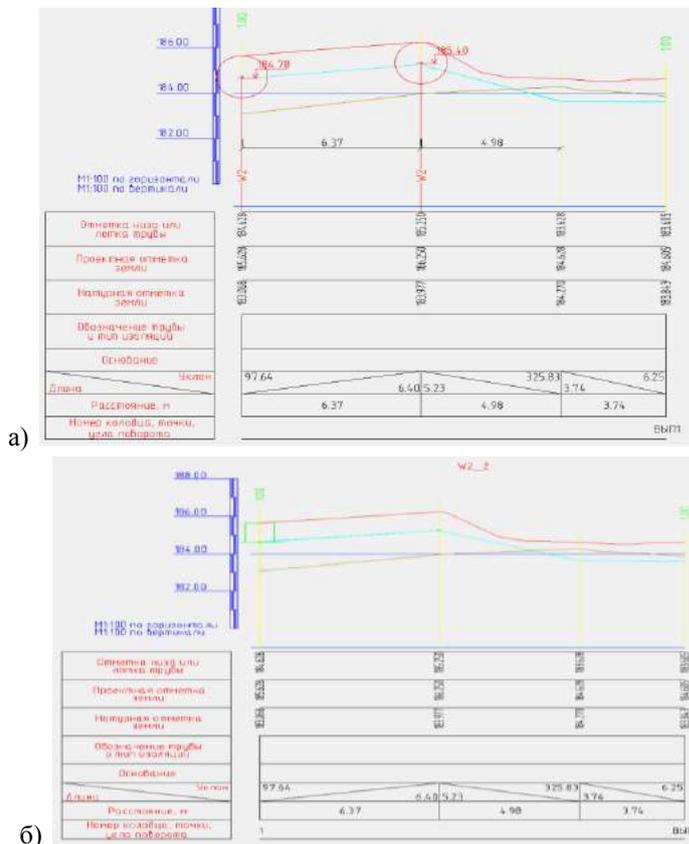


Рисунок 3 – Профиль участка 1-ВЫП1 до корректировки (а) и после корректировки (б)

необходимости выполняется корректировка высотных отметок или уклонов сетей. Первоначальный профиль-развертка участка 1-ВЫП1 сети W2 содержит неточности, связанные с тем, что при трассировке не всегда учитывается подключение к элементам сети (рис. 3,а). Выполняем операцию подключения сети к элементам путем выбора команд «Редактировать топологию» - «Автоматическое подключение к сетям». Результат корректировки профиля показан на рис. 3,б.

Рассматриваем участок А-ВЫП2 сети W2. На пересечении с дорогой введем футляр в виде металлической трубы, защищающей кабель. На профиле видно, что с обеих сторон дорожного полотна введены две дополнительные вершины сети, расположенные на расстоянии 9,61 м друг от друга. Выполняем понижение отметки правой вершины участка для того чтобы защитный футляр не пересекал канаву для сброса воды. Результат корректировки профиля представлен на рис. 4,б.

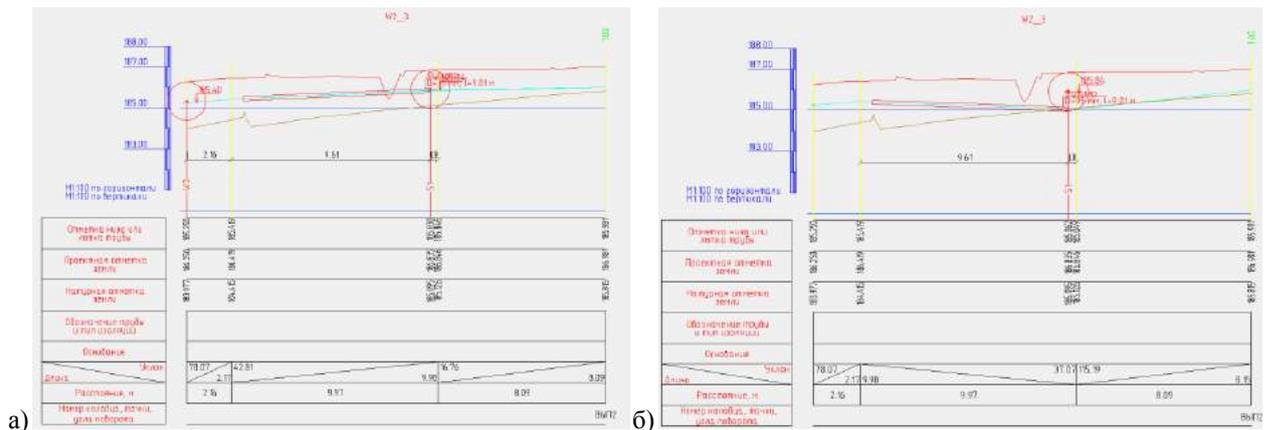


Рисунок 4 – Профиль участка А-ВЫП2 сети W2 до корректировки (а) и после корректировки (б)

Строим профили сети S1. Для участка ВYPI-7 (см. рис. 2) профиль представлен на рис. 5. Начальное заглубление принято 1 м. В точках 6 и 7

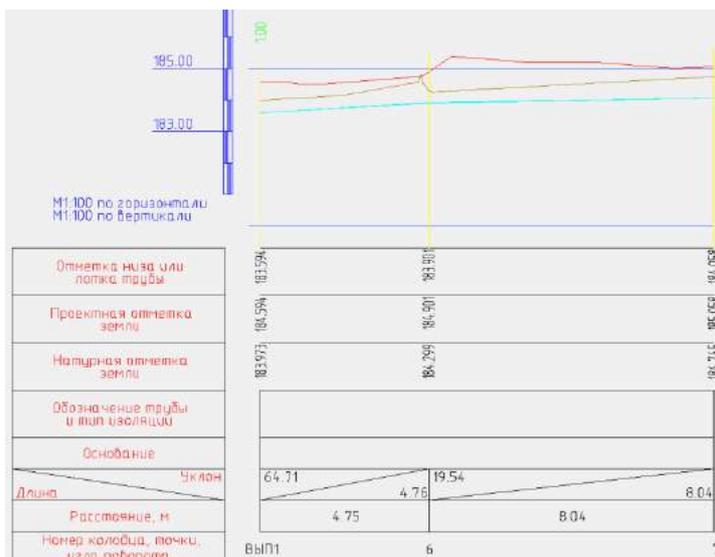


Рисунок 5 – Профиль участка ВВП1-7

электрический кабель должен вертикально выходить на поверхность для подключения к опорам освещения. При этом длина вертикального кабеля и распределительные коробки не учитываются автоматически, эти элементы нужно учесть путем ручного добавления позиций в спецификацию.

В результате построения для участка ПГ5-ВЫП2 (см. рис. 2) профиля обнаружена необходимость его корректировки.

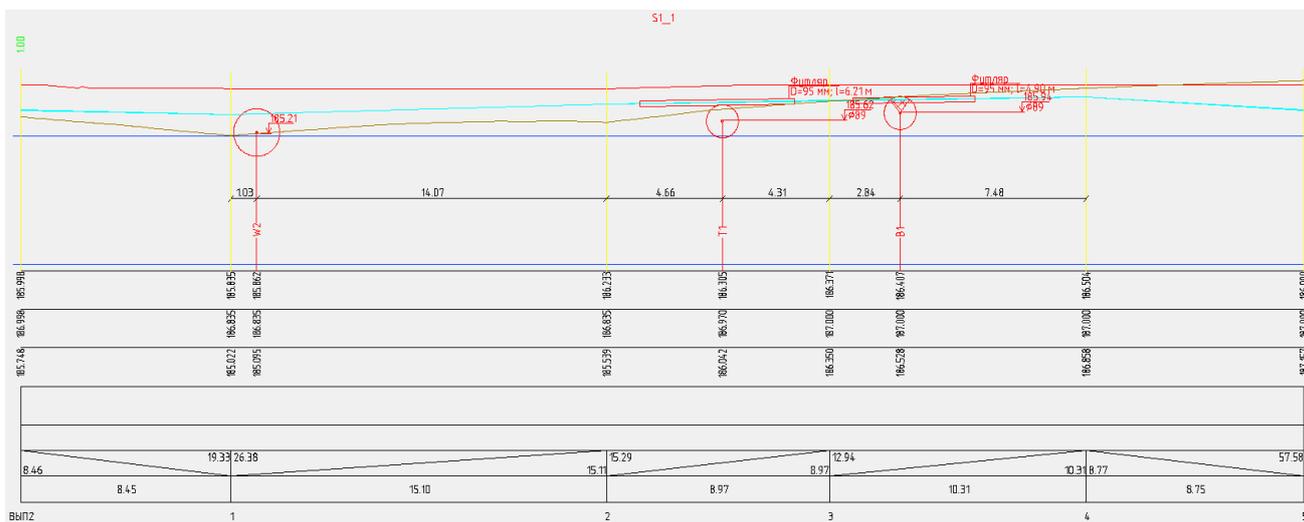


Рисунок 6 – Профиль ПГ5-ВЫП2 после корректировки

Выполняем изменения уклонов сети S1 на участке между вершинами 2-3 и 3-4. Результат корректировки профиля показан на рис. 6.

Детализация сетей. Для сетей электроснабжения детализация сводится к заданию свойств участков сетей. Обязательным является указание количества жил в кабеле, тип изоляции и наличие канала. Колодцы электрических сетей в GeoniCS проектируются из железобетонных или других элементов с помощью элемента «Редактор схемы узлов колодцев». После проектирования структуры

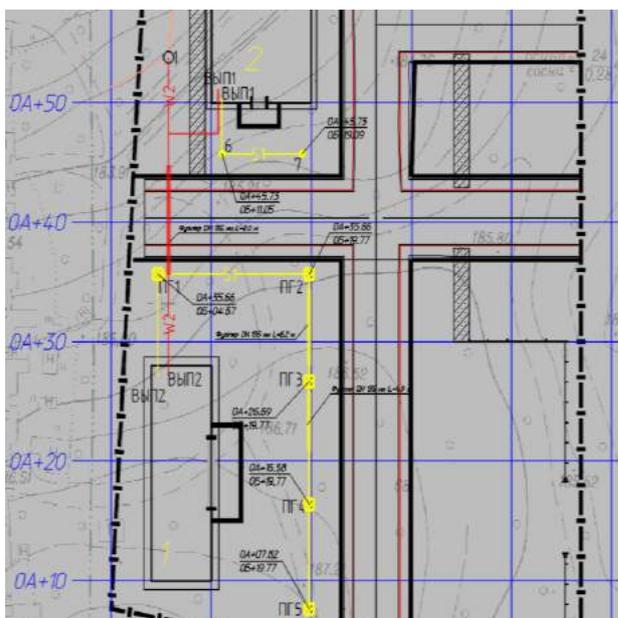


Рисунок 7 – План сетей S1 и W2

кабелей выполняем горизонтальную планировку сетей путем привязки ее вершин к строительной сетке. План сетей S1 и W2 показан на рис. 7. В данном примере построение траншей с помощью автоматизированных средств GeoniCS не удалось. После формирования чертежей сетей можно приступать к автоматизированному оформлению листов проектной документации.

Заключение

Рассмотренная методика автоматизированного проектирования наружных сетей электроснабжения позволяет сократить трудоемкость работ по подготовке проектной документации. Примеры проектирования участков сетей показывают работоспособность предлагаемых процедур в рамках реализованных в системе GeoniCS программных средств.

Список литературы

1. Серпик И.Н., Лелетко А.А., Алексейцев А.В. // Эволюционный синтез металлических плоских рам в случае оценки несущей способности по методу предельного равновесия: Известия высших учебных заведений. Строительство. – Новосибирск, 2007. - № 8. - С. 4-9.
2. Алексейцев А.В., Курченко Н.С. // Поиск рациональных параметров стержневых металлоконструкций на основе адаптивной эволюционной модели: Строительная механика инженерных конструкций и сооружений.- Москва, 2011. -№ 3. - С. 7-14.
3. Алексейцев А.В., Серпик И.Н. // Оптимизация плоских ферм на основе генетического поиска и итеративной процедуры триангуляции: Строительство и реконструкция. – Орел, 2011. -№ 2.- С. 3-8.
4. Алексейцев А.В., Рожнов В.С., Курченко Н.С. // Применение твердотельного моделирования в инженерном благоустройстве территорий. В сборнике: Современные строительные материалы, технологии и конструкции Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова. - Грозный2015. - С. 625-630.
4. Курченко Н.С., Рожнов В.С., Алексейцев А.В., Соболева Г.Н. // Об автоматизированном проектировании наружных инженерных сетей водоснабжения и водоотведения. В сборнике: Проблемы инновационного биосферно-совместимого социально-экономического развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах материалы 4-й международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию строительного факультета и 85-летию БГИТУ. – Брянск, 2015. С. 96-100.

СЕКЦИЯ №2.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.13.00)

**СЕКЦИЯ №3.
ЭЛЕКТРОНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.27.00)**

**СЕКЦИЯ №4.
МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.02.00)**

**ПРИМЕНЕНИЕ РОТАЦИОННОГО РЕЗАНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЦИЛИНДРИЧНОСТИ
ЦАПФЫ**

Бондаренко Ю.А., Федоренко М.А., Санина Т.М.

БГТУ им. В.Г. Шухова, РФ, г. Белгород

Обработка изделий резанием является одним из основных способов, используемых при изготовлении, восстановлении и ремонте. Ротационное резание нашло широкое применение в машиностроении. При ротационном резании применяют чашечные (ротационные) резцы. Известно [1], что стойкость ротационных резцов с режущей частью из металлокерамического твердого сплава (Т5К10, Т14К8, Т30К4, Т5К12, ВК3М, ВК6, ВК8, ВК10, ВК6М и других) превышает 300 мин. Чашечные (ротационные) резцы характеризуются рядом преимуществ: большая длина круговой режущей кромки лезвия и непрерывное вращение его во время работы обеспечивают кратковременность работы каждого его участка, охлаждение лезвия резца во время холостого пробега, небольшой линейный износ равномерно распределяется по всей длине резца, хорошие условия теплоотвода от работающих участков лезвия в режущую чашку, высокая стойкость чашечных резцов, высокое качество и хорошие эксплуатационные показатели обработанной поверхности, формирование микрорельефа обработанной поверхности с округленными вершинами и впадинами микронеровностей. Высокая стойкость чашечных резцов, значительно (до 6 раз) превышающая стойкость призматических, которая позволяет применять их для обработки крупногабаритных деталей, к точности геометрической формы которых предъявляются высокие требования. В процессе ротационного точения происходит непрерывная смена контактных поверхностей обрабатываемой детали и режущего инструмента. Непрерывно меняется участок режущей кромки, производящий резание, а активный участок инструмента периодически участвует в снятии стружки с обрабатываемой поверхности. Чашечный резец приводится во вращение трением, возникающим между резцом и деталью со скоростью, пропорциональной скорости резания.

Таким образом, в процессе ротационной обработки позитивно сочетаются следующие способы повышения режущей способности и производительности: снижение относительного скольжения в зоне контакта ротационного резца с обрабатываемой поверхностью детали и периодический процесс резания активным участком режущей кромки без прерывания процесса обработки. Обновление активного участка режущего инструмента в процессе восстановительной обработки значительно повышает его работоспособность. Лезвию инструмента в процессе резания сообщается непрерывное дополнительное перемещение в касательном по отношению к нему направлении. Скорость этого движения может задаваться двумя способами: принудительно от специального отдельного привода (резцы с принудительным вращением режущей чашки); автоматически, под действием сил трения, возникающих между рабочими поверхностями ротационного резца и обрабатываемым материалом, посредством специальной установки режущей части относительно обрабатываемой поверхности (резцы с самовращением режущей чашки). Известны две геометрические схемы ротационного резания, отличающиеся функциями, которые выполняют торец и боковая поверхность режущей чашки инструмента. Вследствие разных систем отсчёта и схем установки, уравнения, характеризующие геометрию и кинематику процесса, различны. Переход от одной схемы установки к другой затруднён, что вызывает дополнительные сложности при анализе их геометрических и кинематических особенностей. В связи с этим весьма важен вопрос выбора системы отсчёта, позволяющей в значительной мере упростить ход решения и упростить окончательные результаты в более простой и удобной для практического использования форме. Кроме того, схема установки режущей чашки относительно обрабатываемой поверхности должна быть универсальной, независимой от вида рабочих поверхностей резца, формы обрабатываемой поверхности, метода обработки и геометрической схемы ротационного резания. Для анализа эффективности режущих свойств чашечных

резцов необходимо рассмотреть их геометрические параметры в процессе резания, в связи с тем, что кинематические параметры рассматриваемого процесса определяют его основные особенности и закономерности, а также качество обработки, работоспособность и износостойкость резца, и являются исходными при выборе режимов обработки [2]. В связи с вышеизложенным ротационную обработку можно использовать при восстановлении изношенных рабочих поверхностей цапф опорных узлов помольных мельниц. Исследуя наружные поверхности цапфы установлено, что из-за постоянных динамических нагрузок, приводящих к возникновению вибраций, вследствие их несоосности и неуравновешенности, изменяется форма цапфы. В процессе эксплуатации формируются определенные наследственные дефекты, которые вызывают повышенный износ цапф, в результате чего появляется износ поверхности скольжения. Цапфа теряет наружную цилиндрическую форму и, как частный случай, приобретает форму поверхности, близкую к усеченному конусу [3]. В связи с тем, что в процессе помола посадочные поверхности цапф изнашиваются для их ремонта с целью повышения эффективности помола, снижения периодов простоя и экономии энергии променяют специальное оборудование [4-8]. В процессе обработки поверхности цапфы подвергают механической обработке с использованием специального переносного станка, состоящего из силового стола с закрепленным на нем кубом, суппорта с установленным ротационным резцом. Рассмотрим влияние углов установки инструмента, режимов резания, углов заточки и радиуса режущей чашки резца на площадь поверхности среза при обработке цапфы, в процессе эксплуатации, поверхность которой можно представить в виде усеченного конуса.

Была получена формула площади поверхности среза на основе составления уравнения усеченного конуса восстанавливаемой поверхности и уравнения режущей чашки резца:

$$S = \int_{R_0}^{r_0} dy \int_0^{x_1} \sqrt{1 + \frac{B_1(x) + B_2(y) \operatorname{tg}^2 \gamma}{B_2(y) - B_1(x)}} dx.$$

Таким образом, полученные уравнения позволяют вычислить площадь поверхности среза режущей чашей, которая образуется при одном проходе обработки цапфы в форме усеченного конуса.

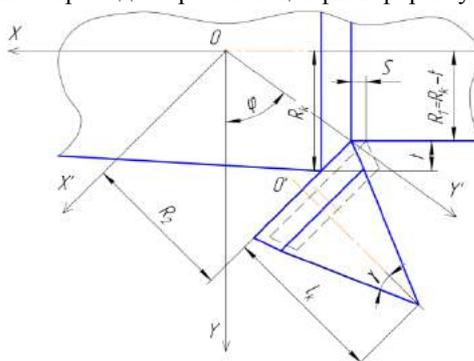


Рис. 1. Расчетная схема расположения режущей чашки относительно обрабатываемой цапфы в системе координат X'Y'Z'.

В результате вычислений, получен график изменения площади поверхности среза при изменении радиуса режущей чашки инструмента, движущегося вдоль поверхности обрабатываемой цапфы.

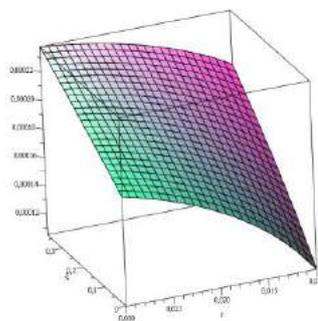


Рис. 2. Изменения площади поверхности среза режущей чашей при изменении параметра ξ и радиуса режущей чаши при фиксированных значениях ω , φ , γ .

Анализ проведенных зависимостей показывает, что график носит монотонно возрастающий характер при изменения параметров резания.

Список литературы

1. Ящерицын, П.И. Ротационное резание материалов/ П.И. Ящерицын, А.В. Борисенко, И.Г. Дривотин, В.Я. Лебедев. – Мн.: Наука и техника, 1987. – 228 с.
2. Федоренко М.А., Процессы формообразования и инструменты/ М. А. Федоренко, Ю. А. Бондаренко, А.А. Погонин, Т.М. Санина, В.Я. Дуганов. - Старый Оскол: ТНТ, 2015. – 440 с.
3. Бестужева О.В., Определение рациональных параметров ротационной обработки поверхностей вращения при восстановлении крупногабаритных деталей/ Бестужева О.В., Бондаренко Ю.А. Федоренко М.А. - Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, № 12, Белгород, изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016 г. с. 121-126.
4. Федоренко М.А., Федоренко Т.М., Бондаренко Ю.А. Исследование обеспечения необходимой шероховатости поверхности крупногабаритных вращающихся деталей приставными станочными модулями. Вестник БГТУ им.В.Г.Шухова, № 2, Белгород, изд-во БГТУ им.В.Г. Шухова, 2008 г. с. 35-38
5. Федоренко Т.М., [Восстановление работоспособности цапф помольных мельниц с применением переносного станка](#)/Т.М. Федоренко, М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко. [Технология машиностроения](#). 2009. № 3. С. 20-21.
6. Пат. 31116 Российская Федерация, МПК⁷ В 23 В 5/00. Приставной станок для обработки цапф / Ю.А Бондаренко, М.А. Федоренко; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. – № 2003107122/20; заявл. 14.03.03; опубл. 20.07.03, Бюл. №20. – 1 с.
7. Пат. 31346 Российская Федерация, МПК⁷ В 23 В 5/32. Приставной станок для обработки цапф / Ю.А Бондаренко, М.А. Федоренко; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. – № 2003106247/20; заявл. 07.03.03; опубл. 10.08.03, Бюл. №22. – 1 с.
8. Пат. 31347 Российская Федерация, МПК⁷ В 23 В 5/32. Приставной станок для обработки цапф / Ю.А Бондаренко, М.А. Федоренко; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. – № 2003106249/20; заявл. 07.03.03; опубл. 10.08.03, Бюл. №22. – 1 с.

ТЕПЛОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НИЗКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ В ДОБЫЧЕ НЕФТИ. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ УЭЦН В ДОБЫЧЕ НЕФТИ

Гареев А.А.

НГДУ «Нижнесортымскнефть»

В настоящее время не только в России но и за ее пределами 80 – 85% нефти добывается установками электроцентробежных насосов. Широкое применение УЭЦН в добыче нефти позволяет гибкость напорно-расходной характеристики установки, широчайший спектр по производительности – от 10 до 1000 кубических метров жидкости, простота управления, и наконец, наработка «на отказ» доходящая до 1500 – 2000 суток.

Однако с истощением запасов нефти, вводом в эксплуатацию коллекторов с низкой продуктивностью, в фонде УЭЦН все больше место занимают скважины, оборудованные установками ЭЦН низкой производительности, с подачей менее 50-и кубических метров жидкости в сутки, которые составляют более половины всего парка центробежных насосов. Низкопроизводительные установки ЭЦН имеют наименьший КПД, показывают низкую наработку – у потребителей этих насосов появляется понятие осложненного фонда скважин.

Исследование отказавших установок центробежных насосов низкой производительности однозначно указывают на основную причину отказа - на эксплуатацию насоса с высокой температурой, нередко доходящей до сотен и более градусов.

В научно-технической литературе проблема температурного состояния установок ЭЦН с низкой производительностью в настоящее время является не разработанной – имеются фрагментарные работы некоторых специалистов, в работах которых отсутствует исследования температурного состояния насоса в зависимости от параметров эксплуатации.

Поэтому целью данной работы является исследование температурного состояния центробежного насоса в зависимости от производительности продуктивного пласта, реологических свойств перекачиваемого пластового флюида и т.д.

Отсутствие исследования теплового состояния центробежного насоса математическими методами объясняется отсутствием методов решения таких задач в теории теплопроводности и неизученностью многих процессов при эксплуатации центробежного насоса, находящегося под высоким давлением, температурой и неопределенностью многих свойств, поведения пластового флюида внутри насоса.

Постановка задачи:

Требуется найти распределение температуры внутри, на наружной поверхности центробежного насоса в зависимости параметров эксплуатации: подачи (м³/сутки), давления на приеме насоса и содержания воды в продукции скважины и реологических параметров нефти.

Электроцентробежный насос, располагается на конце колонны труб (насосно-компрессорных труб – НКТ), касается корпусом погружного электродвигателя (ПЭД) внутренней поверхности эксплуатационной колонны скважины – с точки зрения математической физики, теории теплопроводности, представляет собой полубесконечное цилиндрическое металлическое тело с источником тепла внутри насоса.

Математическое описание теплового состояния насоса с целью оценки его температуры и выявления зависимости этой температуры от технологических параметров эксплуатации УЭЦН приводит к решению нелинейной задачи уравнения теплопроводности при краевых условиях II, IV родов [8], так как в процессах, происходящих внутри электроцентробежного насоса, источник тепла – процесс трения имеет нелинейный характер (зависимость коэффициента трения от температуры трущихся поверхностей и т.д.); изменение теплоемкости газированной жидкости (нефти) при высоких давлениях и сложном компонентном составе явление неизученное; имеется температурная зависимость давления насыщения нефти летучими углеводородами.

Процесс теплопередачи от металлических трущихся частей к жидкости, от жидкости к металлическому корпусу насоса сложный (в первую очередь из-за сложности форм лабиринтов рабочих органов насоса, сложной зависимости физико-химических свойств компонент газодонефтяной смеси), но можно предположить, что является конвективным, поскольку другие способы в виде массопереноса или лучистого обмена вносят несущественный вклад и в первом приближении им можно пренебречь. Из-за существенной разницы между теплопроводностью нефтяного газа и жидкости можно допустить, что секция насоса производит незначительную передачу теплоты в окружающие слои жидкости, далее – к эксплуатационной колонне скважины, то есть, насос находится как бы в своеобразном термостате. Таким образом, количество теплоты, вырабатываемое в рабочих аппаратах электроцентробежного насоса расходуется на разогрев объема жидкости, металлических деталей насоса и теплопередаче другим узлам установки ЭЦН способом теплопроводности. Для получения решения задачи разогрева насоса при откачке газожидкостных смесей в виде аналитической функции, придется принять значение давления насыщения нефти газом постоянным, не зависящим от температуры смеси.

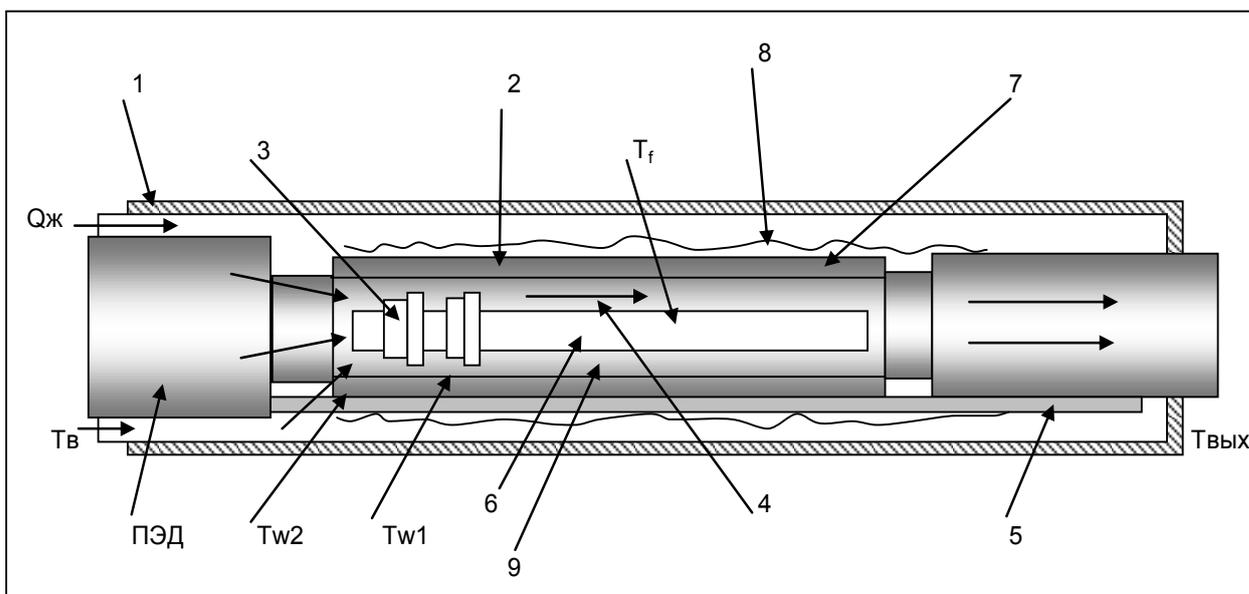


Рисунок 1 – Схема узлов электроцентробежного насоса в скважинных условиях

1 – эксплуатационная колонна скважины; 2 – секция насоса; 3 - рабочий аппарат; ПЭД - погружной электродвигатель с гидрозащитой; 4 - направление движения газожидкостной смеси; 5 – кабельная линия; 6 – тепловырабатывающий элемент, состоящий из рабочих колес и направляющих аппаратов; 7 – корпус насоса; 8 – теплоизолирующий газовый слой вокруг насоса (данный слой появляется на поверхности разогретой секции из-за повышения давления насыщения под воздействием температуры на поверхности насоса); 9 – газожидкостная смесь; T_{w2} - температура на наружной поверхности насоса; T_{w1} – температура на внутренней поверхности насоса; T_f – температура на валу насоса; T_v – температура смеси на входе в насос; $T_{вых}$ – температура смеси на выходе из насоса.

На рис. 1 схематично изображено расположение центробежного насоса в скважинных условиях (в горизонтальном расположении), где 1 – эксплуатационная колонна скважины, ПЭД – погружной электродвигатель, 2 – секция центробежного насоса, 3 – рабочий аппарат насоса, состоящий из направляющего аппарата и рабочего колеса, 4 – направление движения газожидкостного потока внутри центробежного насоса, 5 – кабельная линия питающая ток ПЭД (часть кабельной линии, прилегающая к насосу называется «кабельным удлинителем»), 6 – тепловыделяющий элемент, состоящий из рабочих колес и направляющих аппаратов, последовательно расположенных на валу, 7 – корпус насоса, 8 – оболочка газа на поверхности насоса (как было доказано выше, что пространство между приемом насоса и уровнем жидкости, совпадающим с динамическим уровнем жидкости, постепенно замещается нефтью). 9- поток газожидкостной смеси.

Время замещения затрубного пространства между приемом насоса и динамическим уровнем зависит от содержания воды в добываемой продукции – чем выше содержание воды в продукции скважины, тем больше времени требуется. Время заполнения нефтью увеличивается из-за постоянного перемещения нефти в этом пространстве в нижнем направлении – под действием силы тяжести. Необходимо отметить, беспорядочное изменение содержания воды в продукции скважины, определенное отбором проб через пробоотборник на фонтанной арматуре тому является доказательством. При вычислениях давления на приеме насоса через динамический уровень жидкости, за плотность столба жидкости можно принять плотность нефти на поверхностных условиях. Однако, при этом надо иметь ввиду, при интенсивном перемешивании пластовой жидкости из-за выделения газа на приеме насоса динамический уровень прослеживается не четко, так как над уровнем жидкости накапливается нефтяная пена. Поэтому, при практических расчетах за среднюю плотность нефти в пространстве между приемом насоса и динамическим уровнем можно считать равной плотности нефти в пластовых условиях. Газовая оболочка на поверхности насоса постоянно обновляется из-за передвижения нефти в восходящем и нисходящем направлениях. Поэтому можно предположить, что теплоизолирующие свойства газовой оболочки постоянная, не подвергающиеся изменению (постоянный состав, плотность, температура и т.д.).

В процессе эксплуатации центробежного насоса, температура поступающей газожидкостной смеси постоянная и равная T_v , температура на поверхности тепловыделяющих элементов насоса равна T_{w1} ,

температура на поверхности насоса равна T_{w2} . Обозначим, через T_f – температура на валу насоса; T_b – температура смеси на входе в насос; $T_{вых}$ – температура смеси на выходе из насоса.

Количество теплоты с неопределенной скоростью образуется в полостях рабочих аппаратов из-за зависимости коэффициента полезного действия насоса от характеристики газожидкостной смеси. Движение газожидкостной смеси сложное, неопределенными параметрами из-за постоянного увеличения давления, роста температуры. Теплообмен в аппаратах центробежного насоса контактный, между смесью и стенками аппаратов – конвективный. Поэтому для описания теплового состояния центробежного насоса невозможно применить детальный подход – придется осуществить макроскопический, обобщенный, усредненный подход.

С учетом вышеизложенных допущений, задачу разогрева электроцентробежного насоса приближенно можно свести к задаче поиска температуры и теплового потока в полой цилиндрической неограниченных размеров с теплоизоляцией снаружи (без учета оттока тепла объемным расходом перекачиваемой газожидкостной смеси).

Согласно [1,2,8] дифференциальное уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах с внутренним источником теплоты, мощностью Q_v имеет вид:

$$\lambda \left(\frac{d^2 T}{dR^2} + \frac{1}{R} * \frac{dT}{dR} \right) + Q_v = 0 \quad (1)$$

где, λ -коэффициент теплопроводности;

Q_v -мощность источника теплоты;

T – текущая температура;

R - радиальная переменная, перпендикулярная к оси насоса.

Поскольку тепловыделяющий элемент (газожидкостная смесь и трущиеся поверхности) находится между валом и корпусом насоса, на поверхности с радиусом R_1 имеем:

$$\left. \frac{dT}{dR} \right|_{R_2} = \alpha(T_{w2} - T_f) \quad \left. \frac{dT}{dR} \right|_{R_1} = 0 \quad T = T_{w1}, \quad (2, 3)$$

где λ_w – коэффициент теплопроводности металлического цилиндра насоса;

α_1 – коэффициент теплопередачи от рабочих колес к газожидкостной смеси;

T_{w1} – температура на поверхности тепловыделяющих элементов (рабочих колес);

T_f – температура в центре тепловыделяющих элементов (рабочих колес).

Тогда температура T_{w1} на поверхности тепловыделяющего элемента согласно [8] равна

$$T_{w1} = T_f + \frac{Q_v R_1}{2\alpha_1} \left(\left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2 - 1 \right), \quad (4)$$

где Q_v - теплота, вырабатываемая внутри насоса за счет сил трения;

R_1 – условный радиус внутренней части цилиндра насоса;

R_2 – радиус цилиндра корпуса насоса.

Текущая температура T в цилиндрическом корпусе насоса радиусами R_1 и R_2 согласно [8]:

$$T_w = T_{w2} = T_f + \frac{Q_v R_1^2}{4\lambda_w} \left(\frac{2\lambda_w}{\alpha_1 R_1} \left(\left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2 - 1 \right) + 1 - \left(\frac{R}{R_1} \right)^2 + 2 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2 \ln \frac{R}{R_1} \right). \quad (4)$$

Толщина газовой оболочки вокруг корпуса насоса обозначим через δ_{u3} и ее теплопроводность $\lambda_{из}$, тогда температуру изоляции (наружной поверхности корпуса насоса) вычислим из соотношения

$$Q_l = \pi R_2^2 Q_v = 2\pi (R_2 + \delta_{u3}) (T_{u3} - T_f) \alpha \quad (5)$$

$$T_{u3} = T_f + \frac{Q_v R_2}{2\alpha \left(1 + \frac{\delta_{u3}}{R_2} \right)}, \quad (6)$$

где R_2 – наружный радиус корпуса электроцентробежного насоса.

Рассматривая электроцентробежный насос как сплошное тело с радиусом R_0 (при «срыве подачи») с распределенным источником тепла в нем и изолирующий слой газа как цилиндрическую стенку с

температурами T_w и $T_{из}$ на внутренней и внешней поверхностях, согласно [8] получим уравнение теплопроводности с краевыми условиями:

$$\lambda \left(\frac{d^2 T}{dR^2} + \frac{1}{R} * \frac{dT}{dR} \right) + Q_v = 0 \quad (7)$$

$$R = 0; \quad \left(\frac{dT}{dR} \right)_{R=0} = 0; \quad R = R_0; \quad -\lambda_w \left(\frac{dT}{dR} \right)_{R=R_0} = \alpha(T_w - T_f) \quad (8)$$

Температуру изоляции найдем из соотношения:

$$\pi R_0^2 Q_v = 2\pi(R_0 + \delta_{из})(T_{из} - T_f)\alpha \quad (9)$$

Тогда на поверхности насоса температура равняется

$$T_w = T_{из} + \frac{Q_v R_2^2}{2\lambda_w} \ln\left(1 + \frac{\delta_{из}}{R_2}\right) = T_f + \frac{Q_v R_2}{2\alpha(1 + \frac{\delta_{из}}{R_2})} + \frac{Q_v R_2^2}{2\lambda_{из}} \ln\left(1 + \frac{\delta_{из}}{R_2}\right). \quad (10)$$

Таким образом, из уравнения (10) следует, что $T_{из}$ имеет нижнее значение T_f , верхнее значение в основном определяется количеством теплоты Q_v и коэффициентом передачи теплоты α .

Для того, чтобы применить формулы (10) для оценки температурного состояния электроцентробежного насоса, необходимо вычислить Q_v . Для этого предположим, что известными являются газосодержание на приеме электроцентробежного насоса φ , давление насыщения $P_{нас}$ добываемой нефти, давление на приеме насоса $P_{пр}$. Предположим также, что напор, создаваемый одним рабочим аппаратом в электроцентробежном насосе, зависит от газосодержания по [7] и равняется h метров (более строго, значение h является функцией содержания газа φ).

Тогда, число рабочих аппаратов, участвующих в выработке теплоты, равно:

$$N_1 = \frac{P_{нас} - P_{пр}}{h}. \quad (11)$$

где $N = N_1 + N_2$ общее число аппаратов в УЭЦН. Число рабочих аппаратов N_2 участвующих в перекачке однородной жидкости и количество теплоты, выделяющееся в этих аппаратах здесь не рассматриваются.

Общее количество теплоты, вырабатываемое в электроцентробежном насосе, равно

$$Q = Q_v + Q_0 \quad (12)$$

Очевидно, что теплота Q_0 необходимо вычислить по формуле (12), но вместо $P_{вх}$ необходимо поставить значение $P_{нас}$.

$$\Delta T_n = 10^6 \frac{P_{вх} - P_{нас}}{\rho_{cp} c_{cp}} \left(\frac{1}{\eta_n \eta_o} - 1 \right) \quad (13)$$

При этом предполагается, что значение давления насыщения не зависит от температуры в насосе. Если количество теплоты, вырабатываемое в одном рабочем аппарате электроцентробежного насоса, обозначим через q_0 , то количество теплоты, выделяемое всей установкой, до полного растворения свободного газа, составит:

$$Q_v = q_0 N = q_0 \frac{P_{нас} - P_{пр}}{h}. \quad (14)$$

где N число аппаратов насоса, участвующие в перекачке газированной смеси.

Газосодержание на приеме насоса согласно [7]:

$$\varphi = \frac{\Gamma Q_{жс} (1 - B) \left(1 - \frac{P_{пр}}{P_{нас}}\right) P_{ам}}{Q_{жс} P_{пр} + \Gamma Q_{жс} (1 - B) \left(1 - \frac{P_{пр}}{P_{нас}}\right) P_{ам}} \quad (15)$$

Решая уравнение (15) относительно давления на приеме насоса, имеем:

$$1 - \frac{P_{np}}{P_{нас}} = \frac{\varphi P_{np}}{(1-\varphi)(1-B)GP_{ам}}. \quad (16)$$

Подставляя (16) в (10), имеем выражение для теплоты:

$$Q_v = \frac{q_0 \varphi P_{нас} P_{np}}{(1-\varphi)(1-B)h GP_{ам}} = \frac{q_0 P_{np} P_{нас}}{h\Gamma(1-B)} \frac{\varphi}{1-\varphi}. \quad (17)$$

Подставляя (106) в (93), получим:

$$T_w = T_f + \frac{q_0 \varphi R_2 P_{нас} P_{np}}{2\alpha(1-\varphi)(1-B)hGP_{ам} \left(1 - \frac{\delta_{уз}}{R_2}\right)} + \frac{q_0 \varphi R_2^2 P_{нас} P_{np}}{2\lambda_{уз}(1-\varphi)(1-B)hGP_{ам}} \ln\left(1 + \frac{\delta_{уз}}{R_2}\right). \quad (18)$$

где $\varphi \neq 1$; $B \neq 1$:

В (18) первое слагаемое характеризует температуру поступающей в насос жидкости, второе слагаемое - процессы, происходящие в электроцентробежном насосе, третье слагаемое, характеризующее теплофизические свойства изолирующего слоя, и в значительной степени зависящее от коэффициента теплопроводности $\lambda_{уз}$.

Явление теплового удара.

Упростив (18) с учетом, что свойства натурального логарифма имеем выражение для вычисления повышения температуры в области от приема до области полного растворения газа внутри насоса

$$\Delta T_w = T_w - T_f = \frac{\varphi}{1-\varphi} \frac{q_0 R_2 P_{нас} P_{np}}{2(1-B)hGP_{ам}} \left\{ \frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_{уз}}{\lambda_{уз}} \right\} \quad (19)$$

в предположении, что давление насыщения нефти не зависит от температуры. При $B=1$ (100% обводненность продукции скважины) значение $\varphi = 0$.

Тогда (19) можно переписать в следующем виде:

$$\Delta T_w = T_w - T_f = \frac{q_0 R_2 P_{нас} P_{np}}{2hGP_{ам}} \left\{ \frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_{уз}}{\lambda_{уз}} \right\} \quad (20)$$

В общем случае и согласно экспериментальным исследованиям [51] напор установки является функцией содержания свободного в газожидкостной смеси на приеме насоса и «слабо» зависит от наличия сепаратора (так как коэффициент сепарации сепараторов как отечественного, так и импортного производства не более 20% [7])

$$h = f(\varphi) \quad (21)$$

Физический смысл (159) заключается в том, что выработка дополнительного тепла ΔT_w происходит на участке насоса, где давление меняется от $P_{вх}$ до $P_{нас}$. В оставшихся аппаратах насоса, где движется однородная жидкость, расчет тепла необходимо выполнить по классической формуле [7].

Давление насыщения в зависимости от температуры $P_{н,t}$ при постоянном количестве растворенного в нефти газа можно рассчитать по формуле М.Д.Штофа, Ю.Н.Белова и В.П.Прончука [7], если известно долевое содержание в растворенном газе метана и азота:

$$P_{н,t} = P_n + \frac{T - T_{пл}}{9,157 + \frac{701,8}{\Gamma_{ом}(y_m - 0,8y_a)}} \quad (22)$$

где $P_{н,t}$ - значение давления (измеряется в МПа) насыщения при температуре T ; $T_{пл}$ - значение пластовой температуры, $^{\circ}K$; P_n - давление насыщения при пластовой температуре; $\Gamma_{ом}$ - газонасыщенность (газовый фактор), измеряется в $\frac{м^3}{т}$, пластовой нефти, характеризующаяся отношением объема (приведенного к нормальным условиям) растворенного в нефти газа, к массе дегазированной нефти; y_m , y_a -

соответственно содержание метана и азота в газе (в долях единицы) однократного разгазирования пластовой нефти в стандартных условиях [108].

Здесь

$$\Gamma = \rho_n \Gamma_{ом} \quad (23)$$

где ρ_n - плотность нефти, в условиях на приеме насоса, единица измерения $\frac{т}{м^3}$.

Для того чтобы учитывать зависимость давление насыщения в (22) от температуры, необходимо в выражение (19) подставить его значение.

Давление насыщения на приеме насоса при температуре T_f равно:

$$P_{н,ф} = P_n + C_1(T_f - T_{нл});$$

где $C_1 = \frac{1}{9,157 + \frac{701,8}{\Gamma_{ом}(y_m - 0,8 * y_a)}}$ (24)

Давление насыщения при температуре T_w внутри насоса будет равно:

$$P_{н,в} = P_n + C_1(T_w - T_{нл}) \quad (25)$$

Введем для упрощения промежуточных расчетов постоянную:

$$C_2 = \frac{\varphi}{1 - \varphi} \frac{q_0 R_2 P_{np}}{2(1 - B)h\Gamma P_{ам}} \left\{ \frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_{уз}}{\lambda_{уз}} \right\} \quad (26)$$

Размерность C_2 равняется $\left[\frac{^{\circ}K}{ам} \right]$:

Комбинируя (25), (26) и подставляя в (19) имеем выражение для вычисления температуры насоса в зависимости от газосодержания, давления на приеме, обводненности продукции и давления насыщения и т.д.

$$\Delta T_w = T_w - T_f = \frac{P_n + C_1 \theta * \Delta x}{\frac{1}{C_2} - C_1} \quad (27)$$

где θ - градиент температуры в скважине, $\left[\frac{^{\circ}K}{м} \right]$, $\Delta x = L_{с,в} - L_{нас,в}$, $L_{с,в}$ - вертикальная глубина кровли

пласта, $L_{нас,в}$ - вертикальная глубина спуска установки электроцентробежного насоса.

Очевидно, необходимо выполнения условия:

$$C_1 * C_2 \leq 1. \quad (28)$$

Явление резкого, бесконтрольного увеличения температуры насоса при

$$C_1 * C_2 \equiv 1 \quad (29)$$

назовем «тепловым ударом».

Данное явление наблюдается при запусках УЭЦН и выводе на постоянный режим эксплуатации низкопроизводительных установок.

Оптимальное значение давления на приеме насоса.

Согласованная работа «пласта и подъемника (установки электроцентробежного насоса)» является одной из основных задач, над которой бьются как потребители – нефтедобывающие предприятия так и производители этих установок. При этом, одним из определяющих параметров эксплуатации УЭЦН является давление на приеме электроцентробежного насоса. В зависимости от содержания воды в продукции скважины, газового фактора и давления на приеме насоса определяется состояние УЭЦН, продолжительность ее исправной службы.

Как отмечено в [7] «...многочисленные и длительные промысловые исследования работы УЭЦН позволяют выделить три качественно различные области работы центробежного насоса. В первой области,

характеризующейся небольшим содержанием свободного газа в откачиваемой жидкости, фактические характеристики насоса не отличаются от стендовых характеристик для чистой жидкости (свободный газ отсутствует), а КПД насоса максимален. Давление на приеме насоса, соответствующее небольшому газосодержанию в откачиваемой жидкости, назовем оптимальным давлением на приеме P_{opt} . (насос работает в первой области). Вторая область эксплуатации ЭЦН характеризуется увеличением количества газа в откачиваемой жидкости, вследствие чего реальные характеристики насоса отличаются от стендовых, при работе без свободного газа, но насос сохраняет устойчивую работу при допустимом КПД. Давление на приеме насоса при этом режиме назовем допустимым давлением – $P_{доп.}$. Третья область эксплуатации ЭЦН с давлением меньше допустимого назовем предельным давлением $P_{пред.}$ на приеме насоса. При этом наблюдается неустойчивая эксплуатация насоса, с беспорядочным «срывом подачи», частыми остановами, которая приводит к выходу установки из строя по различным причинам. При такой эксплуатации УЭЦН производительностью менее 50 м³/сутки подачей установка выходит из строя из-за снижения электрического сопротивления всей системы, чаще с образованием отложений в лабиринтах рабочих аппаратов насоса. Говоря более строгим математическим языком, область эксплуатации электроцентробежного насоса распадается на три множества значений давления на приеме насоса:

$$P_{np} \rightarrow \begin{cases} P_{np} \geq P_{opt} \\ P_{пред} < P_{np} < P_{opt} \\ P_{np} \leq P_{пред} \end{cases} \quad (30)$$

До настоящего времени оценка множества значений давления P_{np} , при условии что $\frac{\mu_{он}}{\mu_{нн}} \leq 3$,

производится по эмпирическим формулам [1]:
при $B < 0,6$

$$P_{opt} = \frac{\mu_{он}}{\mu_{нн}} P_{нас} (0,325 - 0,316B),$$

при $B \geq 0,6$

$$P_{opt} = \frac{\mu_{он}}{\mu_{нн}} P_{нас} (6,97B - 4,5B^2 - 2,43) \quad (31)$$

где B – объемная обводненность продукции, д.ед.;

$P_{нас}$ – давление насыщения, МПа.

$\mu_{он}$ - коэффициент вязкости дегазированной нефти,

$\mu_{нн}$ - коэффициент вязкости нефти в пластовых условиях.

Оценка допустимого давления $P_{доп}$ на приеме насоса дается следующими эмпирическими формулами:

при $B < 0,6$

$$P_{доп} = \frac{\mu_{нд}}{\mu_{нн}} P_{нас} (0,198 - 0,18B),$$

при $B \geq 0,6$

$$P_{доп} = \frac{\mu_{нд}}{\mu_{нн}} P_{нас} (2,62B - 1,75B^2 - 0,85) \quad (33)$$

Предельное значение множества давлений $P_{пред}$ во всей области обводненности продукции с $B < 1$ определяется по следующему эмпирическому соотношению:

$$P_{пред} \leq \frac{\mu_{нд}}{\mu_{нн}} P_{нас} (0,125 - 0,115B) \quad (34)$$

Соотношение $\frac{\mu_{нд}}{\mu_{нн}}$ рассчитывается при средней температуре в насосе.

Для практики нефтедобычи наибольший интерес представляет эксплуатация электроцентробежной установки с давлением на приеме насоса в области допустимых и меньшей допустимых значениях. В процессе запуска или работы электроцентробежный насос «попадает в область эксплуатации» с давлением на приеме меньше допустимого значения, что со временем приводит к отказу установки. Как показывает промышленная практика, при этом в 70 – 80% случаев, выход из строя установки ЭЦН происходит из-за снижения электрического сопротивления системы «кабель – двигатель» с одновременным отложением солей в лабиринтах рабочих аппаратов насоса.

Проблема выхода из строя УЭЦН при эксплуатации с давлением на приеме насоса меньше допустимого значения наиболее актуальна для низкопроизводительных установок, с подачей менее 50 м³/сутки жидкости, которые иногда составляют более 60 – 65% эксплуатационного парка электроцентробежных насосов нефтегазодобывающего предприятия.

Появление на промыслах установок ЭЦН с возможностью управления давлением на приеме электроцентробежного насоса и первые опыты по эксплуатации электроцентробежного насоса с заданным давлением на приеме показывают, что для месторождений Западной Сибири выбор $P_{онт}$ или $P_{дон}$ по (31 – 33) дают завышенные значения, при которых эксплуатация электроцентробежного насоса становится экономически неоправданной.

Поэтому, целью настоящей работы является определение областей изменения давления на приеме, при которых возможна исправная эксплуатация электроцентробежного насоса низкой производительности, дать определение понятия предельного давления на приеме электроцентробежного насоса в зависимости от свойств нефти.

Приступая к изучению поставленной проблемы эксплуатации электроцентробежного насоса, необходимо исходить из того, что эксплуатация установки возможна при максимальном КПД, когда расходно-напорная характеристика УЭЦН не отличается от характеристики, определенной при перекачке однородной жидкости [7] в лабораторных условиях. При этом на прием насоса поступает однородная жидкость, без содержания свободного газа. Газ же находится в растворенном состоянии при давлении выше давления насыщения. Таким образом, давление на приеме насоса при оптимальном режиме эксплуатации должно быть не больше давления насыщения [4].

При оптимальном давлении на приеме насоса, КПД установки максимальный, температура всей установки минимальная, так что оптимальное давление на приеме насоса находится в пределах:

$$P_{нас} \geq P_{онт} > P_{дон} \quad (35)$$

При этом в насосе устанавливается оптимальная температура, установка, возможно, эксплуатируется без перегрева и отложения солей. Оптимальные параметры установки ЭЦН (напор, дебит и КПД) вычисляются на основании номограммы [7,8].

Вычислим значение давления $P_{онт}$ исходя из следующих соображений.

Согласно [7] истинным газосодержанием φ называется отношение объема газа V_g к общему объему смеси газа и жидкости $(V_g + V_{ж})$ в выделенном геометрическом объеме при данных термобарических условиях (P, T) , то есть при оптимальном режиме значение истинного газосодержания не более:

$$\varphi_{онт} \leq \varphi_0 = \frac{Q_{жс} \Gamma(1-B) \left(1 - \frac{P_{онт}}{P_{нас}}\right)^\theta}{Q_{жс} + Q_{жс} \Gamma(1-B) \left(1 - \frac{P_{онт}}{P_{нас}}\right)^\theta} \quad (36)$$

θ - показатель степени «кривой разгазирования» нефти.

Γ - газовый фактор в условиях на приеме насоса.

Показатель кривой разгазирования зависит от процентного содержания азота Y_a в попутном газе при дифференциальном разгазировании равен:

$$\theta = \frac{1,5 + 0,32Y_a^2}{1,567 + Y_a^2}$$

где Y_a - процентная доля азота в попутном газе при дифференциальном разгазировании.

Решая (7) относительного давления P_{onm} получим выражение для определения оптимального давления на приеме электроцентробежного насоса:

$$P_{onm} \geq P_{nac} \left(1 - \sqrt[3]{\frac{\varphi_{onm}}{(1 - \varphi_{onm})\Gamma(1 - B)}}\right) \quad (37)$$

Физический процесс описывается для всего предела изменения содержания воды в продукции скважины, если учесть, что при $B \Rightarrow 1$, истинное газосодержание $\varphi \Rightarrow 0$. Оптимальное значение истинного содержания газа на приеме насоса может быть определено экспериментально, путем определения зависимости КПД насоса в скважинных условиях от газосодержания или в лабораторных исследованиях. Исходя из физической картины процесса эксплуатации и согласно работам [1,2,3,4] оптимальное значение давления на приеме насоса находится в пределах:

$$P_{nac} \geq P_{onm} > P_{nac} \left(1 - \sqrt[3]{\frac{\varphi_{onm}}{(1 - \varphi_{onm})\Gamma(1 - B)}}\right) \quad (38)$$

при обводненности продукции меньше 100%.

Далее, область определения допустимых значений давления на приеме насоса лежит в пределах:

$$P_{onm} > P_{дон} > P_{пред} \quad (39)$$

Поскольку в литературе нет четкого определения понятия допустимого давления на приеме насоса (...эксплуатация ЭЦН с увеличивающимся содержанием свободного газа на приеме насоса при котором насос сохраняет устойчивую работу при допустимом КПД...[7]), попытаемся определить давление $P_{пред}$ на приеме насоса.

Действительно, анализ промысловых данных по эксплуатации электроцентробежной установки средствами станции управления (СУ) позволяет определить в какой области работает установка. В качестве примера приведем данные по изменению силы тока, загрузки (отношение потребляемой мощности к номинальной) в скважине, оборудованной низкопроизводительной установкой ЭЦН5-30-2250 (рисунок 1).

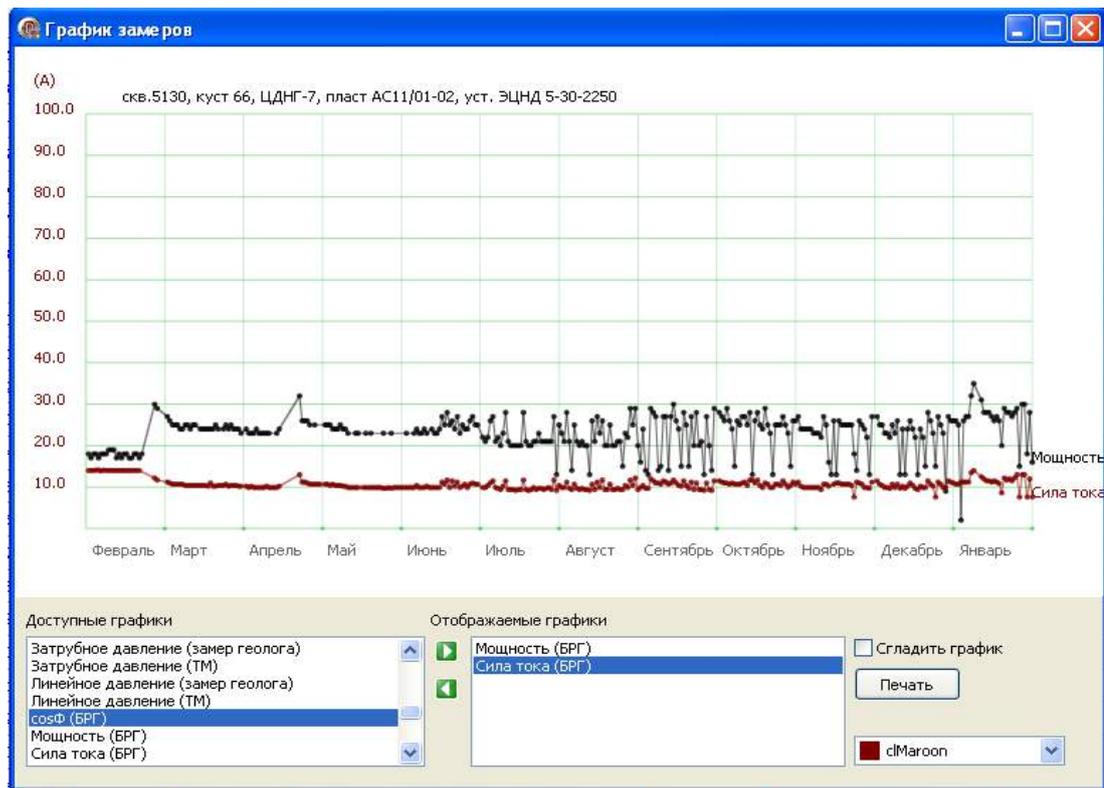


Рисунок 2. Изменение силы тока и коэффициента загрузки на установке ЭЦН5-30-2250 при снижающейся производительности скважины.
Верхняя кривая – изменение коэффициента загрузки,
нижняя – изменение силы тока на УЭЦН.

Из примера, приведенном на рисунке 2 видно, что с середины июня месяца, из-за снижения производительности скважины, соответствие работы системы «пласт – подъемник» нарушилось – установка стала работать в режиме «периодического срыва подачи» - с частыми отключениями – с минимальным КПД – потребляемая мощность расходуется на выработку тепла в рабочих аппаратах электроцентробежного насоса. Если не будут выполнены мероприятия по приведению в соответствие работы «пласта и подъемника (УЭЦН)», как показывает промышленная практика, установка ЭЦН выйдет из строя из-за снижения электрического сопротивления системы «кабель – двигатель», или же произойдет отказ установки из-за отложения солей в лабиринтах рабочих аппаратов насоса и т.д.

Таким образом, начиная с середины июня месяца, на приеме насоса установилось предельное давление $P_{пред}$. При этом, в установке первые несколько десятков рабочих аппаратов «забиваются газом», снижается давление на выкиде насоса настолько, что насос временами запирается гидравлически – то есть, давление столба жидкости над установкой становится больше давления на выходе насоса. Ускорению наступления явления «срыва подачи» способствует свойство нефти - пропорциональная зависимость значения давления насыщения от температуры, которая приводит к увеличению числа аппаратов занятых газом. Решение одномерной задачи теплового состояния насоса в условиях близких к «срыву подачи» приведено в работе [1]:

$$\Delta T = T_{пред} - T_{np} = \frac{q_0 \varphi_{пред} P_{нас} P_{пред}}{2(1 - \varphi_{пред})(1 - B)hGP_{ам}} \left\{ \frac{1}{\alpha \left(1 - \frac{\delta_{уз}}{R_2}\right)} + \frac{R_2}{\lambda_{уз}} \ln \left(1 + \frac{\lambda_{уз}}{R_2}\right) \right\} \quad (40)$$

Выполнив ряд упрощений и предполагая известным предельное значение расходного газосодержания на приеме электроцентробежного насоса получим аналитическое выражение для определения значения предельного давления на приеме насоса:

$$P_{пред} = \frac{2\Delta T_{пред}(1-B)(1-\varphi_{пред})hGP_{ат}}{q_0\varphi_{пред}R_2P_{нас} \left[\frac{1}{\alpha} + \frac{R_2}{\lambda_{уз}} \right] \left(1 + \frac{\delta_{уз}}{R_2} \right)} \quad (41)$$

Уравнение может быть применено для определения значения предельного давления на приеме насоса, если будет дана зависимость

$$h = h(\varphi) \quad (42)$$

и величина $\Delta T_{пред}$. Исходя из практических соображений, (например, термическая прочность кабельной линии, прилегающей к корпусу насоса) величина изменения температуры $\Delta T_{пред}$ может находиться в пределах:

$$\Delta T_{онм} \leq \Delta T_{дон} < \Delta T_{пред} \quad (43)$$

Система уравнений (40 – 41) даст однозначное определение предельного давления на приеме насоса $P_{пред}$ при определенных параметрах α , $\lambda_{уз}$ и $\delta_{уз}$.

Для упрощения выражения (11) обозначим величину

$$\left[\frac{1}{\alpha} + \frac{R_2}{\lambda_{уз}} \right] \left(1 + \frac{\delta_{уз}}{R_2} \right) = K \quad (44)$$

и назовем его коэффициентом адаптации уравнения (11) к конкретному промышленному условию. Тогда уравнение (11) примет упрощенный вид:

$$P_{пред} = \frac{2\Delta T_{пред}(1-B)(1-\varphi_{пред})hGP_{ат}}{q_0\varphi_{пред}R_2P_{нас}(t)K} \quad (45)$$

Согласно исследованию [3,4] и из-за незначительности коэффициента сепарации на приеме электроцентробежного насоса, множество значения давлений $P_{онм}$, $P_{пред}$ расширяются так

$$P_n \geq P_{онм} > P_{нас} \left(1 - \alpha \sqrt{\frac{\varphi_{онм}}{(1-\varphi_{онм})\Gamma}} \right) (1-\sigma)$$

$$P_{онм} > P_{дон} > P_{пред} \quad (46)$$

$$P_{пред} = \frac{2\Delta T_{пред}(1-B)(1-\varphi_{пред})hGP_{ат}}{q_0\varphi_{пред}R_2P_{нас}K} (1-\sigma)$$

где σ коэффициент сепарации газа в сепараторе, установленного на приеме электроцентробежного насоса. По выражению (16) можно определить значение предельного давления на приеме электроцентробежного насоса, при условии, что задано изменение температуры $\Delta T_{пред}$.

Отложение солей в установке ЭЦН

Приведем результаты расследования установок ЭЦН, отказавших по причине снижения электрического сопротивления системы «кабель – двигатель» и по причине заклинивания насоса (таблица 1).

Qж, м ³ в сутки	P _{вх} , МПа, давление на входе в насос	В, доли единиц	ΔT _w , °К	T _f , °К	T _w , °К	Результат комиссионного демонтажа, расследования насоса и кабельного удлинителя
17	5,8	0,08	134	70	204	R=0 удлинителя
16	6,2	0,07	126	68	194	R=0 удлинителя
18	6,9	0,02	105	56	161	R=0 удлинителя
25	6,8	0,36	123	58	181	R=0 удлинителя
19	7,7	0,06	210	56	266	R=0 удлинителя
18	5,3	0,38	114	60	174	отложение солей и R=0 удлинителя
31	7,1	0,35	128	61	189	отложение солей и R=0 удлинителя
19	6,6	0,45	98	62	160	отложение солей
16	5,4	0,79	132	55	187	отложение солей и R=0 удлинителя
32	4,4	0,36	204	64	268	отложение солей и R=0 удлинителя
22	4,8	0,42	111	62	173	отложение солей и R=0 удлинителя
19	5,7	0,52	121	61	183	отложение солей и R=0 удлинителя
25	5,1	0,35	174	62	236	отложение солей
23	6,4	0,55	171	61	232	отложение солей и R=0 удлинителя
21	6,1	0,41	141	59	200	отложение солей и R=0 удлинителя
18	6,8	0,35	112	63	175	R=0 удлинителя
20	8	0,04	71	67	138	R=0 удлинителя
22	3,9	0,15	116	56	171	R=0 удлинителя

Таблица 1. Технологические параметры УЭЦН перед отказом с результатами комиссионного расследования.

Процесс образования отложений солей из жидкости на поверхности теплопередающих материалов достаточно изученный. В этой области можно привести труды Д.А.Лабунцова, М.И.Булатова, Ф.Ф.Цветкова, Р.В.Керимова, В.М.Величко, Б.А.Григорьева и ряда многих других ученых. Наиболее близко к разгадыванию тайны солеотложения работы Лабунцова, Булатова, Цветкова и т.д.

И отложение солей из рассола связано с процессом кипения [6]; температура кипения зависит от давления под которым находится жидкость, коэффициента поверхностного натяжения на границе «жидкость – нагревающаяся поверхность», наличия в жидкости растворенных солей, механических примесей, нефтяной фазы.

На практике – кипение жидкости и образование твердой накипи, например, на внутренней стенке котла, жаровой трубы – процессы неразрывные.

Кипением называется процесс парообразования внутри жидкости, когда жидкость нагрета выше температуры насыщения и возникновение границы раздела между паром и жидкостью является отличительной чертой данного процесса. Для парообразования внутри жидкости должны быть центры парообразования – на поверхности нагретого вещества таковыми являются микроскопические [8] углубления. Парообразование облегченное, если поверхность не смачивается водой – то есть зависит от коэффициента натяжения на границе вода – поверхность теплоотдачи.

Процесс кипения зависит от теплового потока на границе жидкость – вода:

$$\Delta t = t_c - t_s \quad (47)$$

где t_c - температура на поверхности теплопередающей, °C t_s - температура насыщения, °C. В зависимости от Δt наблюдается два режима кипения: пузырьковое и пленочное. Вид зависимости режимов кипения от плотности теплового потока q приведен на рисунке 3., первая область при незначительном тепловом напоре представляет конвективный теплообмен, вторая область характеризует область пузырькового кипения и третья – область пленочного кипения. При снижении теплового потока возможен «рывком» переход от пленочного режима в пузырьковый.

При пленочном кипении происходит отрыв жидкости от греющей поверхности – паром. При пузырьковом кипении пузырьки пара образуются в микроскопических неровностях теплопередающей поверхности, процесс равномерный – пленочное кипение носит взрывной характер, происходит бурное образование пара под жидкостью и выброс жидкости. Под работой адгезии понимают энергию, необходимую для отрыва пузырька от поверхности теплопередачи – чем больше коэффициент натяжения между пленкой жидкости и материалом теплопередающей работа адгезии увеличивается.

Поступление молекул воды с более высокой кинетической энергией в пузырек возможно только на границе пузыря и теплопередающей поверхности.

Поэтому, как показано на рисунке 3, рост пузырька происходит за счет «выпаривания» тонкой пленки воды на границе с теплопередающей поверхностью. Так как молекулы растворенных солей в жидкости «более массивные» чем молекулы воды, происходит закрепление молекул солей на границе «жидкость – теплопередающая поверхность», под действием межмолекулярных сил притяжения. Конфигурация этой поверхности представляет форму усеченного шара двумя параллельными плоскостями, первая которой расположена ближе к поверхности шара на месте

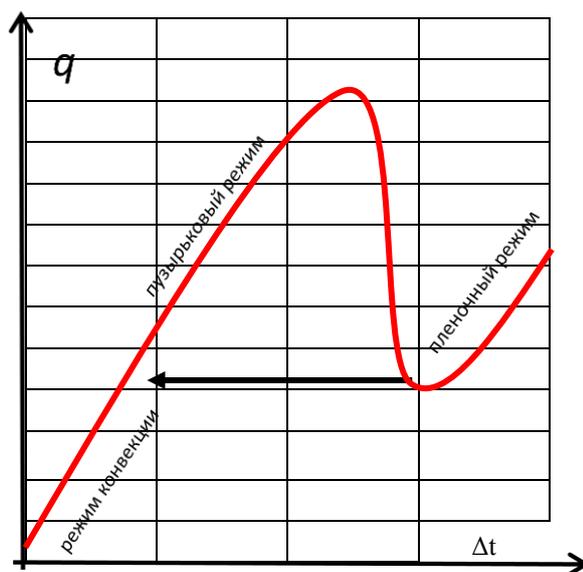


Рисунок 3. Зависимость плотности теплового потока q от температурного напора Δt при кипении воды.

образования пузыря. Эту картину наблюдал и описал в своих трудах исследователь Отто в 30-е годы прошлого столетия, как отлагаются «кольца накипи на теплопередающей поверхности».

На рисунке 3 приведена схема проникновения более «энергичных» молекул воды из границы «водяная пленка – теплопередающая поверхность», в результате чего происходит образование отложения солей в форме кольца. Далее, кольцо солей расширяется до отрыва пузырька пара. Тут же на его месте образуется следующий пузырек и рост кольца накипи продолжается.

Таким образом, для начала образования солевых отложений на теплопередающей поверхности в аппаратах центробежного насоса необходимо начало процесса кипения попутной воды (с растворенными в ней химическими соединениями) в продукции скважины.

Начало образования паровых пузырей приходится на микроскопические углубления металлической поверхности рабочих органов. Продолжается рост микроскопического пузырька до размеров, увлекаемых потоком газожидкостной смеси. На его месте тут же возникает второй пузырек, развивается, способствуя дальнейшему увеличению «кольцевого следа» из солей, отрывается потоком газожидкостной смеси и т.д. Температура кипения жидкости зависит от давления - при повышении давления температура кипения увеличивается. Давление газожидкостной смеси в центробежном насосе определяет температуру кипения – зависимость температуры кипения в попутной воде отличается от зависимости температуры кипения для химически однородной воды, так происходит влияние на температуру кипения наличие газовой фазы, состав и размеры механических примесей. Исследованиями можно установить, что механические примеси (не смачиваемых водой) горных пород только

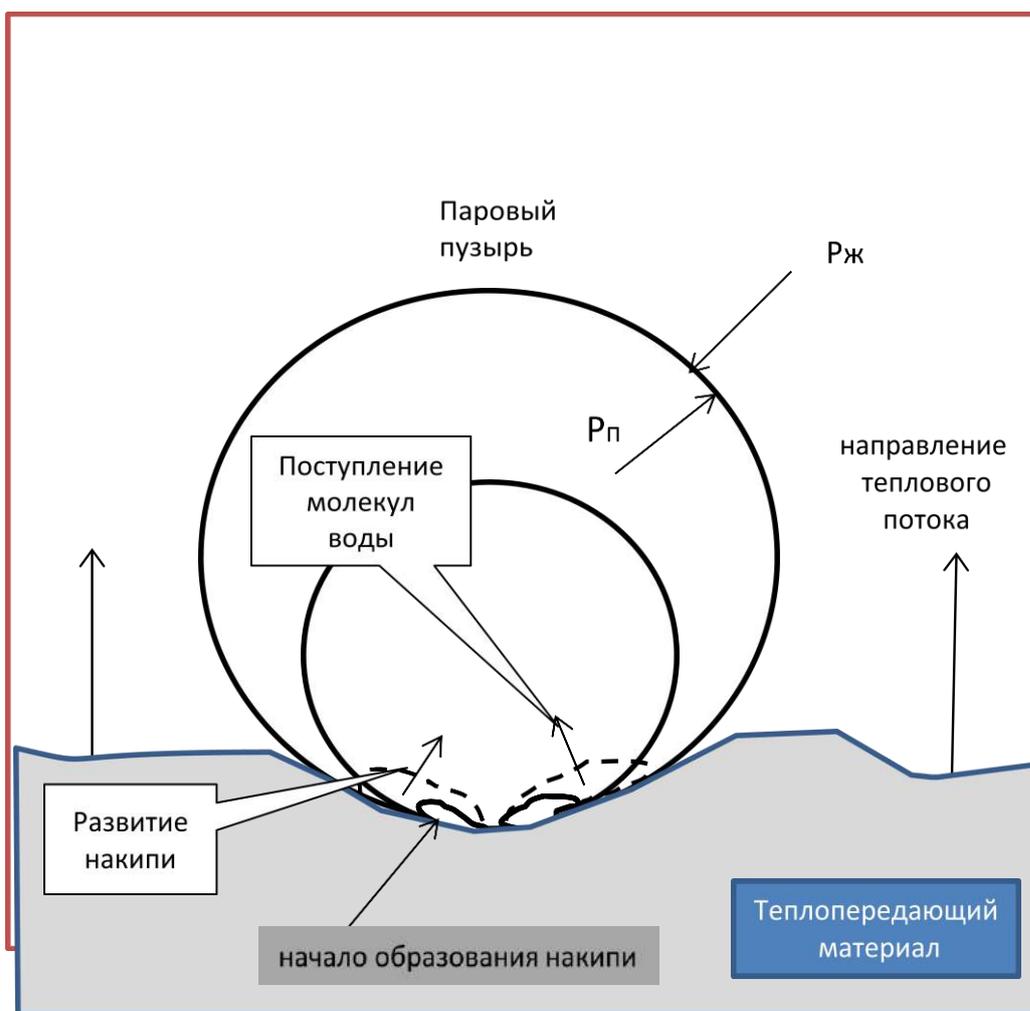


Рисунок 4. Образование и развитие пузыря пара в воде. По наблюдениям Отто, слой микроскопической накипи представляет кольцо, с центром в углублении на теплопередающей поверхности.

приводят к снижению температуры кипения и ускорению отложения солей в аппаратах центробежного насоса.

Если возвращаться к проблеме солеотложения в центробежном насосе для добычи нефти, как было показано выше, температура насоса определяется содержанием свободного газа в перекачиваемой жидкости. По [2] можно оценить температуру центробежного насоса при снижении давления на приеме ниже оптимального значения – ниже давления насыщения. При перекачке газированной смеси коэффициент полезного действия насоса снижается [5,7], (например, по А.Н.Дроздову, содержание газа в 5% снижает КПД до 25%). Снижение КПД насоса приводит к

превращению механической энергии вращения рабочих колес насоса в тепловую энергию. Тепловая энергия, вырабатываемая в насосе за счет снижения КПД приводит к разогреву перекачиваемой газодонефтяной смеси - при определенном давлении внутри насоса наступает режим «кипения» - начинается процесс отложения солей на поверхностях рабочих аппаратов установки ЭЦН.

t, °C	ρ , кг/м ³	c_p , кДж/(кг*К)	λ , 10 ⁻² Вт/(м*К)	σ , 10 ⁻⁴ Н/м
0	1000	4,212	55,1	756,4
50	988	4,174	64,8	676,9
100	958,4	4,22	68,3	588,6
150	917	4,313	68,4	486,6
200	863	4,505	66,3	376,7
250	799	4,844	61,8	261,9
300	712,5	5,736	54,0	144,2
320	667,1	6,574	50,6	98,1
330	640,2	7,244	48,4	46,71
340	610,1	8,165	45,7	56,7
350	574,4	9,504	43,0	38,16
360	528	13,984	39,5	20,21
370	450,5	40,321	33,7	4,71

Таблица 2. Физические свойства воды в состоянии насыщения: t – температура воды; ρ – плотность воды; c_p – теплоемкость воды при постоянном давлении; λ – коэффициент теплопроводности; σ – коэффициент поверхностного натяжения.

Температура кипения воды (раствора) зависит от давления в этой жидкости, например, от давления в аппаратах центробежного насоса. В таблице 2 приведены физические свойства воды в точке насыщения – в процессе кипения.

Давление насыщающего пара при кипении больше давления жидкости на величину:

$$\Delta p = p_{жс} + \frac{2\sigma}{R_n} \quad (46)$$

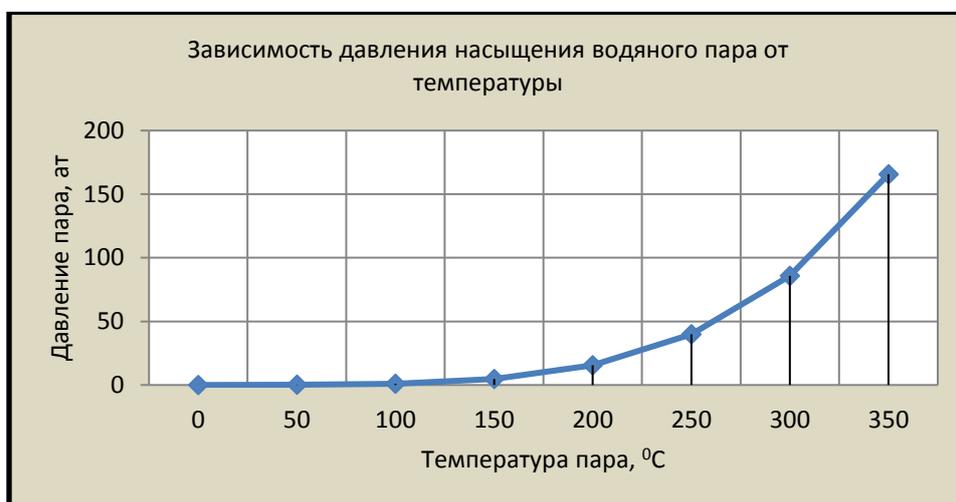


Рисунок 5. График зависимости давления насыщения от температуры. При температуре кипения давление насыщения водяного пара приблизительно совпадает с давлением в жидкости.

Для практических целей, когда кипение жидкости происходит под большим давлением, можно предположить, что $\Delta p = 0$. Тогда из таблицы 8 можно выделить зависимость температуры кипения от давления в жидкости. На графике (рисунок 5) представлена зависимость температуры кипения от давления в жидкости.

На рисунке 6 приведена кривая насыщения воды и точки состояния воды в центробежном насосе (для примера): движение состояния газожидкостной смеси по направлению стрелки означает, при пересечении линии насыщения вправо в жидкости (воде) начинается процесс кипения. Состояние установки (температура воды и давление в насосе) отображается точкой А - это означает, что в насосе вода в состоянии перегрева – кипение не происходит. Если кабельный удлинитель выдерживает такую температуру (например, с рабочей температурой 230 °С), то в насосе отложение солей не происходит. Установка продолжает



Рисунок 6. Расположение давления и температуры воды в насосе в процессе эксплуатации электроцентробежного насоса, совмещенные с кривой насыщения пара. А – давление воды в насосе 30 ат. с температурой 170 °С (режим нагрева); В – давление воды в насосе 20 ат. с температурой 250 °С (режим кипения, происходит отложение солей, возможен отказ по сопротивлению удлинителя); С – давление воды в насосе 120 ат. с температурой 275 °С (режим нагрева – возможен отказ УЭЦН по кабельному удлинителю, но отложение солей не происходит); D – режим кипения (происходит солеотложение, возможен выход УЭЦН по удлинителю). Изменение термобарических условия по Р.А.К. – режим релаксационных автоколебаний; АПВ – изменение термобарических условия при режиме АПВ или КЭС (кратковременная эксплуатация скважины).

эксплуатироваться в исправном состоянии. Но при этом тепловой поток распространяясь вдоль кабельной линии поражает место срачивания с основной кабельной линией – поэтому производители установок ЭЦН предлагают потребителям так называемые «термовставки» - часть кабельной линии с высокой рабочей температурой (кабельная линия, где в качестве брони используется слой из свинца). Термовставка является «буферным участком» между высокотемпературным кабельным удлинителем и основной рабочей линией – «длина термовставки – высокотемпературного участка кабельной линии» пропорционально рабочей температуре высокотемпературного удлинителя.

При переходе состояния газожидкостной смеси в точку В, жидкость в насосе в состоянии кипения, происходит отложение солей. Если при этом (240 °С) не «выдерживает температуру» кабельный удлинитель то установка выходит из строя. Это явление называется «тепловым ударом» - явление мгновенного выхода УЭЦН из строя. Аналогичное состояние установки ЭЦН и в точке D.

При эксплуатации электроцентробежного насоса в периодическом режиме (АПВ) движение состояния газожидкостной смеси происходит по (АПВ) и «искусство нефтяника» при этом заключается в том, чтоб «не попасть» в правую часть кривой насыщения. В противном случае, в режиме АПВ происходит постепенное образование твердых отложений и заклинивание насоса.

При эксплуатации скважин с содержанием в продукции со значительным содержанием попутной воды или же при добыче нефти с небольшим газовым фактором происходит колебание режима эксплуатации, который носит название «релаксационными автоколебаниями» (на рисунке 5 это кривая Р.А.К).

Однако кривая на рисунке 6 приведена для химически чистой воды. На практике мы же имеем пластовую воду с растворенными в ней химическими соединениями, концентрацией взвешенных частиц, которые действуют только на снижение температуры кипения. Поэтому кривая на графике выглядит более «крутым» чем для чистой воды. Для исследования зависимости кривой солеотложений необходимо вести исследования отказов УЭЦН при различных режимах эксплуатации. Кривая кипения пластовой воды внутри насоса приведем на рисунке 7.

В	ΔT	T_w , °C	$P_{жн}$, ат	Результат наложения давления и температуры	Результат комиссионного демонтажа, расследования установки электроцентробежного насоса (УЭЦН)
0,14	154	224	42	Соли	Соли и R=0 (удлинитель с рабочей температурой 230 °C)
0,19	106	175	86	Соли	Соли и R=0 (удлинитель с рабочей температурой 130 °C)
0,02	88	144	12	R=0	R=0 (удлинитель с рабочей температурой 130 °C)
0,36	123	175	101	R=0	R=0 (удлинитель с рабочей температурой 130 °C)
0,06	216	273	65	Соли	Соли и R=0 (удлинитель с рабочей температурой 230 °C)
0,38	114	177	74	Соли	Соли и R=0 (удлинитель с рабочей температурой 130 °C)
0,35	128	189	64	Соли	Соли и R=0 (удлинитель с рабочей температурой 130 °C)
0,12	98	160	77	Соли	Соли, R=100 (удлинитель с рабочей температурой 230 °C)

Таблица 3. Результат наложения состояния насоса (температура – давление) и кривой насыщения водяного пара – кривой зависимости температуры кипения воды от давления.

Вычислим давления газожидкостной смеси в насосе, уже с известными результатами комиссионного расследования основной причины отказа установки, пользуясь результатами исследования в [7,10] и внесем данные в таблицу 3.

Наложением точки с координатами (P_n, T_n) по каждой установке на графике в рисунке 6 можно прогнозировать состояние насоса и кабельного удлинителя. При низкотемпературном кабельном удлинителе в основном происходит отказ установки ЭЦН из-за электрического сопротивления системы «кабель – двигатель». Если же установка оборудована высокотемпературным кабельным удлинителем, то точки состояния (P_n, T_n) на рисунке 5 «ложатся» правее кривой, что означает наступления режима солеотложения. Одновременно, при более высоких температурах насоса снижается и сопротивление высокотемпературного кабельного удлинителя.



Рисунок 7. Нанесение на графике зависимости температуры кипения от давления пластовой
 Внутри электроцентробежного насоса, перекачивающего газожидкостную смесь.
 Точка 1 – координаты (42; 224), 2 – (88; 175), 3 – (120; 144), 4 – (101; 175), 5 – (65; 273),
 6 – (74; 177), 7 – (64; 189) и 8 – (77; 169)

Исследование температуры центробежного насоса является продуктивным подходом – позволяет объяснить многие виды осложнений при эксплуатации установок электроцентробежного насоса низкой производительности при добыче нефти.

Многие виды осложнений эксплуатации УЭЦН низкой производительности связаны с тепловым состоянием центробежного насоса, как мощного источника теплоты при перекачке газожидкостных смесей.

Отложения солей из воды (пластовой воды) происходит при наступления режима кипения, показано, что при кипении поступление молекул воды в пар пузырька происходит с границы жидкость – металл (со стороны теплового потока). Отложение солей связано с процессом выпаривания тонкой пленки воды на границе «жидкость – металл – источника теплового потока».

Температура начала кипения зависит от свойства теплопередающей поверхности – на гладких поверхностях (например, в аппаратах из углепластиковой пластмассы) возможен перегрев химически чистой воды до 200 и более градусов температуры (отложения солей не наступит).

При перекачке пластовой воды с растворенными в ней химическими соединениями, наличием в воде взвешенных частиц – обломков горной породы несмачиваемой водой, наличие нефти и свободного газа, температура кипения достигается при значительно низких температурах. Изучая зависимость кипения пластовой воды внутри центробежного насоса можно научиться прогнозировать наступления режима солеотложения. Солеотложение является не только свойством пластовой воды, но прежде всего зависит от термобарического состояния центробежного насоса.

Эффективным, малозатратным способом предупреждения образования солей, безвозвратной потери центробежного насоса, является контроль и управление температурой эксплуатируемого насоса. Другим способом исключения отложения солей на установках низкой производительности является периодическая эксплуатация УЭЦН или в режиме кратковременной периодической эксплуатации (КПЭ), но при этом поддерживаемый динамический уровень жидкости в насосе не должен привести к безудержному росту его температуры (к состоянию «теплового удара» или режиму «солеотложений»).

Список литературы

1. Гареев А.А. О значении теплового режима в установках электроцентробежных насосов. Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса.- 2009.- №1.- С.23-26.
2. Гареев А.А. О предельном газосодержании на приеме электроцентробежного насоса. Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса.- 2009.- №2.- С.21-25.
3. Гареев А.А. О температурном режиме и явлении теплового удара в электроцентробежном насосе (в порядке обсуждения). Нефтяное хозяйство.- 2011.- №3.- С.122-126.
4. Гареев А.А. О значении давления на приеме электроцентробежного насоса. Нефтяное хозяйство.- 2012.- №10.- С.128-131.
5. Гареев А.А., Шарафутдинов Р.Ф., Валиуллин Р.А. О "релаксационных автоколебаниях" режима эксплуатации установок электроцентробежных насосов низкой производительности. Нефтепромысловое дело: НТЖ.- 2014.- №11.- С.42-50.
6. Булатов М.А.: Комплексная переработка многокомпонентных жидких систем. Из-во «МИР», 2004.
7. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти. М.: Из-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 2003.
8. Цветков Ф.Ф., Керимов Р.В., Величко В.М.: Задачник по теплообмену. Изд-ий дом МЭИ. 2010.
9. Кашавцев В.Е., Мищенко И.Т.: Солеобразование при добыче нефти. М. «ОРБИТА-М». 2004.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЦЕМЕНТНЫХ ПЕЧЕЙ

Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А.

БГТУ им. В.Г. Шухова, РФ, г. Белгород

Объем внутреннего рынка России позволяет отнести промышленность производства цемента, к числу приоритетных отраслей. Цементная промышленность является крупным потребителем энергетических ресурсов. Завод при средней производительность 2 млн. т. в год расходует топлива в пределах 300...400 тыс. т. и около 220...230 млн. кВт электроэнергии. Морально и технически устаревшее оборудование, применяемое на предприятиях, приводит к длительным простоям в ремонте и значительным перерасходам энергоносителей. При проектировании оборудования для производства клинкера не учитываются климатические условия его эксплуатации, не смотря на то, что климатические показатели оказывают значительное влияния на производительность, расход энергоресурсов, надежность, долговечность и ремонтпригодность оборудования.

На Каспском цементном заводе при эксплуатации цементной печи с 4x150 м. с рекуператорами, производительностью около 33 т/ч, постоянно наблюдался повышенный расход газа на тонну клинкера, систематически наблюдалось появление трещин на рекуператорах, особенно в зимнее время.

В результате печь простаивала длительные периоды в ремонте из-за восстановления рекуператоров печи и транспортеров клинкера.

Был произведен анализ работы цементной вращающейся печи, в результате чего было установлено, что цементная вращающаяся печь 4x150 с рекуператорным холодильником изготовлена без учета климатических условий ее эксплуатации в высокогорных условиях южной зоны.

Цементный завод расположен в долине Кавказских гор на высоте 800 метров от уровня моря. В зимнее время температура воздуха в долине может достигать до +15°C, а ночью опускаться до -15°C связи с тем, что долина окружена горами покрытыми снегом. Смена температуры окружающей среды происходит очень быстро особенно в утреннее и вечернее время. При ясной погоде, которая бывает значительную часть суток, печь находится под прямыми солнечными лучами, что значительно повышает температуру корпусов рекуператоров. Особенности климатических условий значительно влияют на объем, плотность и температуру воздуха, который подается в рекуператоры. Дымосос печи обеспечивает расход воздуха около 450 м³/мин при нормальном атмосферном давлении, т.е. он должен обеспечивать коэффициент избытка воздуха в пределах 1,05...1,25. В связи с тем, что предприятие находится над уровнем моря на высоте 800 м, это приводит к изменению давления, плотности, теплоемкости, вязкости и теплопроводности, а изменения атмосферного воздуха на высоте 800 м ухудшают химико-физические процессы проходящие внутри корпуса печи и снаружи. В летнее время солнечные лучи нагревают дополнительно корпус и

рекуператоры до 70...80°C. По результатам исследования было установлено, что из-за пониженного атмосферного давления, разница давления между атмосферным воздухом и разреженным меньше, чем в обычных условиях, что сказывается на снижении объема поступающего в печь воздуха, и его поступает в печь меньше, чем необходимо для обеспечения полного сгорания топлива; уменьшение плотности воздуха приводит к ухудшению теплоемкости и теплопроводности, а следовательно уменьшение скорости остывания клинкера, воздух не достаточно прогревается в рекуператорах, и возникает необходимость его подогрева в печи, а, следовательно увеличивается расход топлива; в связи с сухим климатом происходит уменьшение вязкости воздуха, а это приводит к ухудшению теплообмена и теплопроводности, снижается теплосъем с клинкера; значительные перепады ночных и дневных температур в зимнее время приводит к появлению трещин в рекуператорах горячей части цементной вращающейся печи.

С целью обеспечения работоспособности печи в условиях высокогорья была произведена переработка некоторых узлов печи на основании конструкторских и теплотехнических расчетов с учетом климатических условий завода [1]. Была разработана новая конструкция рекуператоров, проведена модернизация корпуса печи, на котором располагаются рекуператоры и введена дополнительная опора в конструкцию печи.

На старой печи были демонтированы рекуператоры размером 1,2х6м и ликвидирован участок корпуса печи с окнами для просыпи клинкера.

Вместо удаленного корпуса установлен усиленный удлиненный корпус 3 (рис. 1) с увеличенными окнами под просыпь клинкера.



Рис.1. Вид сбоку

1-дополнительная опора, 2-рекуператоры 2х13 м, 3-удлиненный корпус

Удлиненный корпус базируется бандажми на дополнительную опору 1 и приварен к старому корпусу печи. На новый корпус установлены рекуператоры размером 2х13 м. Удлиненный корпус заканчивается технологическим коридором 1 (рис.2).

Технологический коридор одним концом расположен на бетонной опоре, а второй, подвесной, введен в удлиненный корпус печи, что позволяет вводить горелку в печь, и машинисту контролировать процессы, происходящие в печи. Так как технологический коридор находится в зоне рекуператоров, установлены вентиляторы для продувки коридора.

Внутри рекуператора размещены полки (рис. 3), которые захватывают клинкер, и он падает с высоты 1,8 м на корпус и полки и не скапливается в единую массу на стенках рекуператора, что позволяет значительно снизить вероятность растрескивания клинкера при прохождении через рекуператор.



Рис. 2. Вид с разгрузочной стороны.
1-коридор технологический, 2-дополнительная опора.



Рис. 3. Внутренний вид рекуператора
1-корпус; 2-полки.

В результате модернизации печи получены следующие преимущества: производимый клинкер имеет абсолютно однородную структуру; разломанный клинкер быстрее охлаждается и повышается степень теплообмена; значительно снизилась температура на выходе клинкера из рекуператоров до 90...100°C; повысилась температура воздуха за счет его медленного движения, и это сказалось положительно на уменьшение расхода газа; клинкер лучше разламывается, уменьшается расход электроэнергии на его помол.

После годовой эксплуатации модернизированной цементной печи и на основании полученных положительных результатов, было принято решение об изготовлении и установлении новой печи такого же типа.

Список литературы

1. Федоренко М.А., [Конструктивно-технологические методы и способы восстановления работоспособности цементных вращающихся печей](#) монография / М. А.Федоренко. Белгород, 2007.

2. Федоренко М.А., [Цементная вращающаяся печь с рекуператорными холодильниками](#)/ Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А. патент на полезную модель RUS 71745 25.04.2007.
3. Федоренко М.А., [Проблемы повышения эффективности и работоспособности вращающихся агрегатов непрерывного цикла](#)/ Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Аулов В.Г., Маркова О.В., Антонов С.И. [Технология машиностроения](#). 2014. № 11. С. 46-49.
4. Бондаренко Ю.А., [Система устранения выброса пыли в атмосферу](#)/ Бондаренко Ю.А., Федоренко М.А., Санина Т.М., Афонин В.Г., Антонов С.И. [Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова](#). 2013. № 2. С. 67-68.
5. [CLINKER DUST EMISSIONS ELIMINATION IN ATMOSPHERE](#)/ Fedorenko M.A., Bondarenko J.A., Sanina T.M., Smirnykh A.P. [Advances in Environmental Biology](#). 2014. Т. 8. № 13. С. 84-88.
6. [Вращающаяся цементная печь](#)/ Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М., Маркова О.В. патент на полезную модель RUS 121561 19.03.2012
7. Федоренко М.А., [Модернизация цементной вращающейся печи с рекуператорными холодильниками](#)/ Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М., Маркова О.В. [Ремонт. Восстановление. Модернизация](#). 2015. № 4. С. 20-23..

СЕКЦИЯ №5.

ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.14.00)

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЛЕКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ РЕАГИРУЮЩИХ ДИФФУЗИОННЫХ МИКРОФАКЕЛЬНЫХ СТРУЙ

Носков Д.А., Гурьянов А.И.

РГАТУ им. П.А. Соловьева, г. Рыбинск

В классической камере сгорания, где степени сжатия и температура на выходе достаточно невысоки ($T \approx 1250$ К), а в первичной зоне реализуется процесс стехиометрического горения, его достаточно хорошо описывает модель диффузионного горения [1,2,3]. Наличие стехиометрической зоны ведёт к образованию высокотемпературных областей вблизи фронта пламени, которые с одной стороны стабилизируют горение, но с другой обуславливают высокую скорость образования оксидов азота [4,5]. Исходя из этого, одним из перспективных направлений развития газотурбинных двигателей является использование микрофакельной схемы горения топлива.

Основной отличительной особенностью микрофакельной модели горения является наличие коллективных эффектов взаимодействия струй. Эти эффекты слабо изучены и представляют интерес к их изучению с целью повышения рабочих параметров газотурбинной техники.

Для изучения отмеченных эффектов выполнены численные и экспериментальные исследования, в которых были получены характерные зависимости, описывающие газодинамику системы микрофакельных струй с учетом их взаимодействия.

Задачей проведения численного расчёта является выявление коллективных эффектов в системе микрофакельных диффузионных струй, а также определение характера поля течения, с последующим сравнением с характеристиками одиночной диффузионной затопленной струи.

Численное моделирование производилось в 2D стационарной постановке. Для расчёта была спроектирована схема с тремя подводами газа и выходными диаметрами – 3мм. Выходные сопла находятся друг от друга на расстоянии в 5,34 калибра. Расчёт производился при турбулентном режиме при $Re=12500$. Давление среды, в которую происходит истечение составляет 101325 Па.

На рисунках 1 и 2 приведены результаты численного расчёта для системы из 3 диффузионных струй при турбулентном режиме ($Re=12500$).

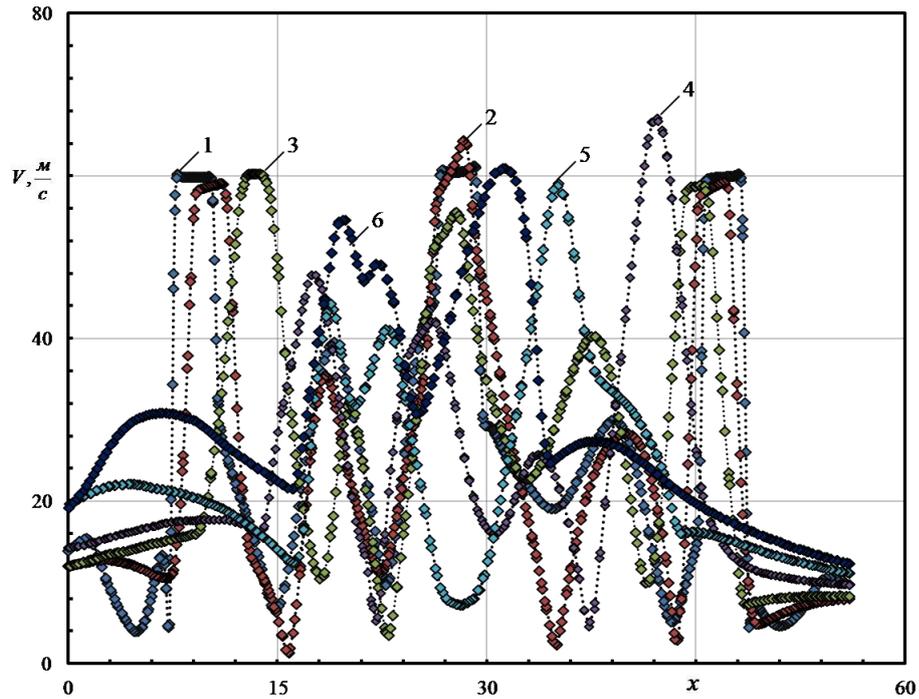


Рисунок 1 - Зависимость скорости истечения трёх согласованных струй при $Re=12500$ от координаты x .
 1 – скорость в сечении 0,33 калибра; 2 – скорость в сечении 2 калибра; 3 – скорость в сечении 3,67 калибра;
 4 – скорость в сечении 5,34 калибра; 5 – скорость в сечении 7 калибров; 6 – скорость в сечении 8,97 калибра;

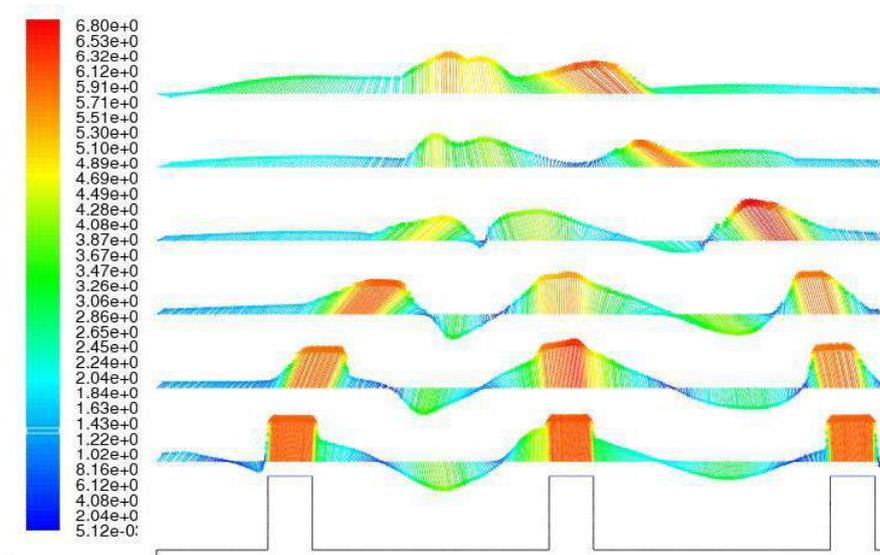


Рисунок 2 - Поле скоростей для трёх диффузионных струй при $Re=12500$

На приведенных результатах (рисунок 1-2) можно наблюдать наиболее ярко выраженный коллективный эффект системы струй. Связано это с тем, что с увеличением числа Re коллективные эффекты струй усиливаются. Характер распределения скорости на исходном сечении в 0,33 калибра мало чем отличается от поведения одиночной диффузионной струи. С расстояния в 2 калибра уже можно наблюдать характерное неравномерное распределение поля скорости, ввиду появления коллективных эффектов. Опять же, следует отметить, что в данной постановке численное моделирование не даёт точных и адекватных результатов, по которым можно бы было каким-то образом охарактеризовать коллективный эффект.

Проведя экспериментальное исследование по изучению коллективных эффектов диффузионных микрофакельных струй, были получены характеризующие параметры для оценки влияния коллективных

эффектов на характер течения струй. По полученным величинам были построены сравнительные зависимости между системой микрофакельных струй и одиночной струей. Данные функции представлены на рисунках 3-4.

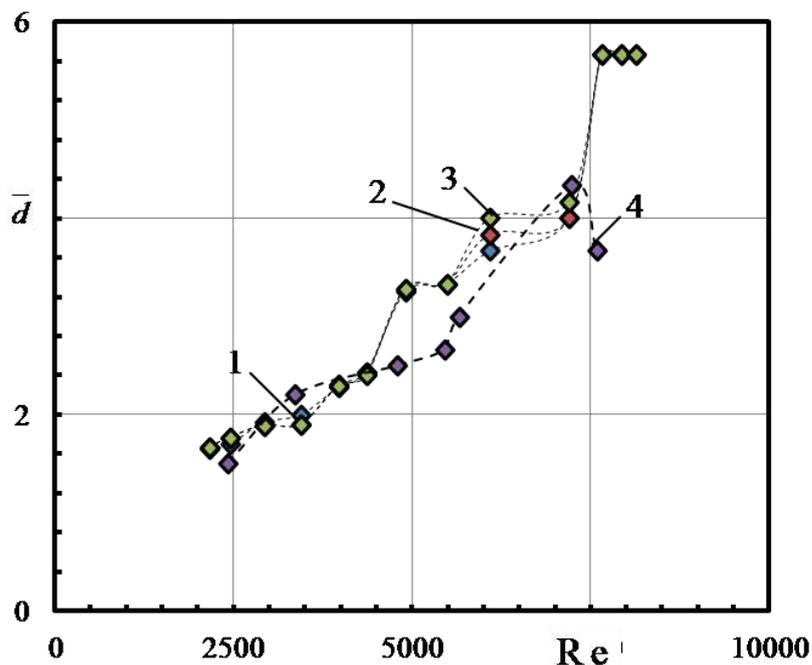


Рисунок 3 - Зависимость относительного диаметра от числа Re
1 – центральная струя; 2 – левая струя; 3 – правая струя; 4 – одиночная струя;

Функция представленная на рисунке 3 имеет выраженный нелинейный характер. На зависимости явно наблюдается минимальное отклонение значений струй состоящих в системе, что обусловлено наличием коллективных эффектов. При переходе системы струй из переходного режима в турбулентный наблюдается существенное увеличение относительного диаметра струй, чего нельзя сказать о одиночной струе. Максимумы длин струй состоящих в коллективе наблюдается при $Re=8500$, а для одиночной струи при $Re=7100$.

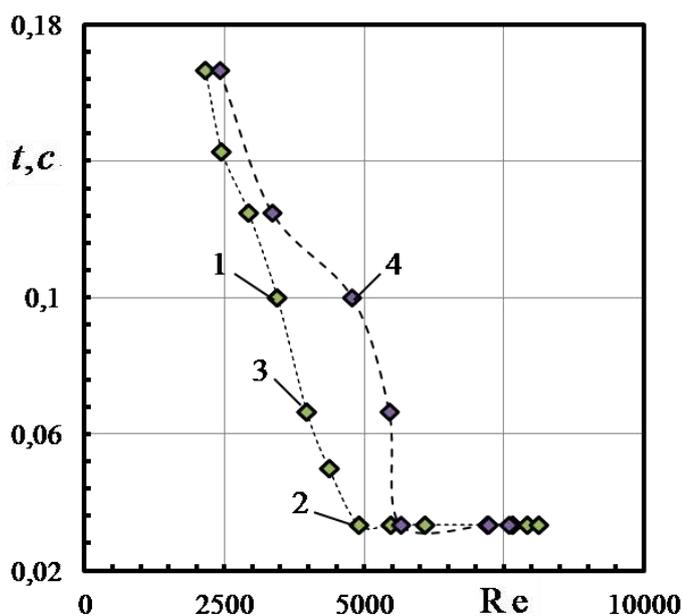


Рисунок 4 - Зависимость периода полного колебания струй от числа Re
1 – центральная струя; 2 – левая струя; 3 – правая струя; 4 – одиночная струя;

На зависимости периода колебания от числа Re , можно отметить линейный характер движения функции для коллектива струй от ламинарного режима до переходного. Зависимость для одиночной струи не имеет линейный характер в данной области, в области $Re=2750\dots 5000$ наблюдается характерный перегиб. Минимальный период совершения колебаний находится в диапазоне $Re=5000$ и более.

Список литературы

1. Гурьянов А. И. Вихревые горелочные устройства / А. И. Гурьянов, О. В. Казанцева, М. В. Медведева, Ш. А. Пиралишвили // Инженерный журнал. – 2005. – №5. – прил. – С. 8 – 15.
2. Пиралишвили Ш. А. Вихревые горелки с противотоком / Ш. А. Пиралишвили, А. И. Гурьянов // Конверсия в машиностроении – Conversion in machine building of Russia. – 2008. – № 1. – С. 11 – 16.
3. Гурьянов А. И. Экспериментальное и теоретическое исследование механизмов горения в ограниченном закрученном потоке / А. И. Гурьянов, Ш. А. Пиралишвили // Тепловые процессы в технике. – 2009. – Т.1-№5. – С. 170 – 177.
4. Gur'yanov A. I., Evdokimov O.A., Piralishvili Sh.A., Veretennikov S.V., Kirichenko R.E., Ievlev D.G. Analysis of the gas turbine engine combustion chamber conversion to associated petroleum gas and oil // Russian Aeronautics (Iz. VUZ). – New York: Allerton Press Inc., 2015. – №2. – Vol. 58. – P. 205-209.
5. Piralishvili Sh. A. Development and investigation of a vortex burner / Sh. A. Piralishvili, A. I. Gurianov, F. Ali // Nonequilibrium Processes. Vol. 1. Combustion and Detonation. Edited by G. D. Roy, S. M. Frolov, A. M. Starik. – Moscow: Torus Press Ltd., 2005. – P. 132 – 139.

СЕКЦИЯ №6.

ГОРНАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.05.00)

СЕКЦИЯ №7.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.16.00)

СЕКЦИЯ №8.

ТРАНСПОРТ И СВЯЗЬ, КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.22.00, 05.08.00)

СЕКЦИЯ №9.

АЭРО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.07.10)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ЗАБРОСА ВОДЫ В ПРОТОЧНУЮ ЧАСТЬ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ИМИТАЦИИ ПОПАДАНИЯ ДОЖДЯ

Гурьянов А. И., Евдокимов О. А., Гурьянова М. М., Веретенников С.В., Калинина К. Л.

**ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет
имени П. А. Соловьёва»**

Важной задачей на стадии комплексной доводки авиационного двигателя является его испытание в условиях полета: имитация процессов обледенения, проверка на попадание птиц во входной направляющий

аппарат, моделирование града, атмосферного ливня. Для организации последних условий, в силу их существенной нестационарности, необходимо обеспечение ряда модельных показателей, принятых при сертификации.

Необходимым условием применения систем, имитирующих воздействие на рабочий процесс двигателя атмосферного дождя является обеспечение комплекса требований по концентрации воды в воздухе, спектру распределения капель по размерам, значению среднегеометрического диаметра капель, расходным характеристикам форсунок и условиям динамического взаимодействия макродисперсного капельного потока с воздушным течением в воздухозаборник [1].

Для имитации дождя в модельной постановке необходимы условия, приводящие к многократному дроблению водяных струй, подаваемых в виде осесимметричных волнообразных жгутов или тонкой пленки из форсунок в поток воздуха на входе в двигатель [2].

Среднегеометрический диаметр капель составляет $2,66 \cdot 10^{-3}$ м. Верхняя $7,0 \cdot 10^{-3}$ м и нижняя $0,5 \cdot 10^{-3}$ м границы распределения капель по размерам, представленные на рисунке 1.1, обусловлены процессами коагуляции и распада, имеющими место при движении капель в воздушном потоке [3]. Интенсивность атмосферного дождя, выраженная в виде концентрации воды в 1 м^3 воздуха на рисунке 1.2, существенно зависит от высоты относительно уровня земли [1].

Допустимо применение капель воды, имеющих размер и распределение по размерам, отличные от представленных на рисунках 1.1 и 2.2, тех, если Заявитель покажет, что эта замена не приводит к ослаблению требований, предъявляемых к этим испытаниям [1].

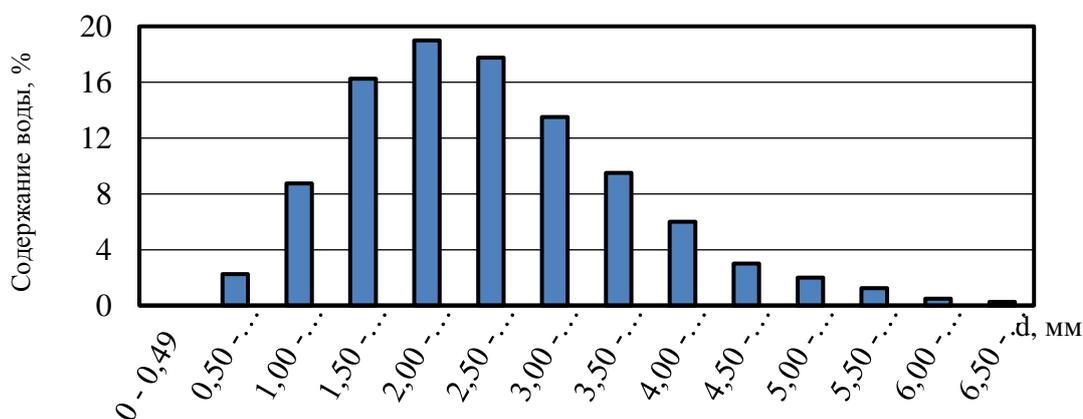


Рисунок 1 – Стандартное атмосферное распределение по размеру капель дождя

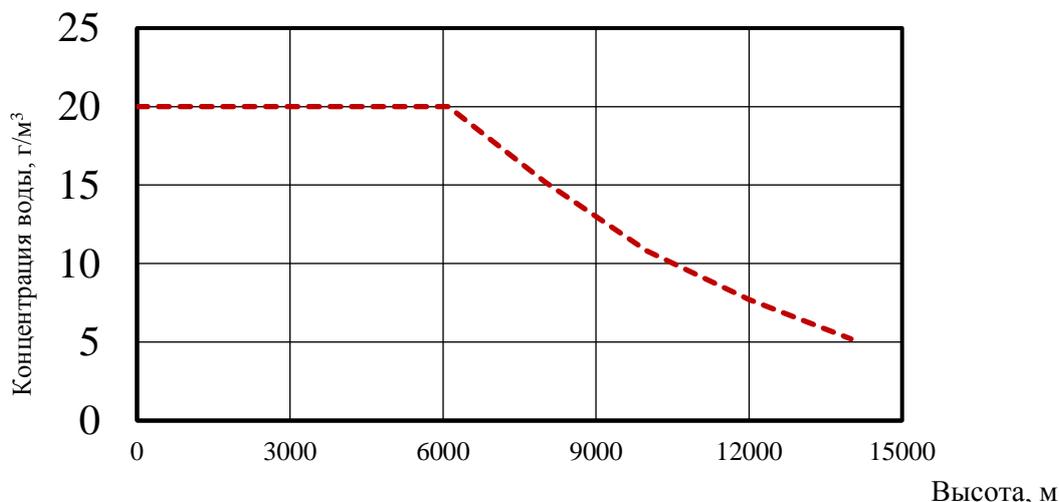


Рисунок 2 – Стандартная атмосферная концентрация воды в воздухе при дожде

Расчетные исследования параметров процесса имитации дождя

Для формирования капли медианного диаметра $2,66 \cdot 10^{-3}$ м необходимо время, равное $\tau = 0,0057$ с. Учитывая полидисперсность имитируемого дождя необходимо обеспечивать интегральное время полета каплей от сечения впрыска жидкости до среза сопла воздухозаборника не менее значения $\tau = 0,0243$ с. Требуемое значение времени полета можно достичь при значениях $R \geq 3$ м.

Разрушение границ капли и ее дробление на совокупность более мелких происходит при значениях $We \geq 10$. Допустимый для имитации атмосферного дождя диапазон значений числа We от 0 до 10. При этом условии расстояние, на котором капля не распадаясь достигнет двигателя составляет 5 м. На режиме «малый газ» этому расстоянию соответствует перепад давления на форсунке $\Delta p = 2,51 \cdot 10^5$ Па, для режима работы «взлет» $\Delta p = 10,85 \cdot 10^5$ Па. Параметры режимов работы приняты для двигателя ПД-14, создание которого находится на стадии сертификационных испытаний.

Требуемое количество форсунок, входящих в состав коллекторного модуля, для режима «малый газ» при выбранном значении перепада давления $\Delta p = 2,51 \cdot 10^5$ Па составило 14, для режима «взлет» при $\Delta p = 10,85 \cdot 10^5$ Па – 28.

Суммарный расход воды, забрасываемой в двигатель на промежуточных режимах работы, обеспечивается последовательным подключением двух независимых по давлению коллекторов, включающих по 15 форсунок каждый.

На стационарном режиме «малый газ» имитация ливня выполняется с использованием первого коллектора, работающего при перепаде давления $\Delta p = 2,51 \cdot 10^5$ Па. В момент времени $\tau = 7$ с включается второй коллектор и к $\tau = 8$ с при перепаде давления $0,67 \cdot 10^5$ Па он добавляет в поток $0,97$ кг/с воды. К моменту времени $\tau = 10$ с оба коллектора выводятся на одинаковые режимы по перепаду давления и расходу воды, забрасывая в двигатель по $3,83$ кг/с жидкости каждый. В интервале времени от 10 до 15 с перепад давления поднимается до значения, соответствующего режиму «взлет» $\Delta p = 10,85 \cdot 10^5$ Па на каждом из коллекторов, определяя суммарный расход воды на оба коллектора $7,89$ кг/с.

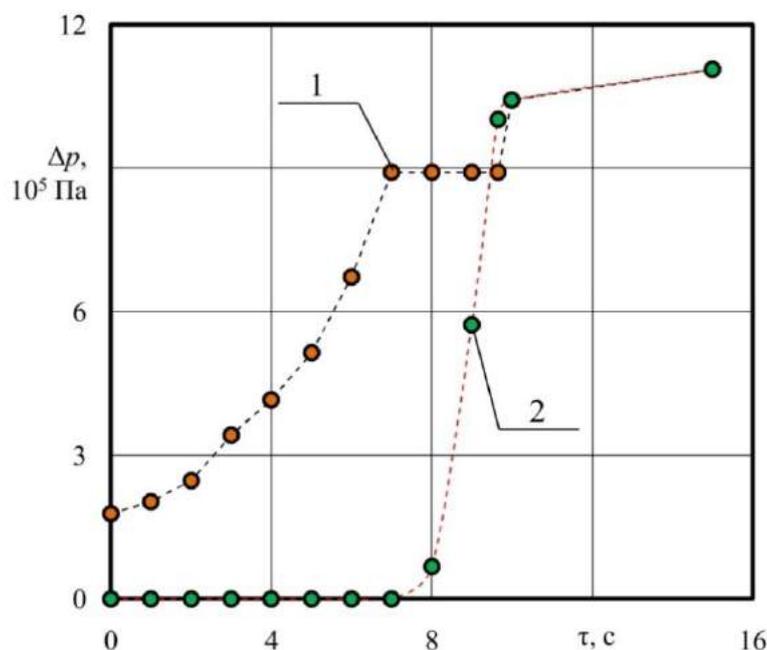


Рис. 3. Динамика изменения перепада давления на соплах форсунок на переходных режимах работы двигателя: 1 – расход через 1-й коллектор; 2 – расход через 2-й коллектор.

Результаты экспериментального исследования образцов форсунки для имитации дождя

Для исследования характеристик макрокапельного потока разработаны и изготовлены пять опытных форсунок. Основные отличия заключаются в диаметре центрального отверстия и размерах поперечной канавки.

Доработка одной из опытных форсунок позволила получить демонстрационный образец, обеспечивающий средний медианный диаметр $2,662 \cdot 10^{-3}$ м и диапазон диаметров макрокапельного потока, соответствующий сертификационному спектру от $0,5 \cdot 10^{-3}$ м до $7 \cdot 10^{-3}$ м при перепаде давления в форсунке

$\Delta p = 2,35 \cdot 10^5$ Па (соответствует давлению воды на входе в форсунку $3,363 \cdot 10^5$ Па при её истечении в стандартную атмосферу).

Разработана схема коллекторного модуля испытательного стенда для имитации дождя. Коллекторный модуль состоит из двух независимых коллекторов в форме многоугольных кольцевых магистралей ($d_y = 0,1$ м) с радиальными ответвлениями ($d_y = 0,04$ м). Коллекторы содержат по 15 форсунок каждый.

Имитация дождя может быть осуществлена на режимах «малый газ» и «взлет» с условием одновременного обеспечения концентрации воды в воздухе $0,02$ кг/м³ и значения среднего медианного диаметра капель $2,66 \cdot 10^{-3}$ м, а также работу на переходных режимах между «малый газ» и «взлет» с условием поддержания концентрации воды в воздухе $0,02$ кг/м³.

Список литературы

1. Авиационные правила АП-33. Нормы летной годности двигателей воздушных судов [Текст]. – «АВАИЗДАТ», 2012. – 78 с.
2. Калинина К. Л. Разработка и исследование устройства для имитации атмосферного дождя при проведении сертификационных испытаний авиационных двигателей [Текст] / К.Л. Калинина, А.И. Гурьянов // Тезисы 15-й Международной конференции «Авиация и космонавтика – 2016». – Москва, МАИ. – 2016. – С. 276 – 278.
3. Gur'yanov A. I. Analysis of the gas turbine engine combustion chamber conversion to associated petroleum gas and oil / A. I. Gur'yanov, O. A. Evdokimov, Sh. A. Piralishvili, S. V. Veretennikov, R. E. Kirichenko, D. G. Ievlev // Russian Aeronautics (Iz. VUZ). – New York: Allerton Press Inc., 2015. – №2. – Vol. 58. – P. 205 – 209.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОЙ НЕССИМЕТРИЧНОСТИ ЭПЮРЫ СКОРОСТИ НА ВХОДЕ В КОЛЬЦЕВУЮ КАМЕРУ СГОРАНИЯ ГТД

Гурьянова М.М., Тимофеева К.Р.

РГАТУ имени П.А. Соловьева, РФ, г. Рыбинск

Одной из основных задач производителей авиационной и энергетической техники является задача совершенствования аэродинамики проточной части двигателя и его узлов, при этом возникает необходимость изменения геометрических профилей стенок жаровой трубы, охлаждающих каналов, поясов ввода охлаждающих струй и перераспределения расхода воздуха между характерными зонами камеры сгорания. Возможность такой модернизации камеры сгорания требует исследования аэродинамических характеристик и структуры течения в диффузоре с учетом влияния начальных и граничных условий.

Качество организации рабочего процесса камеры сгорания сводится к созданию требуемой структуры потока, зависящей от конкретного конструктивного исполнения ее проточной части и отдельных, геометрически условно разделенных элементов: диффузора, форсуночно-горелочного модуля, зон горения и разбавления. В газотурбинных двигателях поток на входе в отрывной диффузор камеры сгорания имеет несимметричную эпюру скорости, что связано с влиянием нестационарного взаимодействия последней ступени компрессора и направляющего аппарата и остаточной закруткой потока [1], [4].

Исследование влияния неравномерности профиля скорости на выходе из компрессора на характеристики диффузора требует постановки аэродинамического эксперимента.

Задачи восстановления геометрии по заданному полю скорости являются обратными задачами газовой динамики, оптимальным решением которых является применение методов численного моделирования, позволяющих просчитать поле течения для нескольких вариантов геометрии и выбрать ту, которая удовлетворяет требуемым условиям по несимметричности входной эпюры скорости на входе в диффузор камеры сгорания [2]. Это достигается изменением геометрии входного участка с помощью установки в проточной части генераторов несимметричности (рис. 1), которые перекрывают сечение канала, создавая необходимый профиль скорости. Моделируемый входной участок располагается выше по потоку.

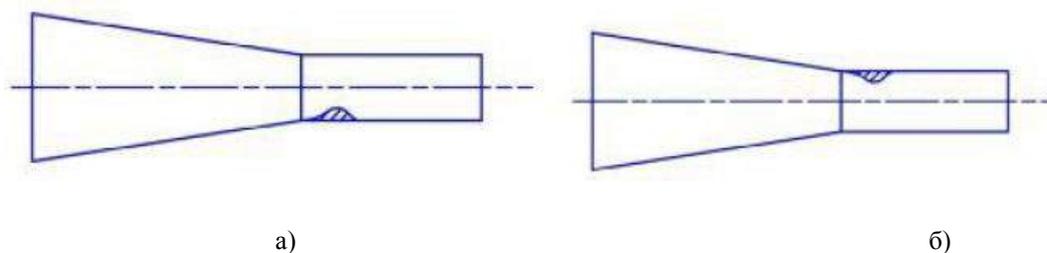


Рис.1. Генераторы несимметричности: а) $K > 1$; б) $K < 1$

Для оценки неравномерности распределения скорости перед отрывным диффузором использовался коэффициент несимметричности:

$$K = \frac{W_{cp}^{\epsilon}}{W_{cp}^{\eta}} \quad (1)$$

W_{cp}^{ϵ} – среднерасходная скорость потока в верхнем кольцевом канале;

W_{cp}^{η} – среднерасходная скорость потока в нижнем кольцевом канале.

Полученные в численном моделировании эпюры скорости с разными значениями коэффициента несимметричности необходимы для проведения численного исследования влияния отмеченного параметра K на интегральные аэродинамические характеристики отрывного диффузора:

- коэффициент гидравлических потерь, представляющий отношение потерь полного давления к скоростному напору во входном сечении диффузора

$$\xi = \frac{P_{вх}^* - P_{вых}^*}{\frac{\rho w^2}{2}} \quad (2)$$

$P_{вх}^*$ - полное давление на входе в диффузор,

$P_{вых}^*$ - полное давление на выходе из диффузора,

ρw^2 - динамический напор на входе в диффузор.

- коэффициент потерь полного давления

$$\sigma = \frac{P_{вых}^*}{P_{вх}^*} \quad (3)$$

- коэффициент восстановления статического давления, характеризующий степень преобразования динамического напора в потенциальную энергию давления

$$\beta_p = \frac{P_{вх} - P_{вых}}{\frac{\rho w^2}{2}} \quad (4)$$

$P_{вх}$ - осредненное статическое давление на входе в диффузор,

$P_{вых}$ - осредненное статическое давление на выходе из диффузора.

Для постановки численного исследования выполнена 3D-модель входного участка с генераторами несимметричности $1 \leq K \leq 1$. Расчетная область составляет около 250 000 ячеек. При проведении численного моделирования газодинамики потока рассматривалось турбулентное течение вязкого газа в

декартовой системе координат. В качестве граничных задавались условия прилипания и адиабатности течения вблизи стенок, полное и статическое давление на входе, статическое давление на выходе.

Течение описывалось осредненными по Рейнольдсу уравнениями Навье-Стокса:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{U}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{U}_j \bar{U}_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + f_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu_{\text{eff}} \left(\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu_{\text{eff}} \frac{\partial \bar{U}_l}{\partial x_l} \delta_{ij} \right), \quad (5)$$

- неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{U}_j) = 0, \quad (6)$$

- сохранения энергии

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{U}_j h) = \frac{\partial p}{\partial t} + U_j \frac{\partial p}{\partial x_j} - \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial Q_j}{\partial x_j}, \quad (7)$$

- состояния

$$p = \rho \cdot R \cdot T \quad (8)$$

Моделирование турбулентного переноса осуществлялось с помощью низкорейнольдсовой двухпараметрической $k-\omega$ SST модели турбулентности с разрешением пограничного слоя и использованием пристеночных функций.

На рисунках 2, 3 представлена структура трехмерного течения потока воздуха за компрессором, т.е. на входе в диффузор. Видно, что в кормовой части искусственного возмущения поля течения образуется отрывная рециркуляционная зона, которая замыкается выше по потоку сечения входного сечения диффузора. Это позволяет использовать выбранные геометрии входного участка для искажения эпюры скорости на входе в отрывной диффузор и исключить возможность влияния на нее отмеченной отрывной зоны, что крайне важно для проведения экспериментальных исследований.

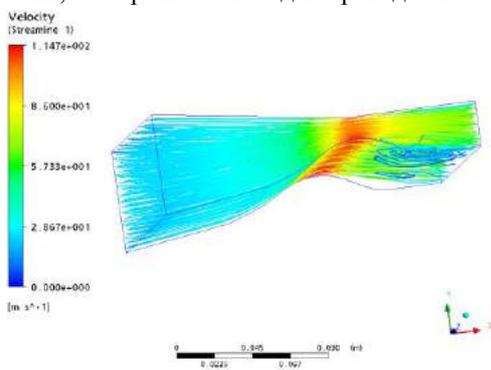


Рис. 2. Структура течения на входе в диффузор при $K = 4,66$

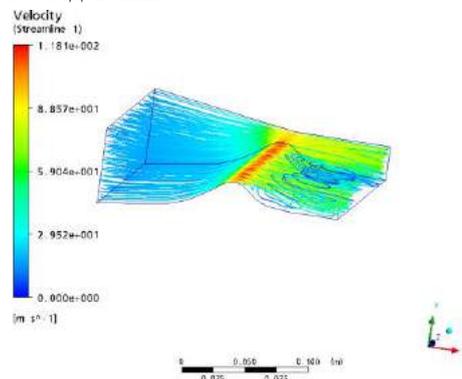


Рис.3. Структура течения на входе в диффузор при $K = 6,45$

На рисунке 4 показан симметричный профиль скорости турбулентного течения на выходе из модели входного участка и поле скорости на рисунке 5 в моделируемом входном участке при $K = 1$.

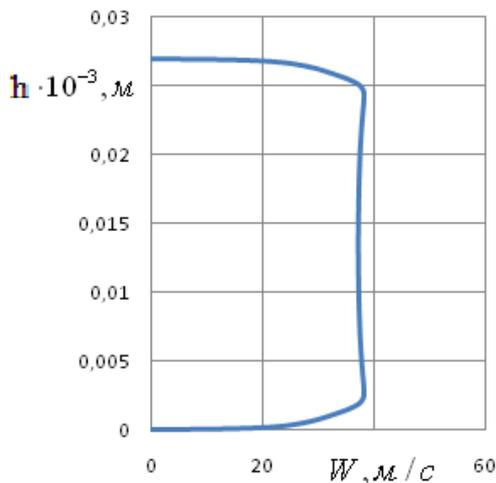


Рис.4. Профиль скорости на входе в диффузор при $K = 1$

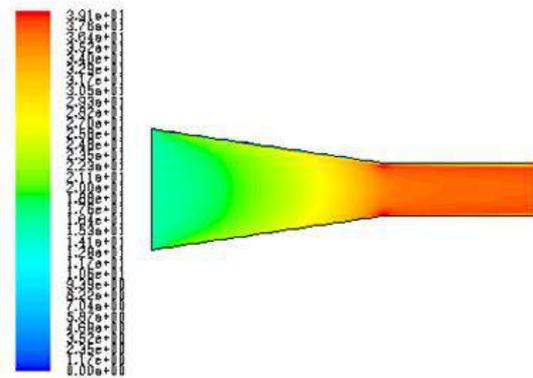


Рис. 5. Поле скорости на входе в диффузор при $K = 1$

В результате численного моделирования получены профили скорости на входе в отрывной диффузор, сравнение которых при коэффициентах несимметричности $0,78 \leq K \leq 6,45$ представлено на рис. 2

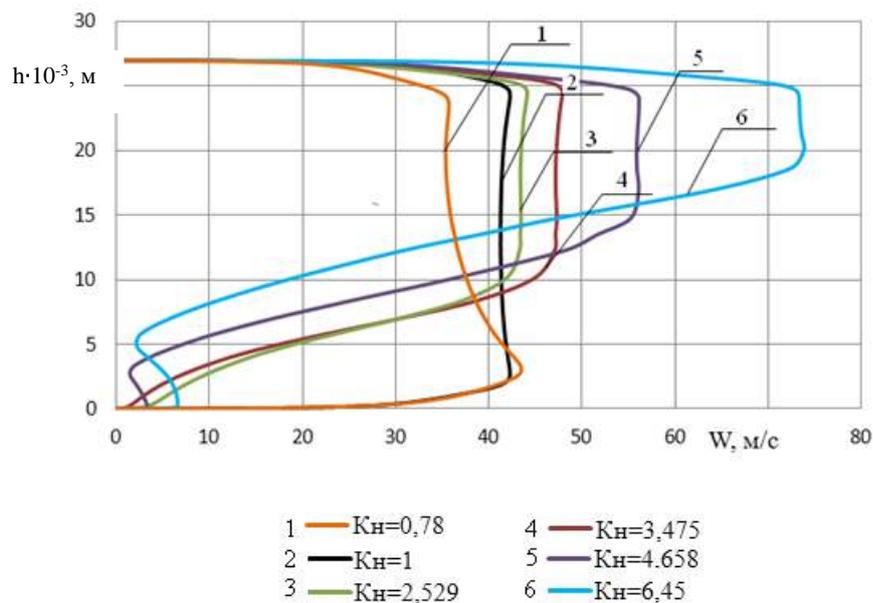


Рис.2. Эпюры скорости на входе в диффузор

Видно, что несимметричный относительно оси канала характер моделируемой эпюры скорости увеличивается с ростом коэффициента несимметричности K .

В обоих случаях установки генераторов несимметричности во входном участке формируются турбулентные несимметричные при $1 < K < 1$ и неискаженная (симметричная) при $K = 1$ эпюры скорости, что позволяет использовать полученные результаты для исследований газодинамики течения в диффузоре камеры сгорания при учете отмеченного фактора K [3].

Список литературы

1. Адкинс, Р. К. Влияние профиля скорости за компрессором на распределение воздуха по кольцевой камере сгорания [Текст] / Р. К. Адкинс // Энергетические машины. 1978. Т. 10. № 3. С. 55-63

2. Гурьянова, М. М., Пиралишвили Ш. А., Веретенников С. В. Аэродинамика камеры сгорания с отрывным диффузором // Авиакосмическое приборостроение. 2009. № 11. С. 1-7
3. Гурьянова, М. М., Пиралишвили Ш. А. Влияние входной несимметричности профиля скорости и начальной интенсивности турбулентности на гидравлику отрывного диффузора камеры сгорания ГТД // Авиационная техника. 2016. №2. С.38-45
4. Демидов, С. А. Исследование гидравлических потерь в диффузорах камер сгорания ГТД [Текст] / С. А. Демидов // Труды ЦИАМ. – 1965. № 321. – 29 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЖИГАНИЯ СМЕШАННОГО И СИНТЕТИЧЕСКОГО ТОПЛИВА В ПРОТИВОТОЧНОМ ГОРЕЛОЧНОМ УСТРОЙСТВЕ

Гурьянов А.И., Пиралишвили Ш.А., Кононова В.В., Евдокимов О.А., Гурьянова М.М., Бурцев В.А.

РГАТУ им. П.А. Соловьева, г. Рыбинск

Совершенствование процессов сгорания топлива в камерах сгорания ГТУ, привело к созданию большого количества различных горелочных устройств, использующих закрутку потока. В работах [1 – 8] приведены исследования показывающие, что применение особенностей диафрагмированных ограниченных закрученных течений позволяет увеличить время пребывания топливовоздушной смеси в зоне высокой температуры и повысить устойчивость горения в «бедной» области по составу смеси за счет организации в проточной части горелочных устройств газодинамического противотока вихрей, а так же развитых крупномасштабных рециркуляционных течений. Сложность и многофакторность отмеченных процессов определяет актуальность дальнейших исследований горения в противотоке с использованием смешанных топлив, перспективных для развивающихся энергетических технологий. Основы фундаментальных и прикладных аспектов интенсификации горения с использованием особенностей вихревых противоточных течений изложены в работах [1, 4, 6].

Одним из перспективных вариантов конструкции горелочных модулей является противоточный горелочный модуль, схема которого представлена на рис. 1.

Ужесточение норм на эмиссию NO_x , C_xH_y и CO энергоустановками определяют актуальность разработки экологически чистых камер сгорания на синтетическом топливе.

Практика перевода устройств горения на альтернативные виды топлива, в том числе синтез-газ, получаемый одним из методов термического разложения газообразных углеводородов показывает, что на сегодняшний день существуют две основные концепции организации рабочего процесса камеры сгорания.

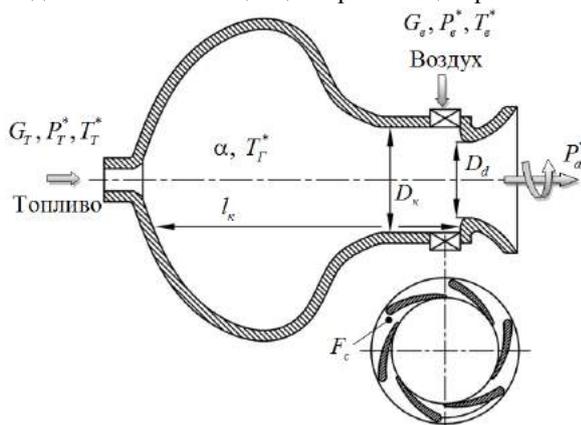


Рис. 1. Схема противоточного горелочного модуля.

Одна из них подразумевает создание пилотного пламени реагирующей смеси синтез-газа с воздухом, выполняющего функцию стабилизации горения обедненной предварительно перемешанной топливовоздушной смеси. Вторая концепция подразумевает полную замену всех горелочных модулей предварительного смешения, применяемых в DLN-камерах сгорания на модули-генераторы синтез-газа. При этом отмеченной схеме присущи все недостатки предыдущей, связанные с проскоком пламени и низкой энергетической эффективностью установки, но она позволяет обеспечить достижение ультранизкой эмиссии оксидов азота при высокой полноте сгорания топлива. Переход на новый принцип организации горения в

камере сгорания газотурбинной установки, лишенный большинства недостатков схем бедного горения, в том числе и с использованием синтез-газа, возможен на основе противоточной газодинамической схемы организации смешения и горения в камере. Это требует разработки горелочных модулей камер сгорания ГТД, работающих на топливных смесях метана с синтез-газом в «ультрабедной» области по составу смеси, с низкой эмиссией загрязняющих атмосферу веществ NO_x , CO , C_xH_y .

Интегральные эффекты влияния добавок синтез-газа к метану на эмиссионные характеристики горения в противоточной камере сгорания приведены на рис. 4. Видно, что перевод камеры сгорания на синтез-газ (рис. 2, кривая 3) сопровождается двукратным снижением эмиссии NO_x во всем концентрационном диапазоне устойчивого горения, относительно горения метана (рис. 2, кривая 1). Поскольку устойчивое горение синтез-газа наблюдается в более широком диапазоне по коэффициенту избытка воздуха. На рис. 2 значение NO_x при горении синтез-газа ограничены $\alpha = 5$, поскольку при дальнейшем «обеднении» смеси до границы срыва пламени значение NO_x находится в нуле как и в представленном диапазоне по коэффициенту избытка воздуха от 1,57 до 5.

Объемная добавка синтез-газа в количестве 15% позволяет сократить эмиссию NO_x при горении в условиях противотока в 1,5 раза относительно горения метана во всем диапазоне по коэффициенту избытка воздуха. Это подтверждает целесообразность применения топливных смесей метана с синтез-газом для снижения эмиссии оксидов азота в перспективных камерах сгорания газотурбинных двигателей, работающих на синтетических топливах.

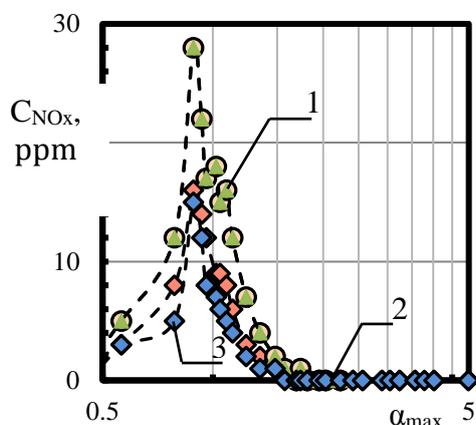


Рис. 2. Зависимость относительной концентрации NO_x в продуктах сгорания от коэффициента избытка воздуха: 1 – при сжигании чистого метана; 2 – при сжигании смеси (метан и синтез-газ) с объемной долей добавки синтез-газа равной 15%; при сжигании чистого синтез-газа.

Результаты, приведённые на рис. 3, характеризуют зависимость CO и C_xH_y для метана (кривые 1,2) и синтез-газа (кривые 3,4) во всем диапазоне режимов устойчивого горения по коэффициенту избытка воздуха.

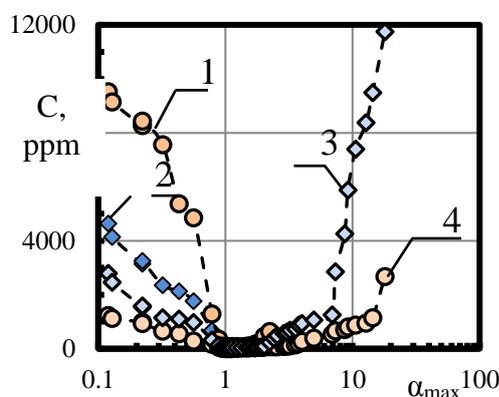


Рис. 3. Зависимость относительной концентрации вредных веществ в продуктах сгорания от коэффициента избытка воздуха: 1 – концентрация C_xH_y при сжигании чистого метана; 2 – концентрация CO при сжигании чистого метана; 3 – концентрация CO при сжигании чистого синтез-газа; 4 – концентрация C_xH_y при сжигании чистого синтез-газа.

Перевод камеры сгорания с метана на синтез-газ сопровождается существенным уменьшением концентрации CO и C_xH_y . В диапазоне по α от 0,15 до 1 горение метана сопровождается уменьшением эмиссии C_xH_y (кривая 1) от 9 500 ppm до 85 000 ppm, в то время как при горении синтез-газа концентрация несгоревших углеводородов уменьшается от 1 230 ppm до 2 ppm. При α равном 0,15 концентрация несгоревших углеводородов в продуктах сгорания синтез-газа в воздухе в 7,7 раз меньше соответствующей концентрации при горении метана. В случае стехиометрического горения, при $\alpha = 1,02$, концентрация несгоревших углеводородов в продуктах сгорания синтез-газа по сравнению со сжиганием метана, уменьшается в 42 раза.

Если сравнивать концентрацию монооксида углерода, отношение $CO_{(CH_4)} / CO_{(c.g.)}$ составляет 3,75 при α равном 0,15 и $CO_{(CH_4)} / CO_{(c.g.)}$ равном 2,3 при $\alpha = 1,02$. При горении синтез-газа в области «ультрабедных» составов смеси $5 < \alpha < 18$ наблюдается значительное увеличение концентрации CO и C_xH_y , при этом в диапазоне α от 5 до 7 функция $C_xH_y = f(\alpha)$ растёт монотонно, при $\alpha = 7$ резко меняется её тангенс угла наклона и начинается лавинообразный рост концентрации несгоревших углеводородов при дальнейшем «обеднении» смеси и приближении к границе «бедного» срыва пламени.

В количественном выражении концентрация C_xH_y (кривая 3, рис. 5) растёт от 1 250 до 11 750 ppm. Это говорит о том, что в области «ультрабедных» смесей горение углеводородов практически прекращается, а тепло экзотермической реакции, обеспечивающее устойчивость горения, выделяется при окислении водорода, входящего в состав синтез-газа. Аналогичным образом в «ультрабедной» области ведёт себя функция $CO_{c.g.} = f(\alpha)$. Отличие заключается в том, что резкое изменение тангенса угла наклона функции, характеризующее «остановку» реакции окисления CO до CO₂ происходит при $\alpha \approx 13$.

Перевод противоточной камеры сгорания на синтез-газ позволяет сократить выбросы углеводородов, монооксидов углерода, оксидов азота во всем диапазоне избытка воздуха.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №16-08-00974 «Развитие модельного описания тепломассообменных процессов в закрученных ограниченных течениях и его применение при создании устройств перспективных технологий».

Список литературы

1. Бирюк В. В., Веретенников С. В., Гурьянов А. И., Пиралишвили Ш. А. Вихревой эффект. Технические приложения. Том 2 (Часть 1). М.: Научтехлитиздат, 2014. 288 с.
2. Гурьянов А. И. Экспериментальное и теоретическое исследование механизмов горения в ограниченном закрученном потоке / А. И. Гурьянов, Ш. А. Пиралишвили // Тепловые процессы в технике. – 2009. – Т.1-№5. – С. 170 – 177.
3. Гурьянов А. И. Вихревые горелочные устройства / А. И. Гурьянов, О. В. Казанцева, М. В. Медведева, Ш. А. Пиралишвили // Инженерный журнал. – 2005. – №5. – прил. – С. 8 – 15.
4. Пиралишвили Ш. А. Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения / Ш. А. Пиралишвили, В. М. Поляев, М. Н. Сергеев; под ред. Леонтьева А. И. – М.: УНПЦ «Энергомаш», 2000. – 412 с.
5. Пиралишвили Ш. А. Вихревые горелки с противотоком / Ш. А. Пиралишвили, А. И. Гурьянов // Конверсия в машиностроении – Conversion in machine building of Russia. – 2008. – № 1. – С. 11 – 16.
6. Пиралишвили Ш. А., Веретенников С. В. Вихревой эффект и интенсификация процессов тепло и массообмена в элементах энергетической техники // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королёва (национального исследовательского университета), 2011. №3-1 (27). С 241-247.
7. Piralishvili Sh. A. Development and investigation of a vortex burner / Sh. A. Piralishvili, A. I. Gurianov, F. Ali // Nonequilibrium Processes. Vol. 1. Combustion and Detonation. Edited by G. D. Roy, S. M. Frolov, A. M. Starik. – Moscow: Torus Press Ltd., 2005. – P. 132 – 139.
8. Gur'yanov A. I., Evdokimov O.A., Piralishvili Sh.A., Veretennikov S.V., Kirichenko R.E., Ievlev D.G. Analysis of the gas turbine engine combustion chamber conversion to associated petroleum gas and oil // Russian Aeronautics (Iz. VUZ). – New York: Allerton Press Inc., 2015. – №2. – Vol. 58. – P. 205-209.

СЕКЦИЯ №10.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.23.00)

ЕВРОПЕЙСКИЙ ОПЫТ УТЕПЛЕНИЯ НАРУЖНЫХ СТЕН ЗДАНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛОГО ФОНДА

Гвозков П.А.

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», РФ, г. Орёл

В 60-е - 80-е годы индустриальными методами осуществлялось массовое строительство жилья в странах Европы (Франция, Италия, Германия и др.). При эксплуатации возникли трудности с санацией жилищного фонда данных стран.

Одной из стран которая сделала попытку это в Германия. Рассмотрим санацию жилищного фонда на примере Берлина. Берлинские районы массовой застройки панельными домами возникли во второй половине XX века. Построенные дома, имеют ряд проблем, такие как: плохое состояние несущих конструкций, инженерного оборудования и сетей; архитектурное единообразие; затруднительный процесс перевода ЖКХ на рыночные отношения.

Потенциал развития существующих микрорайонов используется слабо, привлекательность и ценность которых заключается в таких объективных факторах, как: близость к городским рекреационным зонам; большие незастроенные пространства; развитая социальная инфраструктура; наличие площадей для дополнительного строительства; возможность модернизации зданий; социально активное население.

В 1991 году после объединения Германии властями Берлина было принято решение о приведении в порядок всех жилых массивов города, включая комплексную реконструкцию и капитальный ремонт многоквартирных домов, возведенных методом индустриального домостроения из готовой панели. Для приведения в порядок берлинских панельных домов был установлен сроки в 10 - 15 лет, поскольку увеличение сроков ремонта за эти рамки сделало бы санацию вследствие прогрессирующего физического разрушения зданий экономически невыгодной.

Политические, экономические и технические решения в отношении фонда панельных домов были направлены прежде всего на его сохранение при одновременной архитектурно-планировочной и технологической модернизации в целях обеспечения комфортных условий проживания граждан. По результатам обследования строений в 1991 году и на основании сделанных расчетов стало ясно главное: жилью в районах массовой застройки можно санировать в среднем за четверть стоимости того, что потребовалось бы на новое строительство.

После проведения ремонтных работ по утеплению стен и герметизации окон в Германии возникла новая проблема - массовое распространение плесени в жилых домах. Эксплуатация этих домов показала, что увлечение сбережение тепла привело к распространению плесени на обоях через две недели после окончания работ по утеплению стен и герметизации окон.

В жилье объем воздуха должен обновляться ежечасно. Ежедневно в жилище образуется от 8 до 15 литров паров бытовой влаги в результате человеческого дыхания, пользования душем, ванной, кухонной плитой, поливкой цветов. Все эти испарения должны выводиться наружу. Отсутствие естественного паропроницания стен наносит вред жилью из-за бурного развития грибковой плесени в условиях повышенной влажности. Застой влаги в помещении образуется при использовании полимерных утеплителей (пенопласты) или минеральных утеплителей с полимерным связующим (минплита, Rockwool, Isover, URSA). В порах минеральных утеплителей по законам физики за счет повышенного давления насыщенного пара неизбежно конденсируется влага, и воздушные поры материала заполняются водой. Намокшая "минплита" не высыхает и в ней развиваются грибки гниения. Стены, утепленные полимерными или полимерсодержащими утеплителями, не дышат.

В Европе решили проблему паропроницания (дыхания) утепленных стен. Там отдают предпочтение натуральному утеплителю из древесного волокна - целлюлозному утеплителю. Капилляры древесных волокон пропускают влагу через себя и передают ее наружу, она не скапливается между волокнами.

Институтом "Термоизоляция" (Вильнюс, Литва) в 1999...2001 годах выполнены исследования влажности утеплителя из древесного волокна "Эковата" в кирпичных стенах ("Строительные материалы" № 7, 2001г.). Данные исследований показали, что в слое "Эковаты" влага не накапливается, а выходит наружу в

атмосферу. Это подтверждается не только исследованиями, но и практикой применения облегченных кирпичных стен с утеплителем из "Эковаты" в Финляндии, Швеции, Англии, Германии, США и Канаде, где пароизоляция и воздушная прослойка между наружным слоем из кирпича и утеплителем не предусматривается.

С 2002 года в Германии действует "Предписание по энергосбережению", которое устанавливает принятые в странах Европы правовые предписания по улучшению строительных материалов для энергосбережения, и где говорится следующее: "...экономия издержек потребления энергии особенно эффективна и биологически рациональна при помощи изоляции целлюлозой при применении способа строительства, открытого для диффузии...", то есть для выхода пара и углекислого газа наружу.

Важным требованием по обеспечению герметичности теплоизоляционного слоя - монтаж утеплителя - "напылением" и "швы" отсутствуют.

Объем потребления целлюлозного утеплителя в Европе, США и Канаде растет ежегодно на 20...30%. В Швейцарии потребность в целлюлозном утеплителе (у них он называется "Изофлок") увеличивается более, чем в 2 раза за год. В Германии работают заводы по выпуску целлюлозного утеплителя и выдувных машин по монтажу целлюлозного утеплителя. В Финляндии и в США большое количество заводов работают по производству утеплителя и машин для его монтажа.

Целлюлозный утеплитель "Эковата" является квалифицированной и технически безупречной теплоизоляцией, отвечающей самым высоким экологическим и биологическим требованиям в строительстве - это единственный утеплитель, занесенный "Международным экологическим фондом" в реестр "Экологически чистая (натуральная) и безопасная продукция".

"Эковата" поставляется с завода упакованной в полиэтиленовые мешки весом 15 кг в подпрессованном виде, занимая в 3 раза меньший объем, чем в утепленной конструкции. При этом втрое повышается эффективность транспортировки утеплителя. Подача эковаты в конструкцию может осуществляться двумя способами: при малых объемах утепления - ручным способом, при значительных объемах - пневмотранспортом с помощью выдувной установки.

При ручном способе: "эковату" из мешка высыпают в бадью, разрыхляют перемешиванием с помощью ручной электромешалки в течение нескольких минут, затем раскладывают на утепляемую поверхность рис. 1-а. При механизированной подаче используется выдувная установка X-Floc (Германия).



Рис. 1

Оборудование предназначено для подачи различных волокнистых материалов рис. 1-б (целлюлозных и минеральных волокон) в строительные конструкции (стены, перекрытия, кровли) при строительстве новых зданий, реконструкции и утеплении существующих. "Эковата" из мешков высыпается в приёмный бункер установки, где она механическим способом разрыхляется и пневматически подаётся по шлангам к месту укладки на расстояние до 150 м по горизонтали и до 30 м по вертикали.

Благодаря нанесению методом пневмонапыления, эковата проникает в самые труднодоступные полости и зазоры, образуя непрерывный и бесшовный теплоизоляционный контур, не требуя разборки существующих конструкций в случае утепления уже эксплуатируемых домов, зданий и сооружений. Такого результата невозможно достичь при использовании минераловатных и других плитных утеплителей.

Учитывая вышеизложенное при производстве работ по утеплению "эковатой" полностью отсутствуют отходы утеплителя, не нарушается привычный режим проживания в утепляемом доме, утепление происходит без разборки конструкции, снижается себестоимость объекта строительства.

Учитывая эко-логичность, данный утеплитель применяется в квартирах, школах, детских садах и других сооружениях и создает комфорт и уютный микроклимат в помещении.

Список литературы

1. Золотарёва, Л. С теплом и здоровьем в ваш дом «ПРОМЭКОВАТА» / Л. Золотарёва // Точка опоры. Тема строительство. ООО «Глобус-Стиль» -2012.- № 13(157).- С. 36-37
2. Пшенов, А.А. Материалы и способы утепления стен зданий [Текст] / А.А. Пшенов, Н.В. Зобкова // Инновации, логистика, техническое знание – 2014: сборник статей Международной научно-практической конференции / Под общей редакцией М.Г. Шалыгина. – Брянск: НДМ, 2014. – С. 132-135

ПОВЫШЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЛЫХ ДОМОВ г. КУРГАНА, ВОЗВЕДЕННЫХ В ПЕРИОД 1930-1960 г.г.

Пянзина Ю.А., Лац С.А.

ФГБОУ ВО «Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева»,
г. Курган

По состоянию на 2015 г. на территории г. Кургана и Курганской области расположено 3711 многоквартирных домов. В эту цифру вошли все многоквартирные жилые дома, имеющие три и более квартиры, с общим процентом износа не более 70%. Средний возраст зданий – 45 лет, а доля зданий, построенных до 1995 года, составляет 95%. Жилищный фонд Курганской области характеризуется значительным сроком эксплуатации и высоким износом. Наибольшую степень износа и повышенный уровень пожарной опасности имеют дома построенные в период 1930-1969 г.г. В таблице 1 представлены данные о количестве жилых домов за указанный период.

Таблица 1

Общее число построенных многоквартирных домов в г. Кургане
за период с 1930-1969 г.г. [1]

№ п/п	Время постройки, г.г.	Количество домов	Общая площадь, м ²
1	1930 - 1939	4	2019,10
2	1940 - 1949	23	20922,70
3	1950 - 1959	151	200384,60
4	1960 - 1969	383	1078507,10

Из общего числа указанных жилых домов особое внимание следует уделить двум типам: малоэтажные (от одного до трех этажей) «сталинские дома» и «полухрущевки» (в основном четырех- и пятиэтажные). Первые возводились с 1930 – 1960 г.г. По дате строительства здания делят на до- и послевоенные. С 1957 – 1960 г.г. строились здания переходного типа, в которых сочетались «сталинская» монументальность и практически полное отсутствие какого-либо декора.

С небольшими отличиями данные типы жилых домов имеют в основном общее исполнение конструкции и строительные материалы. Основной материал, использовавшийся при возведении – кирпич, в довоенных постройках в основном использовался красный, в более поздних – белый. Наружные стены обычно имеют толщину 2,5 кирпича (650 мм) внутренние несущие – 1-1,5 кирпича (250-380 мм). Для уменьшения расхода кирпича в довоенных и послевоенных «сталинках» внутриквартирные и часть межквартирных несущих стен отсутствовали. В малоэтажном строительстве применялись так же шлакоблоки – шлакоблочные дома стали предвестниками грядущего массового строительства на основе индустриальных блоков и панелей. В основном «сталинские» дома покрывались штукатуркой. Фасад дома обычно украшался лепным декором. После начала борьбы с «излишествами» и до начала массового строительства «хрущевок» возводились «полухрущевки» без лепного декора и нередко – без штукатурки. Штукатурки лишались и дома, находившиеся в процессе строительства и частично оштукатуренные.

Внутренние перегородки обычно выполнены из деревянных досок, покрыты сеткой из дранки и оштукатурены. Конструкция фундамента могла быть: ленточная с монолитной заливкой, столбчатая, позднее – свайная. Перекрытия деревянные или комбинированные – в местах санузлов применялся бетон. Деревянные перекрытия настилались по деревянным балкам, иногда – по стальным балкам. В домах выше 2 этажей с деревянными перекрытиями выполнялись железобетонные лестничные марши и площадки. Крыша обычно двух- или многоскатная, образует большое чердачное пространство; стропильная конструкция и обрешетка – деревянные. В качестве кровельного материала использовались шифер или кровельное железо.

На рисунке 1 представлены типичные примеры жилых домов г. Кургана 1930 – 1960 г.г. постройки.

На сегодняшний день большинство рассматриваемых жилых домов обладают большой степенью износа конструкций и систем коммуникаций и как следствие повышенной пожарной опасностью.

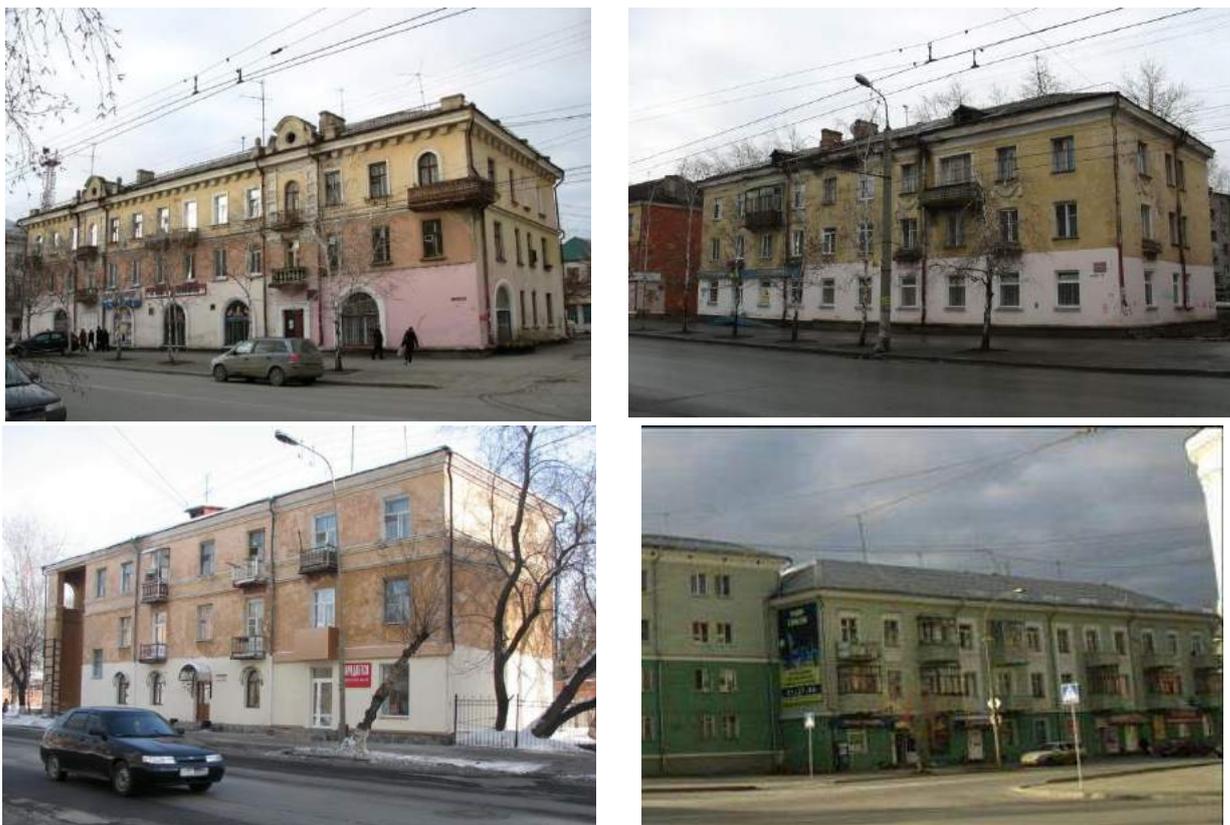


Рисунок 1 – Жилые дома г. Кургана (построенные в 1930-1960 г.г.) [2]

Существует несколько ключевых факторов, влияющие на увеличение пожарной опасности зданий:

1 Состояние электрических сетей. Электропроводка выполнена как скрытой, так и открытой (гибкий провод на роликах) при этом использовались как алюминиевые, так и медные провода. На момент строительства проводка закладывалась с большим запасом, однако сейчас мощности электропроводки нередко не хватает. Некоторые люди пытаются решить эту проблему, полностью заменяя электропроводку в квартире, но есть вероятность, что не выдержит электросеть подъезда.

2 Отсутствие надлежащего обслуживания дома и своевременное не выполнение капитальных ремонтов привело к тому, что деревянные конструкции зданий (перекрытия, стропильная конструкция и т.д.) подвергаются намоканию и гниению, как следствие снижение прочности и несущей способности конструкции в целом.

3 В некоторых домах, рассматриваемого типа, еще встречается старое газовое оборудование (газовые колонки, газовые плиты). Но неправильная эксплуатация и большой возраст оборудования потенциально могут привести к отравлению газом или продуктами сгорания, пожару и взрыву.

4 Большой объем пожарной нагрузки. Как правило, в жилых домах большую часть пожарной нагрузки составляют различные электроприборы, текстиль, дерево, бумага, пожароопасные отделочные материалы и вещества и т.п. Иногда часть нагрузки сосредоточена в подвалах и на чердаках.

5 Прилегающие к данным жилым домам территории имели большие площади (детские площадки, площадки для хозяйственных нужд, небольшие парковые зоны, зоны отдыха и т.п.), поэтому в период с

1990-2000 г.г. такие дворы стали объектами так называемой «точечной» застройки и на сегодняшний день не редко возникает затруднение проезда специальной техники к жилым домам.

Таким образом, причинами возгорания и распространения пожара в рассматриваемых типах жилых домов могут стать: короткое замыкание или перегрузка электрических сетей дома, неисправное электрическое и газовое оборудование, скопление горючих материалов и т.п.

Но, не смотря на все вышесказанное, пожарную безопасность данных жилых домов можно повысить, если в решении данной проблемы примут участие, как сами жильцы, так и представители соответствующих служб.

Например, комплекс мероприятий, направленный на повышение пожарной безопасности жилого дома может включать:

- капитальный ремонт и усиление несущих конструкций, стропильной конструкции и других конструкций жилого дома;
- замена как внутри квартир, так и «общедомовых» электрических сетей и оборудования. Монтаж системы заземления;
- проведение профилактических осмотров и необходимых ремонтов газового оборудования;
- проведение противопожарных мероприятий (по возможности расчистка «придомовой» территории для свободного заезда пожарной техники, проведение огнезащитных работ, направленных на повышение фактического предела огнестойкости строительных конструкций и т.п.) и т.д.

Известный факт, что эксплуатационный срок службы, например «сталинских» домов довоенного периода составляет 125 лет, то есть нормативное время сноса, приходится на 2050-2070 г.г., послевоенные «сталинки» служат на 25 лет дольше – 150, нормативное время сноса – 2095-2105 г.г. И это возможно, если своевременно проводить необходимые профилактические, косметические и капитальные ремонты. Но многое зависит и от самих проживающих в таких домах, от их бережного отношения, так как срок эксплуатации некоторых довоенных «сталинских» домов в г. Кургане составляет 75-87 лет.

Список литературы

1. Общественный проект Дом.Мин.ЖКХ dom.mingkh.ru [Электронный ресурс] // Жилой фонд в Кургане.
2. Wikimapia.org [Электронный ресурс] // Kurgan.wikimapia.org
3. [https:// ru.wikipedia.org](https://ru.wikipedia.org) [Электронный ресурс] // «Сталинки», сталинские дома.

СЕКЦИЯ №11.

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.17.00)

СЕКЦИЯ №12.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.18.00)

RESEARCH OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF WATER-GRAIN SUSPENSION.

Malakhov Y.L.

ITMO University, Russian Federation, Saint- Petersburg

At this moment there is an aim in front of all sectors of the food industry directed on improving production efficiency to reduce capital costs on creation the ultimate quality product and optimization of the production process and the intensification of the production process. This fully applies to the brewing industry. Partially, the monopolization of the market for beer products in Russia by large foreign companies led to the reduction of beer production in our country. Fig.1 shows that since 2007 the number of manufactured products is declining.

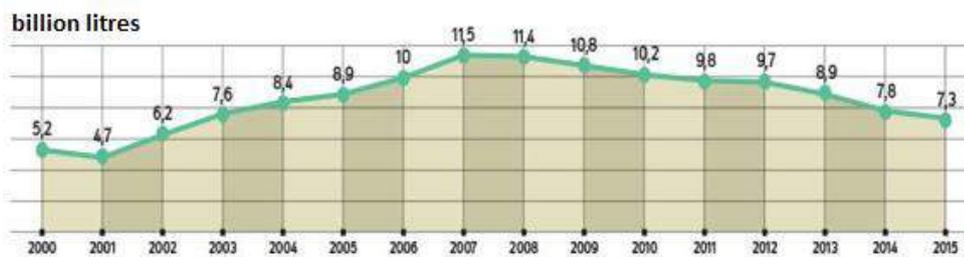


Fig.1 Number of manufactured products in Russia

Therefore, the establishment of mini Breweries with the use of innovation in the brewing sector and the existence of modern domestic technological equipment will help to change the situation with the decrease of beer production volumes.

The most important condition, which guarantees the successful development of mini Breweries, is the presence of universal, technological equipment on the Russian engineering market, allowing to carry out therein not one, but several stages of the process.

Originally this approach was offered by a group of researchers from the ITMO University, who offered the method of production of ethyl alcohol from starch-containing vegetative raw materials and device for its implementation [1; 3; 4]. The main goal of the proposed invention was to simplify the machine-instrumental scheme of ethyl alcohol production by the sequential performance of the basic technological stages of water-heat preparation of barley grain for fermentation and fermentation process itself in a single apparatus. The construction of shell and tube jet-injection apparatus (CSIA) has been selected as such universal apparatus. Conducted research has shown quite satisfactory results [1, 4].

Taking into account that the technologies of grain raw material preparation for fermentation for the alcohol industry and the brewing industry, to a certain extent, are close, for the improving of the machine-instrumental scheme of beer production by small businesses, was adopted the concept of combining several technological processes in one machine.

This approach to the staffing of machine-equipment schemes of brewing products production with technological equipment will significantly reduce the capital costs of organization of new small enterprises and, as consequence, reduce the time of his cost recovery, which seems the main goal at the present stage.

In turn, the development of such equipment requires theoretical and experimental studies of hydrodynamic processes in the working volume of the apparatus, as well as the study of the rheological properties of malt suspensions.

In this regard, the purpose of our work is complex, theoretical and experimental studies of rheo - and hydrodynamics of malt suspension in the working volume of shell and tube jet-injection apparatus.

Also by the employees of the Department of Processes and Apparatus of Food Production was conducted the research on change's features of rheological properties of malt suspensions in the process of water-heat and enzymatic treatment of the grain material

The preliminary study of rheological characteristics of the malt suspensions, without the use of any enzyme preparations in the range of temperature change from 20 °C to 90 °C allowed us to obtain some general regularities of changes in the effective viscosity with the initial concentration of solid phase in suspension and the shear rate. All presented results were done on a rotational viscometer of the brand R2. The range of variation of the shear rate $\dot{\gamma}$ was 1 ÷ -1 437,4 with.

Earlier we have conducted a comprehensive experimental study of rheodynamic characteristics of the water-grain suspensions, prepared on the basis of ungerminated barley grain [2; 5; 6; 7; 8].

The experiments were conducted with the change of shear rate: $\dot{\gamma}_1 = 2,04s^{-1}$, $\dot{\gamma}_2 = 4,08s^{-1}$, $\dot{\gamma}_3 = 6,12s^{-1}$, $\dot{\gamma}_4 = 8,16s^{-1}$, $\dot{\gamma}_5 = 16,32s^{-1}$, $\dot{\gamma}_6 = 26,52s^{-1}$, $\dot{\gamma}_7 = 48,96s^{-1}$, $\dot{\gamma}_8 = 81,6s^{-1}$, $\dot{\gamma}_9 = 146,88s^{-1}$, $\dot{\gamma}_{10} = 234,6s^{-1}$, $\dot{\gamma}_{11} = 436,56s^{-1}$, $\dot{\gamma}_{12} = 600s^{-1}$, $\dot{\gamma}_{13} = 800s^{-1}$, and $\dot{\gamma}_{14} = 1000s^{-1}$. The temperature change of the suspensions for all experiments was carried out in the range from 20°C to 90°C. The time of each experiment was 2000s. Following hydromodules were investigated: 1:6; 1:4; 1:3,5; 1:3; 1:2,5.

The change of dynamic viscosity coefficient values μ for all investigated hydromodules of malt suspensions at a shear rate $\dot{\gamma} = 146,88 s^{-1}$, shown in Fig. 2.

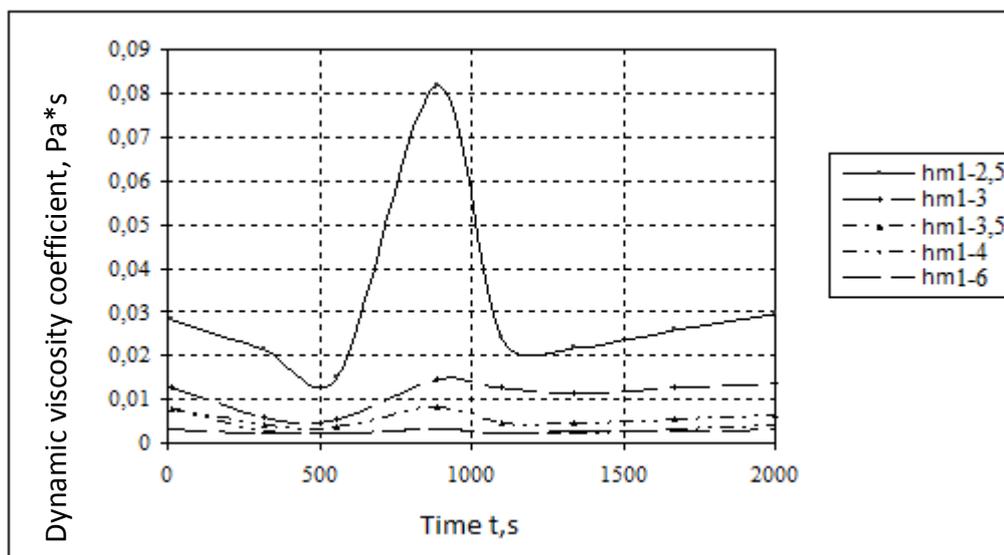


Fig.2 Dependence of dynamic viscosity coefficient of malt suspensions from the temperature for all investigated hydromodules in the range 20°C ÷ 90°C at a shear rate $\dot{\gamma} = 146,88 \text{ s}^{-1}$.

As can be seen from Fig.2, the nature of the change of dynamic viscosity coefficient of malt suspension is somewhat different from the nature of the changes of dynamic viscosity coefficient of the suspension prepared on the base of barley grain.

Firstly, as expected, the values of dynamic viscosity coefficient in all the first three reference points of the viscosity-temperature curve, obtained for the malt suspension, much lower than in the corresponding points of the same curve for barley suspension. Secondly, the change of the values of dynamic viscosity coefficient in the 4th zone, is more complicated and depends on the shear rate. In particular, at low shear rate, there was the presence of a minimum value of the of dynamic viscosity coefficient for all investigated hydromodules of the water- malt suspension in the 4th district. With the increase of shear rate the intensity of increasing the malt suspension viscosity degenerates and at $\dot{\gamma} = 234,6 \text{ s}^{-1}$ and above, the value $\mu_{\text{коп}}$ remains constant for the corresponding module. It can be assumed, that such behavior of the viscosity-temperature curve is influenced by the hydrodynamic situation in the working volume of the cell resistors. It is obvious, that the local speed of the liquid phase, moving in the gap of measuring cell, affect the particles of crushed grain. The process of destruction of the molecular bonds of the grain particles and water, at low shear rates, is slower than at high rates. Taking into account the different size of the solid particles, their liquefaction occurs at different speeds. Smaller particles, typically consisting of starch grains, liquefies faster, larger particles, at the moment, still continue to liquefy. Since the time of the experiment is fixed and equal to 2000 s, it is possible, that the liquefaction process of the large agglomerates of starch grains doesn't occur. At high shear rates, corresponding to high local speed of the suspension's liquid component, the liquefaction process speeds up and ends during the time of the experiment.

List of references

1. Ibragimov T.S. Improvement of machine-instrumental scheme of ethyl alcohol production: thesis ... PhD. SPb.: ITMO University, 2014. 94 p.
2. Ibragimov T.S., Chebotar A.V., Novoselov A.G. The features of changing the rheological properties of the water-grain suspense during the water-heating and ferment treatment (WHFT). – SPb.: SPb University of Refrigeration and Food Technology, The electronic scientific journal " Processes and Apparatus of Food Production", 2013, №1.
3. Novoselov A.G., Barakova N.V., Ibragimov T.S. Periodic method of alcohol production and shell-and-tube jet-injection apparatus used in the method: pat. 2499050 Russia. 2013. Bulletin №32.
4. Chebotar A.V. Improvement of alcohol production on the basis of experimental studies of reo - and hydrodynamics of water-grain suspensions in pipes of technological devices: thesis ... PhD. SPb.: ITMO University, 2014.-pp. 94 - 136.

5. Chebotar A.V., Novoselov A.G., Petrova D.L. The influence of soaking time of crushed barley grain on the viscosity of the water-grain suspensions. // Materials of VI International conference «Refrigeration and food technology in XXI century» - SPb.: ITMO University, 2013. – pp.630- 632.
6. Chebotar A.V., Novoselov A.G., Petrova D.L. The influence of soaking time of crushed barley grain on the maximum viscosity of the wort in the process of water-thermal processing. – SPb.: SPb University of Refrigeration and Food Technology, The electronic scientific journal" Processes and Apparatus of Food Production" 2013, №2.
7. Chebotar A.V., Novoselov A.G., Petrova N.L. Study of the influence of amylolytic enzymes on the viscosity of the water-grain suspension in the process of water-heat enzyme treatment of barley grain. - SPb.: ITMO University, The electronic scientific journal" Processes and Apparatus of Food Production" 2014, №1 (17).
8. Chebotar A.V., Novoselov A.G., Gulyaeva Y.N. Flow of the water-grain suspensions in pipes.1. Rheological characteristics of water-grain suspensions and their change in the process of water-thermal treatment. // Innovative food technology in the sphere of agricultural raw materials store and treatment: Materials of IV International scientific. -pract. conf. 22-23 May 2014– Krasnodar, 2014, pp. 264-269.

ВОДНО-СПИРТОВЫЕ ЭКСТРАКТЫ ИЗ ЯГОДНОГО СЫРЬЯ УССУРИЙСКОЙ ТАЙГИ - ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОДУКТОВ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

**Лях В.А., Федянина Л.Н., Смертина Е.С.,
Коптиенко Е.О., Елизарова А. Е., Гладыщук О.С.**

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток

Расширение отечественного производства продуктов массового потребления профилактической направленности (включая массовые сорта хлебобулочных изделий), на основе комплексной переработки местного сырья является одним из основных приоритетных направлений государственной политики Российской Федерации в области здорового питания [1, 3].

В условиях производств по переработке ягодного сырья Уссурийской тайги остается большой объем отходов в виде осей соцветий (кисть, зонтик и др.) и отжима после отделения сока ягод. Это значительный возобновляемый сырьевой резерв, который в настоящее время не утилизируется и не используется должным образом [2].

Однако в составе этих отходов присутствует значительное количество биологически активных веществ (БАВ), в частности, полифенолов, которые являются важными компонентами многих лекарственных препаратов, биологически активных добавок (БАД) к пище и продуктов диетического питания. Одним из вариантов рационального использования отходов переработки ягодного сырья Уссурийской тайги является получение из них водно-спиртовых экстрактов. Водно-спиртовые экстракты продуктов переработки ягодного сырья представляют собой практически концентраты биологически активных веществ, в том числе, полифенолов, эффективных в малых дозах, что позволяет добавлять их и в продукты питания, в таком же количестве. Незначительная доля функционального ингредиента в продукте, наряду с его высокой биологической эффективностью, позволяет сохранить или незначительно корректировать традиционные органолептические показатели продуктов, что является чрезвычайно важным моментом для потребителя. Тем не менее, водно-спиртовые экстракты не находят надлежащего применения в пищевой промышленности, что обусловлено, вероятно, спиртовой составляющей и специфическими органолептическими свойствами экстрактов. Применение же водно-спиртовых экстрактов в хлебопечении, технология которого предусматривает высокотемпературную обработку, устраняет недостатки этих экстрактов и обеспечивает неплохие перспективы их применения.

В то же время, применение экстрактов в пищевой промышленности поможет создать безотходную технологию по переработке дикоросов и сохранить благоприятную экологическую обстановку на территориях перерабатывающих предприятий.

Учеными Тихоокеанского океанологического института Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН) получены водно - спиртовые экстракты (40 %) из следующих видов сырья: оси соцветий после отделения ягод винограда амурского (*Vitis amurensis Rupr.*), лимонника китайского

(*Schizandra chinensis Turcz. Baill*), аралии маньчжурской (*Aralia mandshurica Rupr.*), отжим (оси соцветий, кожица и семена) после отделения сока калины Саржента (*Viburnum sargentii Koehne*), жимолости съедобной (*Lonicera edulis Turcz. Ex Freyn Hult.*), рябины амурской (*Sorbus amurensis Koehne*) по методам, защищенным патентами.

По внешнему виду водно-спиртовые экстракты представляют собой темную жидкость бурого (ягоды) и рубинового (оси соцветий) цвета с характерным вкусом и запахом исходного сырья. Водно - спиртовые экстракты содержат общие полифенолы, наибольшее количество которых обнаружено в экстракте из осей соцветий винограда и рябины, несколько меньше в экстракте из ягод калины, элеутерококка и жимолости (далее по тексту экстракты) [2, 4].

Учитывая вышеизложенное, целью представленной работы является разработка рецептуры и оценка потребительских свойств хлебобулочных изделий с добавлением шести экстрактов (винограда, лимонника, аралии, жимолости, рябины, элеутерококка).

В условиях производства Инновационно-технологического центра ДВФУ были выработаны опытные образцы хлеба из пшеничной муки с добавлением экстрактов, которые вносили в тесто в определенных количествах по рецептуре хлебобулочных изделий.

Объектами исследования служили хлебобулочные изделия с добавлением экстрактов (винограда, лимонника, аралии, жимолости, рябины, элеутерококка), товароведная оценка которых проводилась с учетом нормативной документации (НД) РФ. Все применяемые в ходе работ объекты и сырье соответствовали действующей в РФ документации. Исследования проводили в лабораториях Школы биомедицины и Школы экономики и менеджмента Дальневосточного федерального университета. Отдельные разделы работы выполнены совместно с учеными ТОИ ДВО РАН.

Анализ полученных данных показал, что введение изучаемых экстрактов в рецептуру хлеба, не меняет свойства сырья - хлебопекарной муки, однако способствует интенсификации процесса газообразования, что улучшает качество готовых изделий.

Добавление экстрактов оказало положительное влияние на органолептические показатели качества хлеба. При этом опытные образцы хлеба имели приятный привкус и аромат исходного сырья, который будет уместен и в булочных, и в сдобных изделиях. Результаты изучения сырья и готовых изделий с помощью стандартных методов исследования (в соответствии с ГОСТ) показали, что добавление экстрактов не меняет и физико-химические показатели качества готовых изделий.

Полученные хлебобулочные изделия по результатам исследований показателей безопасности, в том числе микробиологических, соответствовали требованиям Технического регламента Таможенного Союза.

Одним из показателей эффективности ингредиентов, обладающих биологической активностью, является их остаточное количество в готовых продуктах, характеризующее стабильность во время технологического процесса производства.

Определено остаточное количество полифенолов во всех образцах разработанных хлебобулочных изделиях колориметрическим методом с применением реактива *Folin-Ciocalteu*. В контрольном образце содержание общих полифенолов было минимальным, в образцах с добавлением экстрактов, их количество было в 2,5 - 3 раза большим, в зависимости от состава исходного сырья. Полученные данные позволяют утверждать, что полифенолы, входящие в состав экстрактов, являются устойчивыми к воздействию высокотемпературной обработки, в процессе технологии производства хлебобулочных изделий и сохраняют свои положительные свойства в готовых хлебобулочных изделиях.

Таким образом, водно-спиртовые экстракты из осей соцветий винограда и рябины, ягод калины, элеутерококка и жимолости являются перспективными ингредиентами для разработки хлебобулочных изделий профилактической направленности. Показатели безопасности и качества разработанного хлеба соответствуют критериям нормативной документации РФ и Таможенного Союза. Присутствие остаточного количества комплекса полифенолов в готовых хлебобулочных изделиях с изучаемыми экстрактами являются индикатором их биологической активности, что позволяет позиционировать разработанные хлеба как профилактические.

Список литературы

1. Матвеева, Т.В. Физиологически функциональные пищевые ингредиенты для хлебобулочных и кондитерских изделий: монография / Т.В. Матвеева, С.Я. Корячкина. - Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», 2012.- 947 с.

2. Момот, Т.В., Обоснование выбора сырьевых источников из Дальневосточной флоры для получения фармацевтических препаратов / Т.В. Момот, Н.Ф. Кушнерова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2016.- Т.18. - № 2. - С. 146-149.
3. Постановление Правительства Российской Федерации «О внесении изменения в перечень отдельных видов социально значимых продовольственных товаров, за приобретение определенного количества которых хозяйствующему субъекту, осуществляющему торговую деятельность, не допускается выплата вознаграждения» от 21.03.2016 № 22. - Распоряжение Правительства РФ. - 2 с.
4. Фоменко, С.Е., Химический состав и биологическое действие экстракта из плодов рябины / С.Е. Фоменко, Н.Ф. Кушнерова, В.Н. Спрыгин, Е.С. Другова, Т.В. Момот // Химия растительного сырья. - 2015.- №2.-С.161-168.

СЕКЦИЯ №13.

ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.19.00)

СЕКЦИЯ №14.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ, РАДИОТЕХНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.11.00, 05.12.00)

СЕКЦИЯ №15.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.09.00)

РАЗРАБОТКА ВНЕШНЕГО БЛОКА РАЗДЕЛЕНИЯ МОМЕНТА НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MATLAB SIMULINK

Белюсов А.С., Головачев И.В., Головин А.Ю.

ЛГТУ, РФ, г. Липецк

При моделировании работы электропривода в условиях, приближенных к технологическому процессу, может наблюдаться некоторое отличие выходных характеристик модели от реальных характеристик агрегата. Так, в начальный момент времени, когда момент двигателя мал и не превышает момента прикладываемой нагрузки, скорость двигателя, то есть его частота вращения, начинает расти в обратном направлении. Данное падение скорости прекращается при достижении равенства момента двигателя и момента нагрузки, а далее частота вращения начинает расти в положительную сторону и через некоторое время начинается процесс пуска «вперед».

В реальности, такое поведение частоты вращения встречается не во всех случаях. Например, на барабан размотчика нагрузка прикладывается еще до начала разгона двигателя, нагрузкой в этом случае служит сам установленный рулон, и при запуске агрегата никакой просадки скорости на двигателе размотчика не наблюдается. Это происходит по причине характера нагрузки. Все моменты нагрузки можно разделить на две группы: активные и реактивные. Активный момент способен совершать работу, его знак не зависит от направления вращения двигателя. Реактивный момент работу не совершает, он является моментом сопротивления, всегда направленным против направления движения, [1]. Момент нагрузки в виде установленного рулона является примером как раз-таки реактивного момента. Так, при остановленном размотчике значение данного момента равняется нулю, и скорость вращения вала двигателя при запуске не проседает.

В Matlab Simulink модели двигателей предназначены для работы с активным моментом. Заявленная возможность моделирования реактивного момента для DC Machine не реализуется, а для Asynchronous Machine таковая возможность не заявляется [2].

Модернизация моделей двигателя постоянного тока и асинхронного двигателя рассматривалась Терехиным В. Б. в [2]. Однако она была связана с изменением внутренней структуры готовых типовых блоков, что в некоторых современных версиях Matlab Simulink недопустимо. Если создание блока

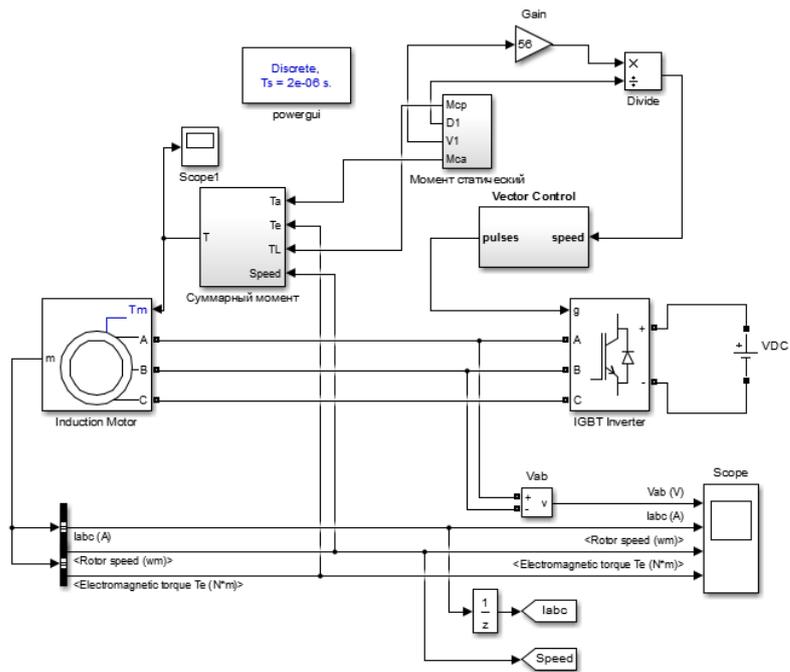


Рисунок 3 – Модель разматывателя с блоком суммарного момента

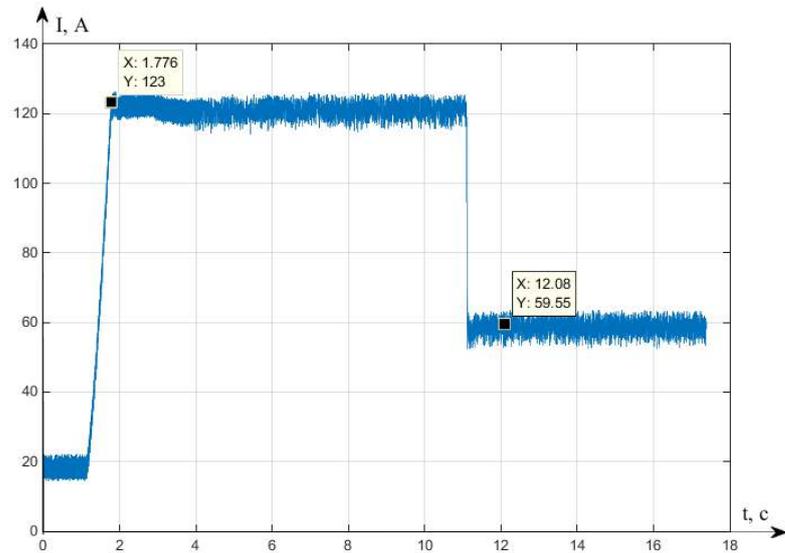


Рисунок 4 – Ток в обмотках статора при разгоне модернизированного АД

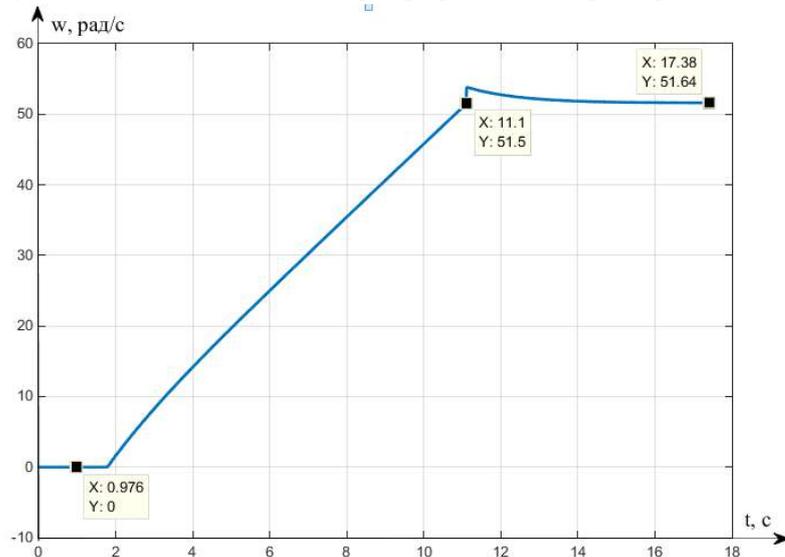


Рисунок 5 – Скорость модернизированного АД при разгоне

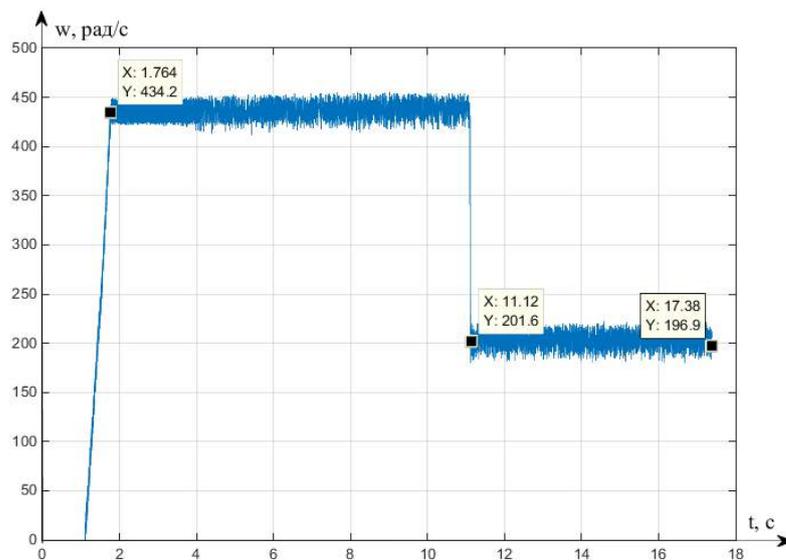


Рисунок 6 – Момент модернизированного АД при разгоне

Как видим из графиков, внешний блок разделения момента на составляющие работает корректно, обеспечивает в начальный момент пуска блокировку решения уравнения движения и устраняет просадку по скорости, наблюдаемую ранее в тех же условиях без включения данного блока. Графики тока и момента при этом не изменились.

Список литературы

1. Мещеряков, В. Н. Оценка соотношения составляющих момента нагрузки при расчете вращающего момента электродвигателя / В. Н. Мещеряков, Е. Е. Диденко // Электрика: Ежемесячный научный, производственно-технический и информационно-аналитический журнал. – 2012. – №10 – С. 31-34.
2. Терехин, В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учебное пособие / В.Б. Терехин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010 – 292 с.
3. Мещеряков, В. Н. Моделирование асинхронного двигателя с преобразователем частоты в программе MATLAB / В. Н. Мещеряков, П. Н. Левин, Т. В. Синюкова // Материалы междунар. Науч.-техн. конференции «Сложные системы управления», 9-10.04.2012, Старый Оскол ТНТ. – С. 53-54.
4. Белоусов А.С. Анализ модернизации электропривода размотывателя /А. С. Белоусов // Энергетика. Проблемы и перспективы развития: тезисы докл. Второй всероссийской студенческой научной конф., 21–22 дек. 2016 г., Тамбов / ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – С. 73–75.

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ПОЛОЖЕНИЯ СЛЕДЯЩЕГО ПОЗИЦИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АСТАТИЗМОМ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Бутак В.М., Гатин Б.Ф. Медведев Г.М.

КГЭУ, РФ, г. Казань

В качестве электромеханического преобразователя в разрабатываемом электроприводе (ЭП) применен двигатель постоянного тока МИ-22. Параметры динамической модели двигателя: электромеханическая постоянная времени $T_m = 0,0316$ с; электромагнитная постоянная времени $T_s = 0,04$ с;

коэффициент противо-ЭДС $K_e = 0,186 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$; передаточное число редуктора $i = 358$.

ЭП должен обеспечивать: угловую скорость нагрузки $\Omega_n = 50$ град/с; угловое ускорение нагрузки ϵ_n

= 10 град/с²; ошибку по скорости $\Delta\alpha_{СК} \leq 20$ мин; ошибку по ускорению $\Delta\alpha_{УСК} \leq 35$ мин; показатель колебательности $M = 1,1$.

ЭП имеет контур тока и контур скорости, в которых реализована стандартная настройка на оптимум по модулю. Для расчета ПИ-регулятора контура тока и П-регулятора контура скорости приняты следующие параметры блока питания, датчика тока и тахогенератора: $K_{\text{бп}} = 30$; $T_{\text{бп}} = 0,003$ с; $K_{\text{дт}} = 0,61$ Ом; $T_{\text{дт}} = 0,001$ с;

$K_{\text{ТГ}} = 0,0318 \frac{\text{В}\cdot\text{с}}{\text{рад}}$; $T_{\text{т}} = 0,0018$ с. Коэффициент передачи датчика положения (измерителя

рассогласования) $K_{\text{ДП}} = 30 \frac{\text{В}}{\text{рад}}$.

Для решения поставленной задачи необходимо определить коэффициент передачи по ускорению [1]

$$K_{\varepsilon} = \sqrt{2} \frac{\varepsilon_{\text{н}}}{\Delta\alpha_{\text{УСК}}} = \sqrt{2} \frac{10 \cdot 60}{35} = 24,2437 \text{ с}^2.$$

Значение базовой частоты определяется по формуле [1]

$$\omega_0 = \sqrt{K_{\varepsilon}} = \sqrt{24,2437} = 4,9238 \text{ с}^{-1}.$$

Постоянные времени $T_{1\text{ж}}$ и $T_{2\text{ж}}$ рассчитываются по формулам [1]

$$T_{1\text{ж}} = \frac{1}{\omega_0} \cdot \sqrt{\frac{M}{M-1}} = \frac{1}{4,9238} \cdot \sqrt{\frac{1,1}{1,1-1}} = 0,6736 \text{ с};$$

$$T_{2\text{ж}} = \frac{\sqrt{M(M-1)}}{\omega_0(M+1)} = \frac{\sqrt{1,1(1,1-1)}}{4,9238(1,1+1)} = 0,0321 \text{ с}.$$

С учётом проведённых расчётов можно записать желаемую передаточную функцию ЭП с астатизмом второго порядка

$$W_{\text{ж}}(s) = \frac{K_{\varepsilon}(T_{1\text{ж}}s + 1)}{s^2(T_{2\text{ж}}s + 1)} = \frac{24,2437(0,6736s + 1)}{s^2(0,0321s + 1)}.$$

Для построения ССДМ неизменяемой части ЭП необходимы параметры тахогенератора и контура скорости:

- коэффициент передачи тахогенератора $K_{\text{тг}} = 0,0318 \text{ В}\cdot\text{с}/\text{рад}$;
- постоянная времени тахогенератора $T_{\text{тг}} = 0,0018$ с;
- суммарная малая постоянная времени КС $T_{\Sigma}^{\text{КС}} = 0,0068$ с;
- коэффициент передачи датчика положения $K_{\text{дп}} = 40 \text{ рад}/\text{В}$;
- передаточное число редуктора $i = 358$.

С использованием перечисленных параметров записывается передаточная функция замкнутого контура скорости

$$\Phi_{\text{КС}}^{\text{ОМ}}(s) = \frac{1/K_{\text{ТГ}}(T_{\text{ТГ}}s + 1)}{2(T_{\Sigma}^{\text{КС}}s)^2 + 2T_{\Sigma}^{\text{КС}}s + 1} = \frac{31,4465(0,0018s + 1)}{9,248 \cdot 10^{-5}s^2 + 0,0136s + 1}$$

и неизменяемой части ЭП

$$W_{\text{н}}(s) = \Phi_{\text{КС}}^{\text{ОМ}}(s) \cdot K_{\text{ДП}} = \frac{K_{\text{ДП}}/K_{\text{ТГ}}(T_{\text{ТГ}}s + 1)}{2(T_{\Sigma}^{\text{КС}}s)^2 + 2T_{\Sigma}^{\text{КС}}s + 1} = \frac{1257,86(0,0018s + 1)}{9,248 \cdot 10^{-5}s^2 + 0,0136s + 1}.$$

Передаточную функцию регулятора положения вычисляется с помощью программы 1 в среде MatLab на основании формулы $W_{\text{РП}}(s) = W_{\text{ж}}(s) / W_{\text{н}}(s)$.

Программа 1

```

>> num1=[KεT1ж Kε];
>> den1=[T2ж 1 0 0];
>> sys1=tf(num1, den1);
>> num2=[KдпTтп/Kтп Kдп/Kтп];
>> den2=[2(TΣKC)2i 2TΣKC i i 0];
>> sys2=tf(num2, den2);
>> sys=sys1/sys2

```

Transfer function:

0.5405 s⁴ + 80.31 s³ + 5964 s² + 8679 s

0.07268 s⁴ + 42.64 s³ + 1258 s²

Программа 2 в среде MatLab использовалась для определения ЛАЧХ регулятора положения, приведенной на рис. 1.

Программа 2

```

>> w=logspace(-2, 4);
>> num=[0.5405 80.31 5964 8679 0];
>> den=[0.07268 42.64 1258 0 0];
>> bode(num, den, w)

```

Из анализа полученного графика [2] видно, что низкочастотный участок ЛАЧХ регулятора положения проходит под наклоном -20 дБ/дек, постепенно изменяя наклон к среднечастотному участку до 0 дБ/дек. Высокочастотный участок полученной ЛАЧХ ($\omega \geq 100 \text{ с}^{-1}$) с увеличением частоты изменяет свой наклон от 20 до 0 дБ/дек.

Таким образом ЛАЧХ следует аппроксимировать четырьмя асимптотами (рис. 6.14) и придать регулятору положения свойства ПИД-регулятора.

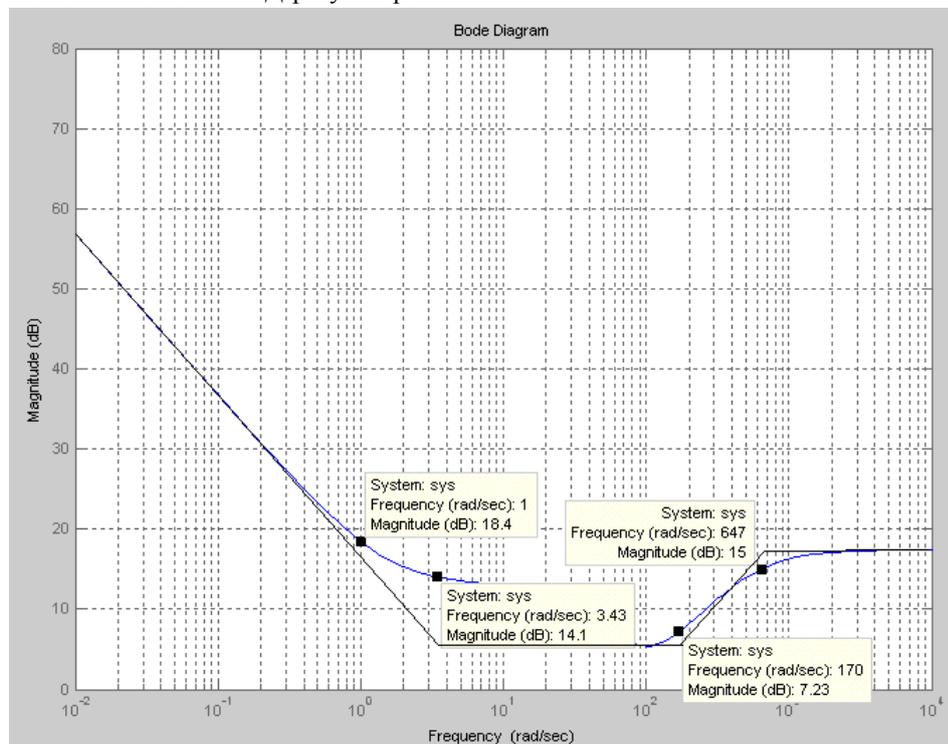


Рис. 1. ЛАЧХ регулятора положения

Анализ графика (рис. 3) показывает, что следящий позиционный ЭП обрабатывает ступенчатое воздействие α_3 примерно за 1,0 с с перерегулированием $\sigma = 19\%$ и числом колебаний $N < 1$, что соответствует заданному показателю колебательности $M = 1,1$. Поскольку контур положения содержит ПИД-регулятор положения, очевидно, что при ступенчатом и линейно возрастающем задающем воздействии статическая ошибка и ошибка по скорости будут равны нулю.

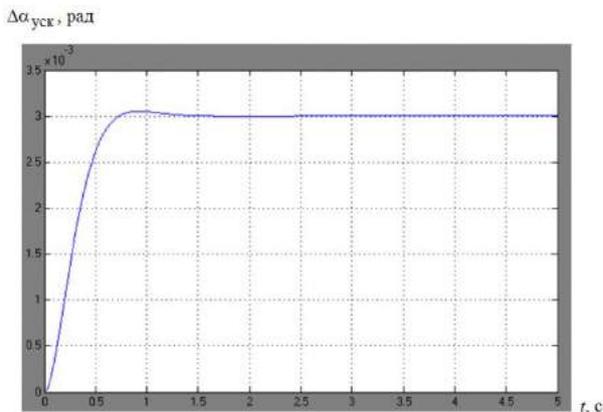


Рис. 3. Переходная характеристика системы по задающему воздействию

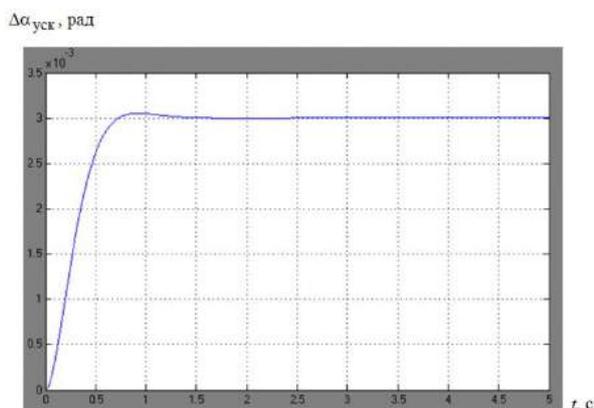


Рис. 4. График ошибки системы при квадратично возрастающем задающем воздействии

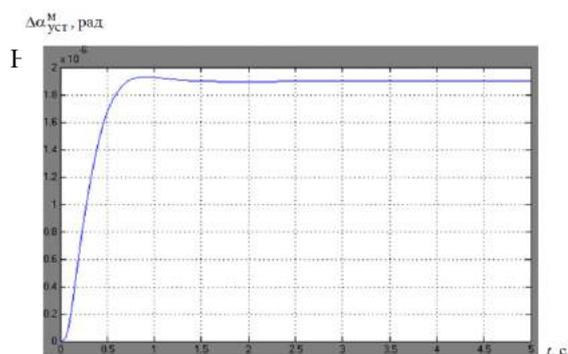


Рис. 5. График моментной составляющей ошибки системы при квадратично возрастающем моменте сопротивления

На рис. 4 представлена характеристика при обработке типового задающего воздействия $\varepsilon_H t^2 / 2$. Установившаяся ошибка системы $\Delta\alpha_{устк}$ составляет 10,26 мин. Моментная составляющая ошибки $\Delta\alpha_{уст}^M$ при обработке квадратично возрастающего момента сопротивления $\frac{\ddot{M}_c^0}{2}$ составляет 0,0065 мин по истечении 2,5 с (рис. 5).

Список литературы

1. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Медведев Г.М. Основные этапы проектирования электроприводов // Развитие технических наук в современном мире: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 2. – Воронеж, 2015. – С. 180–183.
2. Бутаков В.М., Баязитов В.О., Дудкин И.М. Расчет характеристик электроприводов // Актуальные вопросы технических наук в современных условиях, / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 4. г. Санкт-Петербург, 2017. с. 94-98.

УСТРОЙСТВО АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ФУНКЦИЕЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Мещеряков В.Н., Евсеев А.М., Пикалов В.В., Бойков А.И.

ФГБОУ ВО ЛГТУ, РФ, г. Липецк

Актуальность работы

В настоящее время как никогда остро перед нами стоят проблемы энергосбережения и повышения энергоэффективности, в связи с чем, все большее развитие получает тенденция по разработке и внедрению новых систем управления технологическими процессами, основанных на регулировании параметров, определяющих качество потребляемой электроэнергии [1 - 3]. Таким образом, до сих пор остается актуальной тема разработки и усовершенствования устройств, предназначенных для измерения большого числа параметров и показателей качества электроэнергии в режиме реального времени и с достаточной точностью. Стоит также отметить, что такие параметры, как гармонический состав напряжения и тока, а также уровень искажений, вносимый каждой из гармоник, определяются составом нагрузки, и, как следствие, по их изменению можно судить не только о том, какие потребители подключены к электросети, но и о том, насколько эффективно и безопасно их использование. На основании вышеизложенных фактов можно сделать вывод о необходимости разработки устройства и исследования возможностей комплексной оценки показателей качества потребляемой электроэнергии в режиме реального времени с функцией идентификации потребителей.

Основные проблемы и решения

Существуют различные подходы к решению приведенной задачи, и большинство предлагаемых вариантов основываются на решениях с применением микропроцессорной техники. Однако, рассматриваемые в вычислительные устройства выполняют одновременно и функцию измерения сигналов тока и напряжения, и вычисления прочих параметров энергопотребления, и обработки полученных значений, что вносит ощутимое запаздывание в системы управления, работу и регулирование в которых необходимо осуществлять в режиме реального времени. Кроме того, анализ гармонического состава в данном случае будет также осуществляться с временной задержкой, а его математический аппарат является довольно громоздким в программной реализации.

В связи с этим предлагается вариант разделения функций измерения и обработки параметров электросети. Основные вычислительные элементы разработанного устройства - интегральная микросхема трехфазного измерителя ADE7880 и цифровой сигнальный процессор TMS320F28069 ControlSTICK. Функциональная схема измерителя представлена на рис. 1.

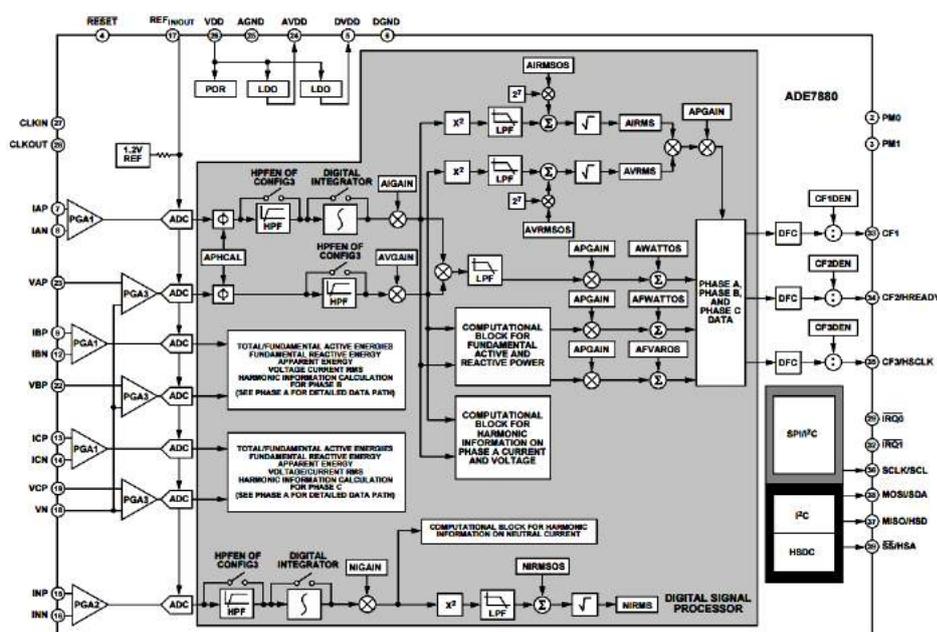


Рис. 1. Функциональная схема ADE7880

Выбранные элементы имеют 32-битную архитектуру шины данных, что позволяет им осуществлять работу с числами с плавающей точкой с максимальным быстродействием. Связь между измерителем и процессором осуществляется по последовательному SPI-интерфейсу на частоте 16,384 МГц. В список измеряемых параметров входят: формы тока и напряжения, действующие значения тока и напряжения, активная, реактивная, полная мощности, потребляемая энергия, коэффициенты мощности и частоты для трех фаз. ADE7880 имеет также встроенный вычислительный модуль, реализующий выделение одновременно действующих значений тока и напряжения, активной, реактивной и полной мощностей, коэффициента мощности, а также уровень искажений трех гармоник относительно выбранной базовой. Номер последней измеряемой гармоники определяется исключительно входными фильтрами низких частот. Встроенные в измеритель фильтры имеют частоту среза 2,8 кГц. Таким образом, при настройке измерительного комплекса на базовую частоту из полосы частот от 45 до 66 Гц, возможно выделение гармоник вплоть до 63. Период обновления номеров выявленных гармоник и величин отклонений, вносимых ими, составляет 125 мкс, что является более чем достаточным для анализа нагрузки в режиме реального времени.

Идентификация потребителей производится посредством анализа приведенных выше параметров потребляемой электроэнергии по ранее замеренным и сохраненным параметрам, характеризующим статические и динамические режимы работы нагрузки. По изменению данных параметров в новых режимах работы потребителей измерительное устройство предоставляет отчет об энергоэффективности выбранного режима и работы потребителя в целом.

Оценка точности проводимых измерений гармонического состава тока произведена для базовой частоты 55 Гц с периодом обновления данных в 125 мкс в 30 итераций. Ошибка измерения искажений действующего тока относительно базового (в процентах) для всего измеряемого гармонического ряда приведена на рис. 2.

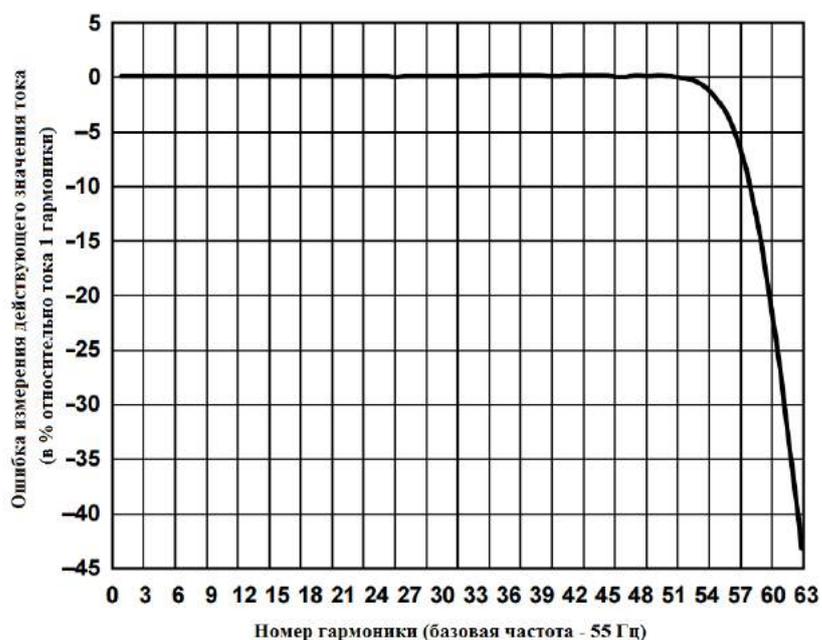


Рис. 2. Ошибка измерения искажения действующего значения тока в зависимости от номера гармоники

Ошибка измерения искажения действующего тока при изменении масштабирования канала измерения токового сигнала проведена для 51 гармоники относительно базовой (55 Гц) с периодом обновления данных в 125 мкс в 1 итерацию. Сводный график этого анализа представлен на рис. 3.

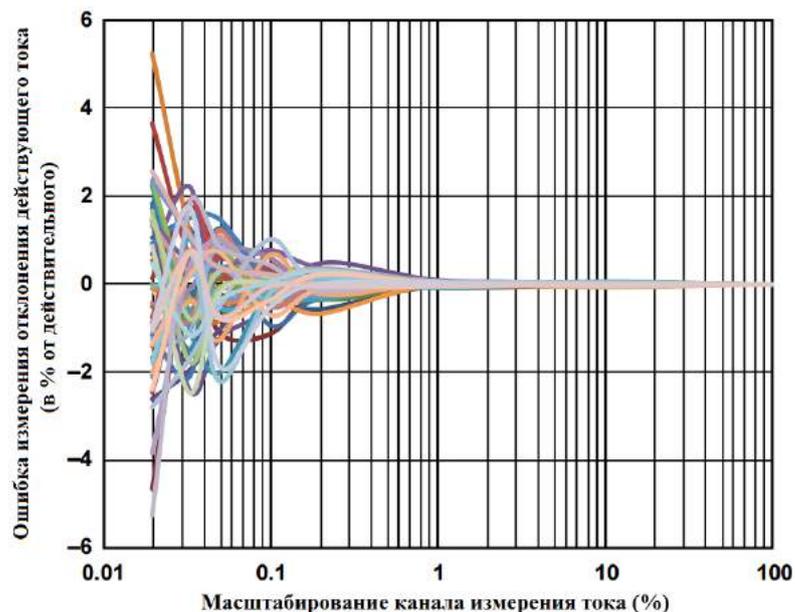


Рис. 3. Ошибка измерения искажения действующего значения тока для 51 гармонике относительно базовой (55 Гц) в зависимости от масштабирования канала тока

Заключение

Из представленных характеристик разработанного устройства можно сделать вывод о применимости данного измерительного комплекса для задач, связанных с анализом и мониторингом параметров и показателей качества потребляемой электроэнергии. Преимуществом описанного устройства является быстрое действие при расчете параметров электроэнергии, возможность работы в режиме реального времени, точность измерения гармонического состава и искажений, вносимых высшими гармониками. Дальнейшие исследования возможностей устройства дадут более полные показания по предмету идентификации потребителей в электросети и проверки энергоэффективности их режимов работы в статике и динамике.

Список литературы

1. Мещеряков В. Н. Автоматическая система управления синхронным электроприводом черновой клетки прокатного стана для режима работы с минимизацией потерь энергии / В. Н. Мещеряков, Д. В. Мигунов, О. В. Мещерякова // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2012. – №1. – С. 23-25.
2. Мещеряков В. Н. Повышение эффективности поискового алгоритма для оптимизации энергосбережения за счет формирования магнитного потока АД / В. Н. Мещеряков, П. Н. Левин, Т. В. Синюкова // Приборы и системы, управление, контроль, диагностика. – 2014. – №6. – С. 25-30
3. Мещеряков В. Н., Байков Д. В. Энергосберегающий асинхронный электропривод на базе матричного преобразователя частоты // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. 2015. №2, [Т.2]. С.35-39. URL: <http://electrical-engineering.ru/issues/2015/2015-2.pdf> (дата обращения: 16.10.2016)

СЕКЦИЯ №16.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА, ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ОХРАНА ТРУДА И ЭКОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.26.00)

СЕКЦИЯ №17.

ИНЖИНИРИНГОВЫЕ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ПЛАТФОРМЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.13.12)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ДОБЫЧИ И ПОДГОТОВКИ НЕФТИ ДЛЯ ТРЕНАЖЕРА-ИМИТАТОРА

Низамов Е.С.

ФГБОУ ВО «УГНТУ»

Объектом исследования является установка первичной подготовки нефти. Были выделены наиболее интенсивно влияющие концепты на объекты, которые позволяют отразить в модели процесс. Была построена когнитивная карта, на основе расставленных связей получена модель, для которой была написана модель в виде разностных уравнений. Модель реализована в программном пакете MathCad и на языке Pascal для внедрения в состав тренажёра-имитатора.

Ключевые слова: разностное уравнение, модель, тренажёр, печь подогрева нефти, когнитивная карта, имитационное моделирование, сепаратор.

Для развития технологических процессов подготовки нефти необходима не только модернизация технологического оборудования и развитие автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), но и разработка средств анализа и оптимизации этих процессов. Одним из инструментов для решения данных задач является моделирование. [1]

В настоящее время признан тот факт, что использование тренажеров при обучении специалистов нефтегазовой отрасли является, безусловно, полезным.

Современные объекты управления обладают высокой степенью сложности (структурной, функционирования, выбора поведения и развития), что значительно затрудняет использование аналитических методов исследования. В этом случае применение имитационного моделирования (ИМ) является более эффективным.

Основными факторами, ограничивающими развитие ИМ, являются нехватка квалифицированных кадров и использование нерациональных методов. [2] Среди частных проблем можно отметить неоптимальную разработку имитационных моделей, отсутствие эффективной машинной реализации, несоблюдение компромисса между универсальностью и прикладной областью.

Объектом исследования является установка первичной подготовки нефти. Для рассмотрения системы необходима смоделировать объекты и группы объектов.

На первом этапе исследования было выбраны наиболее сложные объекты, такие как печь подогрева нефти и сепаратор.

Обобщенная процедура идентификации включает четыре этапа (рисунок 1)

- 1 Определяется класс объекта.
- 2 Для данного класса объекта выбирается модель, структуру и параметры которой можно менять в процессе идентификации.
- 3 Выбрать критерий качества идентификации, характеризующий отличие модели и объекта в виде функционала доступных для наблюдения переменных.
- 4 Выбрать алгоритм идентификации (механизм настройки модели), обеспечивающий сходимость процесса идентификации по принципу минимизация критерия качества. [3]

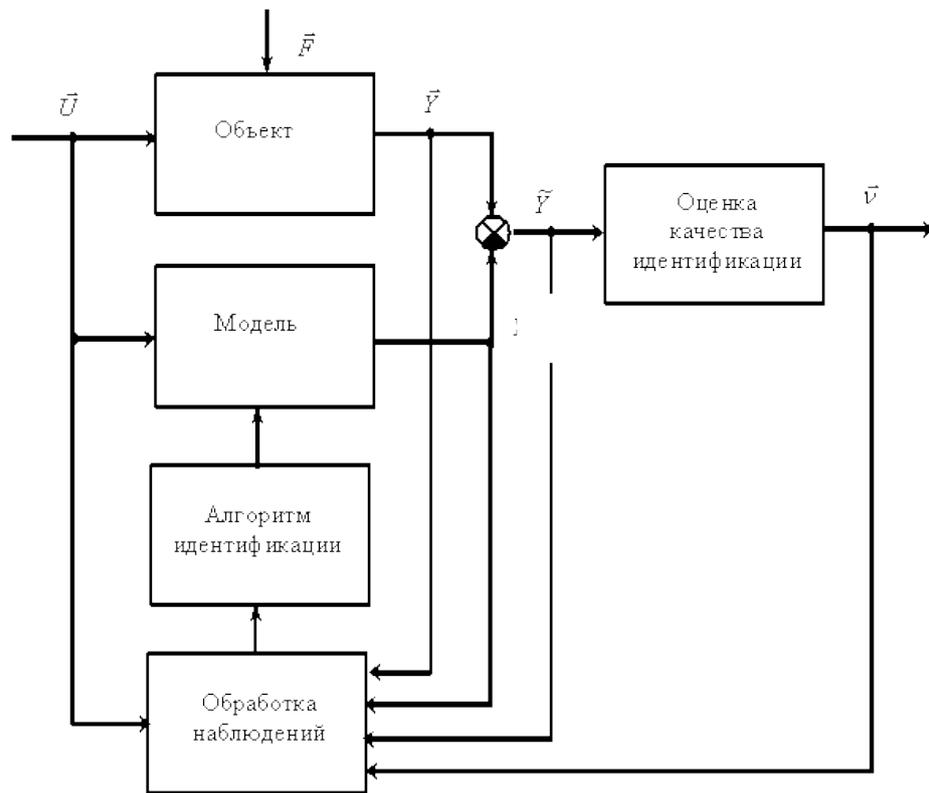


Рисунок 1

Процедура идентификации изображена на рисунке 1, где обозначены:

\vec{U} – переменные, изменением которых система регулирования может воздействовать на объект с целью управления. Обычно управляющими воздействиями служат изменения расхода материальных или энергетических потоков.

\vec{F} – влияние внешние воздействия, которые называются возмущающими

\vec{Y} – характеризует состояние процесса. Данный параметр надо поддерживать постоянным во времени или измерять по определённом известному закону.

\vec{v} – критерий останова.

При активной идентификации объект исследования выводится из условий нормальной окружающей среды (нормальный режим эксплуатации, номинальные параметры рабочего режима и т. п.).[4]

Исследования проводятся в специализированных лабораторных условиях. На входы объекта подаются тестовые сигналы специального вида. Это могут быть:

- ступенчатые и импульсные временные сигналы,
- гармонические сигналы,
- случайные воздействия с заданными параметрами.

Активную идентификацию используют при разработке новых технологий применительно к действующим промышленным объектам, в изучении новых явлений, в первоначальной разработке математической модели. [5]

При пассивной идентификации объект функционирует в контуре управления и находится в процессе нормальной эксплуатации. На его входы поступают только сигналы управления.

Пассивную идентификацию используют для уточнения математической модели, для слежения за изменениями в объекте. Информация оперативно используется в системе управления объектом, процесс такой идентификации иллюстрируется рисунке 2. [6]

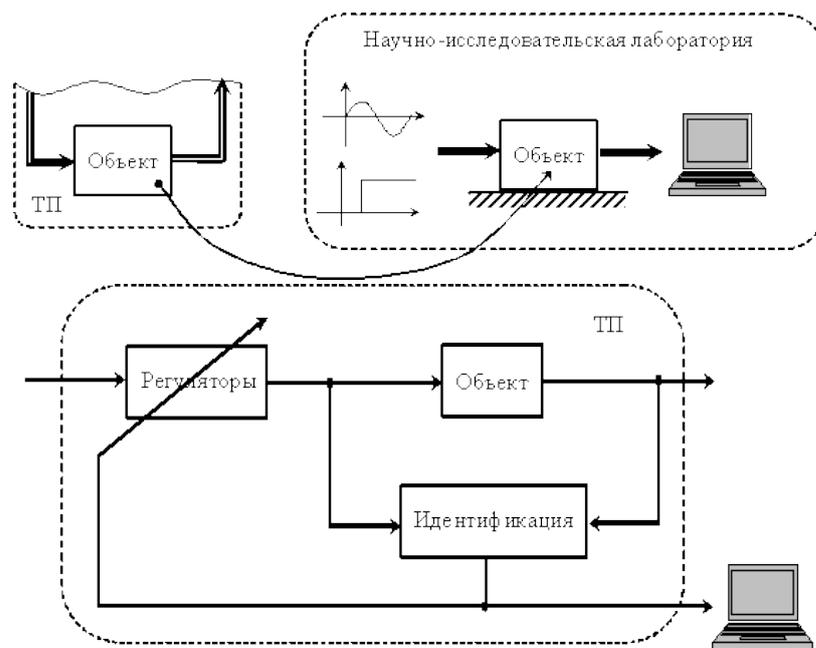


Рисунок 2

Кроме перечисленных групп методов реализуются и системы идентификации смешанного типа, когда объект не выводится из нормального режима эксплуатации, но к управляющим сигналам добавляются тестовые воздействия, позволяющие идентифицировать объект, не ухудшая качества основного процесса управления. [7] Данный метод использовался при идентификации рассматриваемых ниже технологических объектов.

Печь как объект исследования можно представить в виде схемы на рисунке 3.

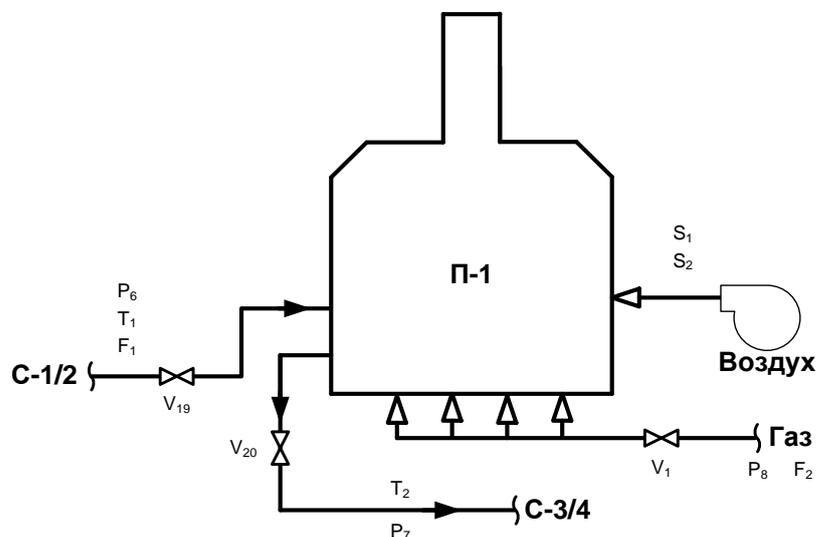


Рисунок 3 – Объект исследования печь

На рисунке обозначены концепты:

T_1 – температура нефти на входе в П-1;

T_2 – температура нефти после подогрева в П-1

S_1 – работа первой воздуходувки;

S_2 – работа второй воздуходувки;

F_1 – расход нефти на входе в П-1;

F_2 – расход газа на горелках в П-1;

P_1 – давление газа на горелках в П-1;

V_1 – положение клапана подачи газа на горелки в П-1.

Когнитивная карта приведена на рисунке 4, где передаточные функции W_1 и W_2 имеют вид инерционного звена вида:

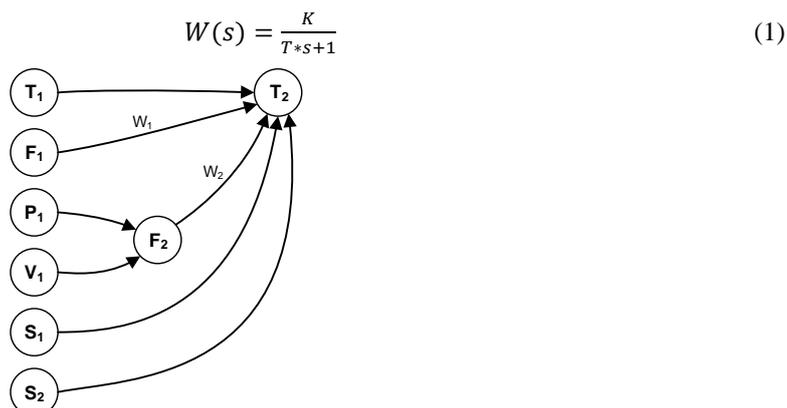


Рисунок 4 – Когнитивная карта печи

Модель в виде разностного уравнения имеет вид (2):

$$\begin{aligned} T2_i &= T1_i - W1_i \cdot F1_i + W2_i \cdot F2_i \cdot (S1_i + S2_i); \\ W1_i \cdot F1_i &= (k1 \cdot F1_i + t1 \cdot T2_{i-1} / dT) / (t1 / dT + 1) \\ W1_i \cdot F1_i &= a1 \cdot F1_i + a2 \cdot T2_{i-1}; \\ a1 &= k1 / (t1 / dT + 1); \\ a2 &= t1 / dT / (t1 / dT + 1); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F2_i &= V1_i \cdot k2 \cdot \sqrt{P1_i}; \\ W2_i \cdot F2_i &= a3 \cdot F2_i + a4 \cdot T2_{i-1}; \\ a3 &= k2 / (t2 / dT + 1); \\ a4 &= t2 / dT / (t2 / dT + 1); \end{aligned}$$

$$T2_i = T1_i - a1 \cdot F1_i + a2 \cdot T2_{i-1} + a3 \cdot F2_i + a4 \cdot T2_{i-1} \cdot (S1_i + S2_i); \quad (2)$$

В ходе реализации модели часть коэффициентов была рассчитана по экспериментальным данным, часть определена по оценки специалистов в данной области. Результатом работы приведён на рисунке 5.

$$i := 0, 1 \dots 100$$

$$T1_i := 35 \quad F1_i := 200 \quad F2_i := 0.5 \quad S1_i := 1 \quad S2_i := 1$$

$$T2_0 := 60 \quad i := 1, 2 \dots 100$$

$$T2_i := T1_i - a1 \cdot F1_i + a2 \cdot T2_{i-1} + a3 \cdot F2_i + a4 \cdot T2_{i-1} \cdot \left(\frac{S1_i + S2_i}{2} \right)$$

$$a1 = 0.086 \quad a2 = 0.429 \quad a3 = 0.633 \quad a4 = 0.333$$

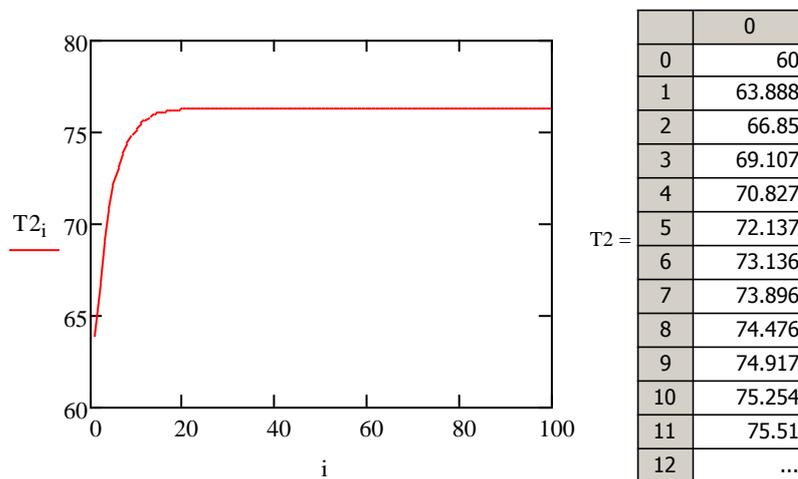


Рисунок 5 – Результат работы модели печи

Аналогичным способом была рассмотрена модель сепаратора, расчётная схема которой приведена на рисунке 6.

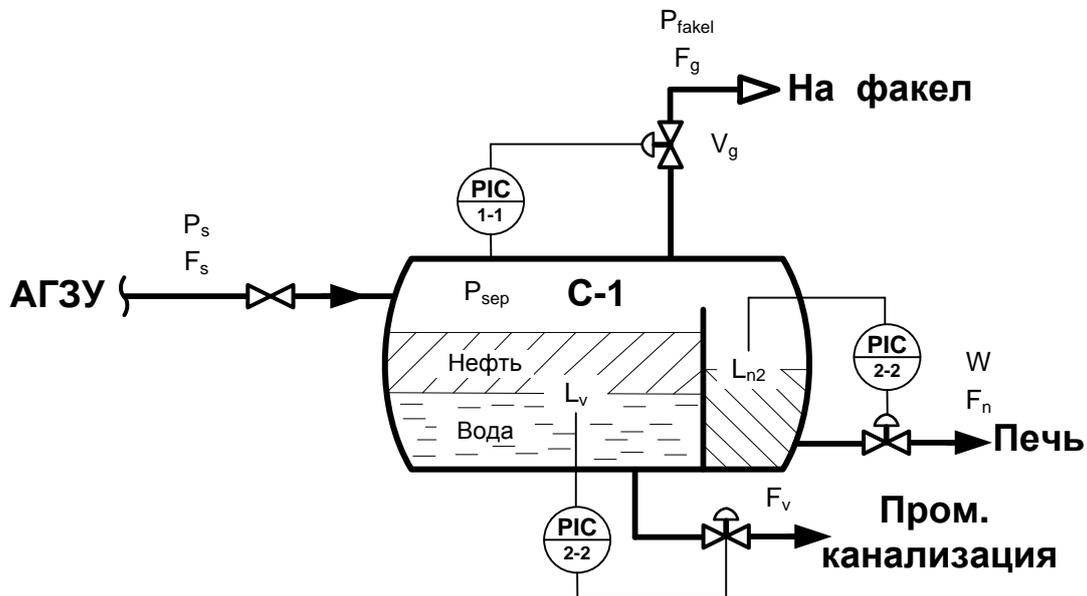


Рисунок 6 – Объект исследования сепаратор

Последовательность вычисления параметров модели сепаратора:

- 1) $P_{s0} = 500000$ – давление сырья на входе в сепаратор после задвижки, [Па];
- 2) $P_{si} = P_{s0} + F_{si-1} * K_{si-1}$;
- 3) $P_{sep0} = 470000$ – давление газо воздушной смеси в сепараторе, [Па];
- 4) $P_{sep_i} = P_{sep0} + F_{si-1} * \frac{Kg_{gaza}}{100} - F_{gi-1} * Kg_{i-1}$;
- 5) $P_{fakel} = 100000$ – константа, давление на факеле сгорания газа, [Па];
- 6) F_{si} – массовый расход сырья на входе в сепаратор, [Т/ч];
- 7) $F_{si} = 90$;
- 8) $F_{g0} = F_{s0} * \left(1 - \frac{100 - Kg_{gaza}}{100}\right)$ – массовый расход газа на сбросе
газа из сепаратора, [Т/ч];
- 9) $F_{gi} = Kg_{i-1} * (P_{sep_{i-1}} - P_{fakel}) * \frac{F_{g0}}{k1}$;
- 10) $F_{v0} = \left(1 - \frac{W + Kg_{gaza}}{100}\right)$ – массовый расход воды, сброшенного из сепаратора, [Т/ч³];
- 11) $F_{v_i} = K_{vi-1} * (P_{sep_{i-1}} - P_v + dP) * \frac{F_{v0}}{k1}$;
- 12) $F_{n0} = F_{s0} * \frac{W}{100}$ – массовый расход нефти, на выходе из сепаратора, [Т/ч³];

- 13) $F n_i = K n_{i-1} * (Psep_{i-1} - P n) * \frac{F n_0}{k2}$;
- 14) $L v_0 = 0,8$ – уровень меж – фазного разделение нефти и воды, [м];
- 15) $L v_i = L v_0 + (F S_{i-1} * \frac{100 - (W + K g a z a)}{100} - F v_{i-1}) * T t i m e / (S_v * \rho_v)$;
- 16) $L n_0 = 1$ – уровень нефти за переливно перергородкой, [м];
- 17) $L n_i = L n_0 + (F S_{i-1} * \frac{W}{100} - F n_{i-1}) * \frac{T t i m e}{\rho_{n e f t} + S n}$;
- 18) $W_0 = 36$ – обваднённость полученного сырья на выходе, [%];
- 19) $W_i = \frac{F v_{i-1}}{F n_{i-1}} * 100$;

Тренажёр имеет физическую интерпретацию работы в виде светодиодов и восьми сегментных индикаторов (рисунок 7) и стенда оператора который представлен в виде мнемосхемы (рисунок 8). Взаимодействие модели и тренажёра осуществляется при помощи OPC сервера.

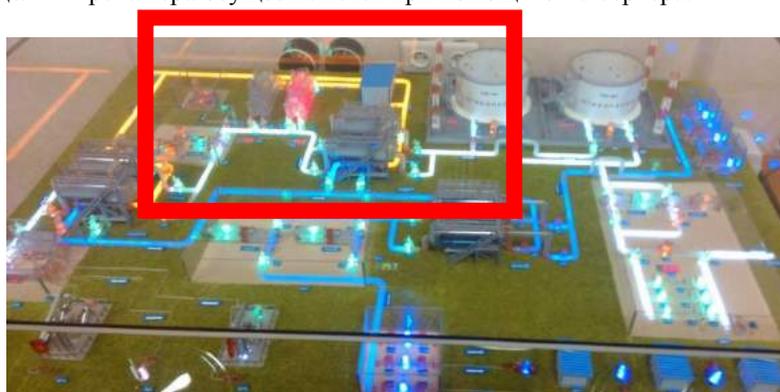


Рисунок 7 – Макет-тренажёр установки по первичной подготовке нефти

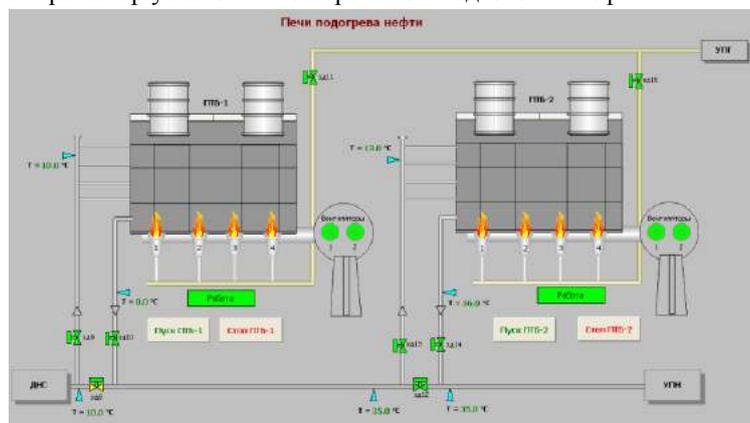


Рисунок 8 – Мнемосхема печи подогрева нефти

Реакция модели на возмущения увеличение температуры на входе в печь с 35 °С до 45 35 °С на 15 итерации и увеличение расхода с 200 т/ч до 400 т/ч на 30 итерации приведены на рисунке 8. Можно сделать вывод что модель адекватно отработала возмущения и пригодна для обучения персонала с целью повышения навыков действия в экстренных ситуациях.

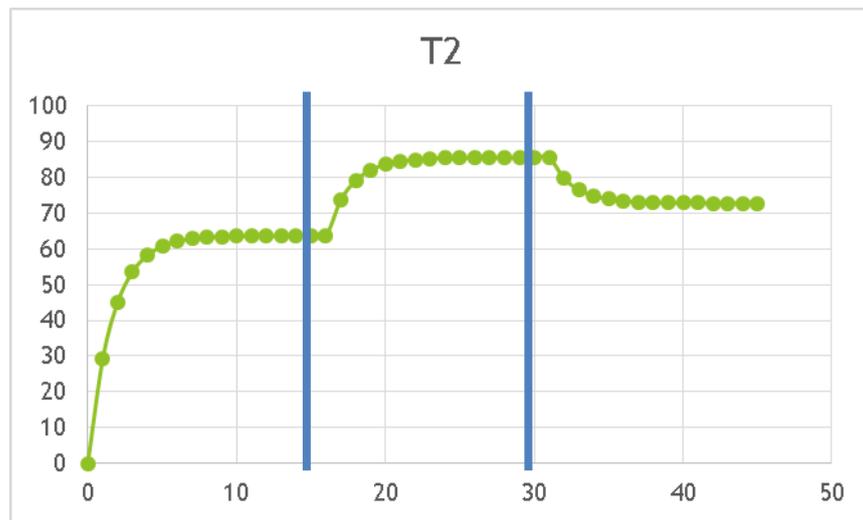


Рисунок 9 – Температура нефти на выходе, °С

Примеры функционирования сепаратора приведены на рисунках 10-11. Давления на входе и в сепараторе статично.

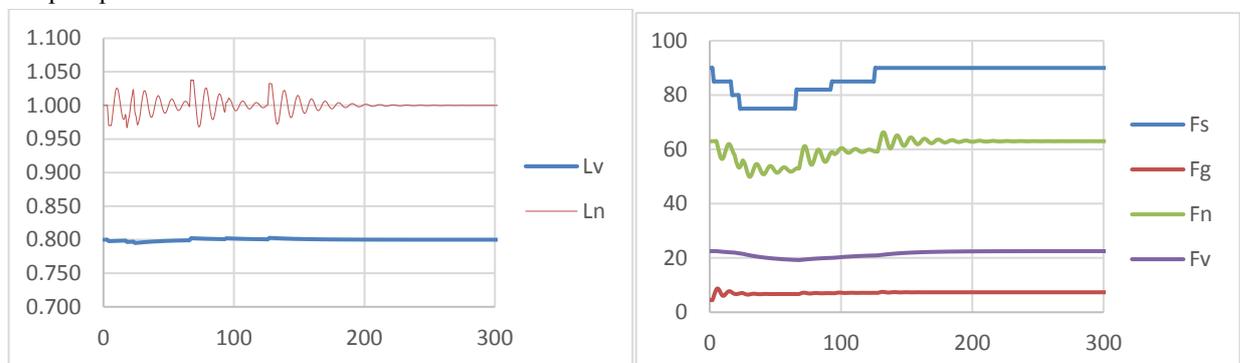


Рисунок 10, 11 – Уровень межфазного разделения воды-нефти и перелива нефти, °С, Массовые расходы в сепараторе, кг/ч

Список литературы и источников

1. Вережкин А. П., Кирюшин О. В. Автоматизация технологических процессов и производств в нефтепереработке и нефтехимии. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2005. 71 с.
2. ЗАХАРЧЕНКО В. Е. Имитационная модель гидроагрегата для тестирования алгоритмов АСУ ТП // Автоматизация в промышленности. 2007. № 7. С. 37-40.
3. Имитационное моделирование систем. [Электрон. ресурс]. <http://www.gpss.ru/>.
4. КАРПОВ Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2009.
5. КОНЮХ В. Л., ИГНАТЬЕВ Я. Б., ЗИНОВЬЕВ В. В. Методы имитационного моделирования систем. Применение программных продуктов. [Электрон. ресурс]. Электронное изд. зарег. в Федеральном депозитарии электронных изданий, № 0320401123. Рег. свид. ФГУП НТЦ "Информрегистр" от 06.09.2004, № 4753.
6. РЫЖИКОВ Ю. И., СОКОЛОВ Б. В., ЮСУПОВ Р. М. Проблемы теории и практики имитационного моделирования // Сб. докл. III Всерос. науч.-практ. конф. "Имитационное моделирование. Теория и практика" (ИММОД-2007). Санкт-Петербург, 17-19 окт. 2007. Т. 1. С. 58-70.
7. HARRELL C. R. Simulation modeling using Promodel technology // Proc. of the Winter Simulation Conf. New Orleans (USA), 7-10 Dec. 2003. P. 175-181.

СЕКЦИЯ №18.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И МЕНЕДЖМЕНТ, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.02.22, 05.02.23)

СЕКЦИЯ №19.

НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.16.08)

СЕКЦИЯ №20.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.25.05)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВРЕДНОСНЫХ ПРОГРАММ В ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ

Задорина Н.А., Мурашова И.Ю.

РГАТУ имени П.А.Соловьёва, РФ, г. Рыбинск

Информация является основным ресурсом любого предприятия или организации, не зависимо от профиля его работы. Информация, как и всякий ресурс, нуждается в защите. Поэтому обеспечение информационной безопасности является важной задачей предприятия. [1].

Для совместного использования информации пользователями, работающими на удаленных друг от друга компьютерах, и для организации информационного обмена практически во всех организациях компьютеры объединены в локальную вычислительную сеть (ЛВС). Поэтому обеспечение безопасности ЛВС является одной из важнейших задач предприятия/организации. Одним из видов угроз безопасности информации в ЛВС является вредоносное программное обеспечение.

Вредоносное программное обеспечение делится на следующие группы (рисунок 1):

- вирусы;
- черви;
- трояны;
- прочее вредоносное ПО (руткит, бэкдор и др.)[2]

Представители данных классов вредоносного ПО различаются по способу распространения, признакам проявления.

Известные методы противодействия вредоносному программному обеспечению не всегда эффективны, так как вредоносное ПО постоянно совершенствуется и мутирует, поэтому не всегда может быть однозначно распознано.



Рисунок 1 – Классификация вредоносного программного обеспечения

Поэтому представляется актуальным прогнозировать динамику распространения вредоносного ПО, что позволит оценить время и последствия распространения вредоносного ПО в ЛВС, а также оценить степень защищенности ЛВС от атак вредоносного ПО.

В настоящее время в литературе описаны различные модели распространения вредоносного программного обеспечения в компьютерных сетях. Эти модели делятся на группы (рисунок 2):

– аналитические модели. Процесс описывается системой дифференциальных уравнений, где применяются модели:

- SIS-модель размножения в условиях простой конкуренции (например, при удалении вредоносного ПО с компьютера и возможности повторного заражения);
- SIR-модель размножения (например, при удалении вредоносного ПО с компьютера и запрете повторного заражения);
- Модель подавления «контрагентом», активно сканирующим адресное пространство, удаляющим «агента» и «вакцинирующим» узел и т.д.

Недостатком аналитического моделирования является возможность исследования распространения только для известных и простых моделей размножения вредоносного ПО, а также не позволяет учитывать топологию ЛВС.

– Натурные модели. Разработка модели вредоносного ПО и проведение эксперимента на конкретной ЛВС.

Недостаток: сложность в проведении эксперимента, чаще всего проводят испытания на стенде.

– Имитационные модели. Этот подход позволяет избавиться от недостатков, присущих аналитическим моделям, учесть большинство факторов и исследовать степень их влияния на процесс распространения вредоносного ПО в сети.

Достоинства моделей:

- универсальность;
- простота программной реализации.

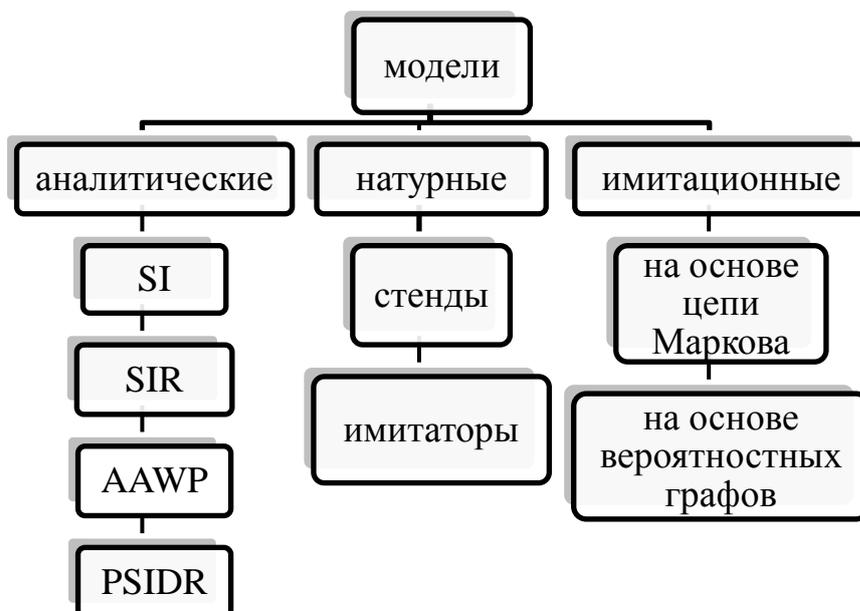


Рисунок 2 – Модели распространения вредоносного программного обеспечения

Предлагаемые в [3, 4, 5] модели обладают рядом недостатков, в частности не учитывается класс вредоносного ПО (особенности распространения, среда обитания, влияние на характеристики сети), вероятность наличия на некоторых узлах сети защиты от данного вида вредоносного ПО и т.д.

Для улучшения качества прогноза распространения вредоносного программного обеспечения в локальной вычислительной сети предлагается новая имитационная модель на основе вероятностного графа с расширенным набором моделируемых параметров.

Предлагаемая модель содержит следующие параметры:

1. структура сети (топология сети);
2. количество узлов (N);
3. модель адресного пространства;
4. для каждого узла вероятность заражения (ρ);
5. скорость заражения (V);
6. алгоритм поиска жертвы (например, выбор случайного IP- адреса из доступного адресного пространства);
7. возможность повторного заражения;
8. наличие иммунитета у узла сети (например, антивирусная защита) ($N_{и}$).

В качестве входных данных модель должна использовать следующее:

- структуру сети (топология сети);
- количество узлов (N);
- модель адресного пространства (каким образом организовано адресное пространство);
- для каждого узла сети задается вероятность заражения (ρ);
- пропускная способность (p);
- скорость заражения (V);
- возможность повторного заражения;
- наличие иммунитета у узла сети (например, антивирусная защита) ($N_{и}$).

Выходные данные:

- количество зараженных узлов в каждый момент времени;
- параметры сети в каждый момент времени;
- среднее время заражения сети и узла;
- средняя скорость распространения сетевого червя.

Прогнозирование динамики распространения вредоносного ПО позволяет оценить время и последствия распространения вредоносных программ в ЛВС, а также оценить степень защищенности ЛВС от атак.

Список литературы

- 1 Абдикеев Н.М. и др. Информационный менеджмент: Учебник /Под науч. ред. Н.М. Абдикеев. –М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 400 с.
- 2 Маленкович С. Классификация вредоносных программ [Электронный ресурс]: / С. Маленкович. – Электрон. текстовые дан. – М., 2013. – Режим доступа: <https://blog.kaspersky.ru/klassifikaciya-vredonosnyx-programm/2200/>
- 3 Далингер Я.М., Бабанин Д.В., Бурков С.М., Математические модели распространения вирусов в компьютерных сетях различной структуры [Текст] / Я.М. Далингер, Д.В. Бабанин, С.М. Бурков // Моделирование систем: сб. статей / - М., 2012
- 4 Носков С.В., Модель распространения вирусных атак в сетях передачи данных общего пользования на основе расчета длины гамильтонова пути [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (19.02.2008) / Носков Сергей Валерьевич; СПб ГУ ИТМО. – Санкт-Петербург, 2007. – 94 с.
- 5 Абрамов К.Г. , Модели угрозы распространения запрещенной информации в информационно-телекоммуникационных сетях [Текст]: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Абрамов Константин Германович; ВлГУ. – Владимир, 2014. – 117с.

СЕКЦИЯ №21.

МЕТОДОЛОГИЯ И ФИЛОСОФИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 09.00.08)

ПЛАН КОНФЕРЕНЦИЙ НА 2017 ГОД

Январь 2017г.

IV Межвузовская ежегодная научно-практическая конференция с международным участием **«Актуальные вопросы технических наук в современных условиях»**, г. Санкт-Петербург

Прием статей для публикации: до 1 января 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 февраля 2017г.

Февраль 2017г.

IV Межвузовская ежегодная научно-практическая конференция с международным участием **«Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом»**, г. Новосибирск

Прием статей для публикации: до 1 февраля 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 марта 2017г.

Март 2017г.

IV Межвузовская ежегодная научно-практическая конференция с международным участием **«Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения»**, г. Екатеринбург

Прием статей для публикации: до 1 марта 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 апреля 2017г.

Апрель 2017г.

IV Международная межвузовская научно-практическая конференция **«Актуальные вопросы науки и техники»**, г. Самара

Прием статей для публикации: до 1 апреля 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 мая 2017г.

Май 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция **«Проблемы и достижения в науке и технике»**, г. Омск

Прием статей для публикации: до 1 мая 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 июня 2017г.

Июнь 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция **«Вопросы технических наук: новые подходы в решении актуальных проблем»**, г. Казань

Прием статей для публикации: до 1 июня 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 июля 2017г.

Июль 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция **«Перспективы развития технических наук»**, г. Челябинск

Прием статей для публикации: до 1 июля 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 августа 2017г.

Август 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция «Технические науки в мире: от теории к практике», г. Ростов-на-Дону

Прием статей для публикации: до 1 августа 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 сентября 2017г.

Сентябрь 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция «Современный взгляд на проблемы технических наук», г. Уфа

Прием статей для публикации: до 1 сентября 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 октября 2017г.

Октябрь 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция «Технические науки: тенденции, перспективы и технологии развития», г. Волгоград

Прием статей для публикации: до 1 октября 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 ноября 2017г.

Ноябрь 2017г.

IV Международная научно-практическая конференция «Новые технологии и проблемы технических наук», г. Красноярск

Прием статей для публикации: до 1 ноября 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 декабря 2017г.

Декабрь 2017г.

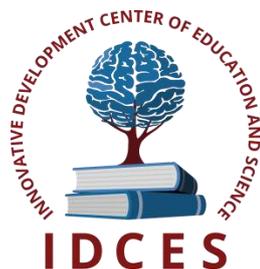
IV Международная научно-практическая конференция «Развитие технических наук в современном мире», г. Воронеж

Прием статей для публикации: до 1 декабря 2017г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 января 2018г.

С более подробной информацией о международных научно-практических конференциях можно ознакомиться на официальном сайте Инновационного центра развития образования и науки www.izron.ru (раздел «Технические науки»).

ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
INNOVATIVE DEVELOPMENT CENTER OF EDUCATION AND SCIENCE



**Вопросы современных технических наук: свежий взгляд
и новые решения**

Выпуск IV

**Сборник научных трудов по итогам
международной научно-практической конференции
(11 марта 2017 г.)**

г. Екатеринбург

2017 г.

Печатается в авторской редакции
Компьютерная верстка авторская

Подписано в печать 10.03.2017.
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 8,1.
Тираж 250 экз. Заказ № 033.

Отпечатано по заказу ИЦРОН в ООО «Ареал»
603000, г. Нижний Новгород, ул. Студеная, д. 58.