ТОЧНАЯ НАУКА

естественнонаучный журнал

XVII Международная научная конференция "Техноконгресс"

2017

Международная заочная естественнонаучная конференция с публикацией в РИНЦ

t-nauka.ru

КЕМЕРОВО 2017

СБОРНИК СТАТЕЙ СЕМНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ТЕХНОКОНГРЕСС»

20 ноября 2017 г.

ББК Ч 214(2Рос-4Ке)73я431

ISBN 978-5-9500488-5-2

Кемерово УДК 378.001. Сборник статей студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава. По результатам XVII Международной научной конференции «Техноконгресс», 20 ноября 2017 г. www.t-nauka.ru / Редкол.:

Никитин Павел Игоревич - главный редактор, ответственный за выпуск журнала.

Баянов Игорь Вадимович - математик, специалист по построению информационно-аналитических систем, ответственный за первичную модерацию, редактирование и рецензирование статей.

Артемасов Валерий Валерьевич - кандидат технических наук, ответственный за финальную модерацию и рецензирование статей.

Зимина Мария Игоревна - кандидат технических наук, ответственный за финальную модерацию и рецензирование статей.

Нормирзаев Абдукаюм Рахимбердиеви - кандидат технических наук, Наманганский инжинерно-строительный институт (НамМПИ)

Безуглов Александр Михайлович - доктор технических наук, профессор кафедры математики и математического моделирования, Южно-российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И .Платова,

Наджарян Микаел Товмасович - кандидат технических наук, доцент, Национальный политехнический университет Армении.

Шушлебин Игорь Михайлович - кандидат физико-математических наук, кафедра физики твёрдого тела Воронежского государственного технического университета.

Равшанов Дилшод Чоршанбиевич - кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технология, машины и оборудования полиграфического производства», Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими.

Крутякова Маргарита Викторовна – доцент кандидат технических наук, Московский политехнический университет.

Гладков Роман Викторович - кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации вооружения и военной техники Рязанского гвардейского высшего воздушно-десантного командного училища

А.О. Сергеева (ответственный администратор)[и др.];

Кемерово 2017

В сборнике представлены материалы докладов по результатам научной конференции.

Цель – привлечение студентов к научной деятельности, формирование навыков выполнения научно-исследовательских работ, развитие инициативы в учебе и будущей деятельности в условиях рыночной экономики.

Для студентов, молодых ученых и преподавателей вузов.

Издательский дом «Плутон» www.idpluton.ru e-mail: admin@idpluton.ru
Подписано в печать 20.11.2017 г.
Формат 14,8×21 1/4. | Усл. печ. л. 2.2. | Тираж 200.

Все статьи проходят рецензирование (экспертную оценку).
Точка зрения редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых статей.
Авторы статей несут полную ответственность за содержание статей и за сам факт их публикации.
Редакция не несет ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи.
При использовании и заимствовании материалов ссылка обязательна.

Оглавление

1. ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ LUN ДЛЯ СЕТЕЙ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ 3
Гриценко Ю.С., Дунаева А.А., Окишева К.Ю., Суюндукова А.А., Сагдеев А.К.

2. КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ГОРОДОВ.....7
Александрова Н.И., Родионова Е.С., Рогатовских Т.М.

3. УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ ФЧХ 9
Кузьмин Д.А.

4. ИМИТАЦИЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА С МИКРОСХЕМОЙ К1561ГГ1.....13
Киреев А.П., Иниватов Д.П., Саранский А.В., Дмитрюк В.Л., Ануфриев Е.В.

5. ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОГАЗА.....18
Калидоллина А.Т., Алимова К.К.

6. ГОРЕЛКИ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (ГИИ) ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ.....22
Куанышбай Н.Б., Унаспеков Б.А.

7. СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННОЕ ИНТЕГРАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ С ВЫРОЖДАЮЩИМСЯ ЯДРОМ.....25
Туйчиев О.Д.

8. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ТРЕХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ С МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ОФП ПРИ ПЛОЩАДНОМ ЗАВОДНЕНИИ.....32
Плохотников С.П., Климова А.С., Аль Джабри Адель Яхья Али, Ахмад Р.К.

9. АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПРОНИЦАЕМОСТЕЙ ФАЗ.....35
Плохотников С.П., Климова А.С., Аль Джабри Адель Яхья Али, Ахмад Р.К.

10. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ДВУХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ПЛОЩАДНОМ ЗАВОДНЕНИИ.....38
Плохотников С.П., Климова А.С., Аль Джабри Адель Яхья Али, Ахмад Р.К.

11. МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВИХРЕВОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ……..42
Абиров А.А., Аубакиров Д.А., Абдрахманов Р.К., Шарифов Д.М., Серикбаев Н.С., Махмудов Б.Н.

12. ДИНАМИКА ПЕРЕХОДА К ТЕПЛОВОМУ РАВНОВЕСИЮ В МАЛЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ……..……..46
Шушлебин И. М.

Статьи XVII Международной научной конференции «Техноконгресс»

Гриценко Юлия Сергеевна
Gritsenko Julia Sergeevna
студент, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, факультет ИВО, E-mail: gricenco.yulya@yandex.ru

Дунаева Анастасия Алексеевна
Dunaeva Anastasia Alexeevna
студент, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, факультет ИВО, E-mail: anastasiydunaeva@yandex.ru

Окишева Ксения Юрьевна
Okisheva Ksenia Yurievna
студент, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, факультет ИВО

Суюндукова Алина Аликовна
Suyundukova Alina Alikovna
студент, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, факультет ИВО

Научный руководитель
Сагдеев Александр Константинович
Sagdeev Alexander Konstantinovich
кандидат технических наук, старший преподаватель цикла многоканальных телекоммуникационных систем, средств и комплексов, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

УДК 004.4

ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ LUN ДЛЯ СЕТЕЙ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

LUN SECURITY CONCERNS FOR STORAGE AREA NETWORKS

Аннотация: SAN предлагает IT-отделам возможность подключения нескольких серверов в сети и предоставления совместного доступа к ресурсу хранения, подключенному к этой сети. LUN должны быть защищены от несанкционированного доступа или доступа к неограниченному хосту. Существует четыре подхода к обеспечению безопасности LUN: программное обеспечение хоста, утилиты адаптера хост-шины, зонирование зон или отображение в контроллере хранения.

Abstract: SAN offers IT departments the ability to connect multiple servers to a network and share access to a storage resource that is connected to that network. LUNs must be protected from unauthorized access or access to an unlimited host. There are four approaches to ensuring LUN security: host software, host bus adapter utilities, zone zoning, or display in the storage controller.

Ключевые слова: SAN, LUN, SCSI, зонирование, ПО.

Key words: SAN, LUN, SCSI, zoning, software.

Технология сети хранения данных (SAN) предлагает IT-отделам возможность подключения нескольких серверов в сети и предоставления совместного доступа к любому ресурсу хранения, подключенному к этой сети. SAN сокращают затраты за счет объединения ресурсов хранения, они также предоставляют данные на общем хранилище для доступа неавторизованных пользователей и перезаписываются несколькими узлами. Эти данные, которые адресованы логической единицей (LUN), должны быть защищены от несанкционированного доступа или доступа к неограниченному хосту. В настоящее время существует четыре подхода к обеспечению безопасности LUN: программное обеспечение хоста, утилиты адаптера хост-шины, зонирование зон или отображение в контроллере хранения.

Интерфейс малых компьютерных систем (SCSI) является основным протоколом для передачи данных между процессором хоста и устройствами хранения в операционных системах UNIX и Windows NT системы. SCSI основан на парадигме ведущего/подчиненного. Соединение между сервером и хранилищем открытых систем (UNIX или Windows NT) осуществляется через адаптер главной шины (HBA). HBA подключается к слоту на внутренней шине сервера и подключает кабель SCSI к запоминающему устройству или подсистеме. Известный как инициатор, HBA начинает передачу данных на целевое устройство и обратно. Хотя протокол SCSI поддерживает комбинацию инициаторов и целей на общей шине, ранее конфигурации были ограничены одним инициатором, поскольку большинство операционных систем не могут управлять общими устройствами. Первоначально HBA назывались контроллерами и взаимодействовали напрямую с дисками, которые первоначально служили целями. Когда на подсистеме хранилища на основе контроллера приходили на сцену, требовался другой уровень идентификации для адреса порта контроллера в подсистеме хранения, а также дисков, находящихся за контроллером. При новой маркировке инициатор увидит порт памяти, который был подключен к шине SCSI в качестве цели, и цель будет идентифицировать диски, стоящие за ней, как LUN. Сегодня блоки хранения адресуются на основе немного другой комбинации контроллера, цели и LUN. «Контроллер» теперь относится к идентификации адаптера главной шины на системной шине, а не к внешнему блоку управления хранилищем. Спецификации SCSI-2 поддерживают восемь LUN на цель. Новые спецификации SCSI-3 определяют кодированный 64-битный идентификатор, который позволяет использовать еще много LUN. Однако поставщик определяет максимальное количество LUN, доступных на любом устройстве.

Когда инициализируются шинные системы SCSI, драйвер SCSI в адаптере хост-шины будет «ходить» по шине, чтобы узнать, какие цели она занимает. Он просит каждую цель сообщать о LUN, к которым он подключается. Каждый инициатор, который имеет одну и ту же шину, будет видеть те же цели и LUN. Недостаток заключается в том, что поскольку на уровне LUN нет возможности резервирования, то несколько инициаторов могут перезаписывать данные друг друга. Это создает так называемую проблему безопасности LUN.

В UNIX LUN на шине SCSI могут быть разделены между системами. Системы UNIX будут видеть все LUN на шине, но позволят оператору монтировать или выбирать только LUN, на которые оператор имеет разрешение на использование. Система Windows NT предполагает, что ей принадлежат все LUN, которые она обнаруживает, и записывает подпись на каждом LUN во время процесса обнаружения. Эта подпись используется, чтобы гарантировать, что каждый обнаруженный LUN уникальный и не дублируется.

Проблема безопасности LUN становится намного больше в среде SAN. SAN позволяет многим другим адаптерам хост-шины SCSI подключаться к подсистемам хранения по сети (а не к шине) и получать доступ ко многим другим LUN. Цикл SAN Fibre Channel (FC-AL) может адресовать до 126 узлов, в то время как волоконная ткань может получить доступ к 16 миллионам узлов. Узел может быть инициатором SCSI или LUN с любым подключением к любому узлу в цикле или структуре. Для реализации полной возможности сети хранения данных необходимо решение для защиты LUN.

Ряд поставщиков программного обеспечения, таких как Data Direct, Mercury Computer Systems, CrosStor, Retrieve и другие, предоставляют промежуточное программное обеспечение, которое может помочь обеспечить безопасность LUN. Это программное обеспечение перехватывает запросы ввода-вывода и направляет их по локальной сети на файловый сервер, чтобы получить доступ к пулу хранилища, который управляется файловым сервером. Файловый сервер управляет файлами и предоставляет доступ к запрашивающей системе. Data Direct использует проприетарную файловую систему, в то время как другие используют более стандартные файловые системы, такие как NFS, NTFS или CIFS. Преимущество хост-программного обеспечения заключается в том, что он может обеспечивать централизованно управление безопасностью и блокировкой за пределами LUN до уровня блока. Этот уровень безопасности потребуется для будущего совместного использования данных. Реализация этого уровня в аппаратных средствах хранения невозможна до тех пор, пока уровень файла не станет доступным только для информации уровня блока за пределами хоста.

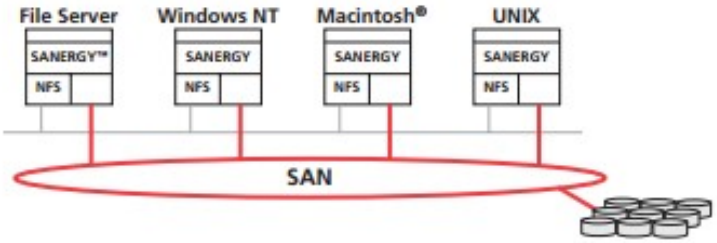

Рисунок 1: Программный подход к безопасности LUN. Файловый сервер контролирует метаданные файловой системы, а также распределения, авторизации, проверки подлинности и блокировки. Метаданные передаются по локальной сети со стандартной NFS. Клиентский агент перехватывает чтение/запись NFS и инициирует блок ввода-вывода в стандартную файловую систему NFS.

Если сеть Fiber Channel основана на коммутаторе типа ANCOR, Brocade или Vixel, зонирование переключателей может использоваться для обеспечения маскировки до уровня порта для всех узлов, которые известны коммутатору. Все LUN, подключенные к порту, могут маскироваться с хостов, которые не имеют доступа к этому порту с помощью зонирования коммутатора. Переключение зонирования не может маскировать отдельные LUN, которые расположены за портом. Все хосты, подключенные к одному порту, будут видеть все LUN, адресованные через этот порт. (Рис. 2, Пример выбора зонирования). Переключатели Fabric требуют, чтобы любой узел, который подключается к коммутатору, должен войти в коммутатор и зарегистрировать свой WWN в функции Simple Name Server (SNS) коммутатора. Внутренний 24-битный адрес присваивается каждому WWN в SNS. SNS может быть зонирован WWN, который имеет преимущество гибкости или аппаратным портом. Конфигурация, основанная на WWN, может быть динамически изменена для обслуживания. Недостатком зонирования WWN является то, что его можно подделать, если кто-то знает WWN. Зонирование по аппаратным портам менее гибкое, но имеет такое преимущество, как безопасность. В Hitachi Freedom Storage 7700E порт может быть зонирован утилитой коммутатора, а утилита диспетчера LUN в удаленной консоли 7700E может использоваться для назначения LUN для этого порта. Будущие реализации зонирования WWN проведут проверку источника WWN, чтобы устранить спуфинг с помощью несанкционированных WWN. Переключение зонирования легко реализуется через пользовательские интерфейсы управления, такие как Ethernet. Недостаток заключается в том, что он поддерживает только тех инициаторов, которые подключаются к коммутатору. Он не обеспечивает безопасность за пределами уровня порта подсистемы хранения и не может маскировать LUN от инициаторов, которые обращаются к одному и тому же порту хранения.

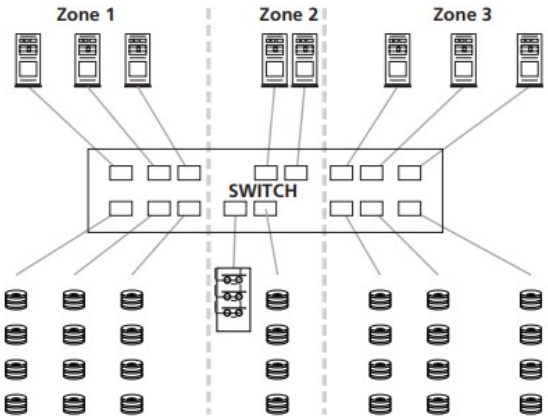

Рисунок 2: Пример выбора зонирования.

Некоторые подсистемы хранения, такие как Freedom Storage 7700E, имеют возможность выполнять маскирование LUN в своих контроллерах хранения. Через удаленную консоль,

подключенную к нескольким подсистемам хранения 7700E в частной локальной сети, WWN всех адаптеров главной шины с FC может быть сопоставлен с LUN, содержащимися в 7700E. Это позволяет нескольким адаптерам главной шины получать доступ к различным LUN через один и тот же порт хранения, независимо от любой промежуточной инфраструктуры SAN, например, концентраторов или коммутаторов. Утилиту безопасности LUN на удаленной консоли можно использовать для добавления или удаления LUN из маски для каждого WWN адаптера главной шины. После того, как это сопоставление будет установлено, инициаторы будут видеть только LUN, на которые у них есть разрешение на просмотр во время IOSCAN загрузки. Удаленная консоль может быть подключена к другой локальной сети, которая позволит запустить утилиту маскирования LUN с центральной консоли управления с помощью таких инструментов, как Remotely Possible или Symantec pcanywhere. Преимущество маскирования LUN в контроллере хранения заключается в том, что он позволяет многим другим хостам, таким как Windows NT, присоединяться к данному 7700E через общий порт Fiber Channel и по-прежнему поддерживать безопасность LUN. Он может работать в режиме «точка-точка» или через концентраторы, а также переключатели в режиме петли или ткани. Поскольку он основан на WWN адаптера главной шины, он не зависит от физического контура или адреса коммутатора. Эта маскировка LUN реализована или проверена во время IOSCAN загрузки, а не с каждым вводом-выводом, чтобы поддерживать высокую производительность 7700E. Тем не менее, пользователь с правильной авторизацией систем может изменять конфигурации после IOSCAN и обходить маску. Он должен быть переназначен, если адаптер главной шины не работает и нуждается в замене. Простота доступа к WWN адаптера главной шины зависит от операционной системы и драйвера. Hitachi Data Systems намерена интегрировать утилиту 7700E LUN Security Utility с программами управления SAN, такими как SANITI Computer Associates, которые могут обнаруживать и отображать все компоненты SAN.

В итоге, существуют четыре способа, с помощью которых сегодня обеспечивают безопасность LUN. В смешанной среде с множеством разных устройств хранения может возникнуть необходимость в реализации некоторых или всех этих методов. Со стороны авторизации и аутентификации нет защиты. Методы маскирования LUN работают корректно в хорошо организованной среде, но их можно легко обойти. Пользователь должен знать о недостатках каждой реализации и принимать дополнительные меры для обеспечения безопасности. Такие меры могут включать в себя процесс авторизации для доступа к этим функциям и реализацию нескольких методов маскирования для обеспечения перекрестной проверки между HBA и подсистемой хранения. В настоящее время координация и управление этими различными методами не интегрированы. Предоставляемые утилиты конфигурации, могут быть запущены с обычного рабочего стола, пользователю необходимо сопоставить конфигурации LUN и сервера в электронной таблице, чтобы координировать сопоставление через эти различные реализации.

Библиографический список:

1. Cometto M., Edsall T. J. Methods and apparatus for characterizing a route in fibre channel fabric : пат. 7206288 США. – 2007.
2. Ашихмин И. Применение технологий сетевого хранения данных для цифровых систем видеонаблюдения //Алгоритм безопасности. – 2007. – №. 6. – С. 76-78.
3. Schmidt F. The SCSI bus and IDE interface: protocols, applications and programming. – Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1997.
4. Омар А. Х. А. М., Татарникова Т. М. Оценка вероятностно-временных характеристик сетей хранения данных SAN //Программные продукты и системы. – 2009. – №. 4.

Александрова Наталья Игоревна
Alexandrova Natal'ya Igorevna
Магистрант, Липецкий государственный технический университет (г. Липецк)
E-mail: 79531205081@yandex.ru

Родионова Елизавета Сергеевна
Rodionova Elizabeth Sergeevna
Магистрант, Липецкий государственный технический университет (г. Липецк)
E-mail: lizavetaprivet@yandex.ru

Рогатовских Татьяна Михайловна
Rogachevskij Tatiana Mikhailovna
Канд. техн. наук, доцент, Липецкий государственный технический университет (г. Липецк)
E-mail: tat-rh@yandex.ru

УДК 725

КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ГОРОДОВ

THE CONCEPT OF DEVELOPMENT OF VERTICAL CITIES

Аннотация: в данной статье проанализирована история развития небоскрёбов и приведены факторы, которые являются предпосылками для развития «вертикальных городов».

Abstract: this article analyzes the history of development of skyscrapers and the factors that are prerequisites for the development of "vertical cities".

Ключевые слова: небоскрёбы, вертикальные города, эко-урбанизация.

Keywords: skyscrapers, a vertical city, an eco-friendly urbanization.

Современные города постепенно зарастают гигантскими небоскрёбами, которые стремятся ввысь на сотни метров. Сейчас это просто здания, но возможно, в скором будущем они превратятся в целые городские вертикальные системы.

Рис.1 20 самых высоких небоскребов, построенных в 2013 году.

С каждым годом увеличивается и количество небоскребов и их высота. Начиная с 1960 по 2014 года, количество этих гигантов выросло с единиц до сотни, а высота с 200 до 1200 метров. Такие здания уже сейчас имеют внутренние зеленые сады, зоны рекреаций, кафе, многочисленные офисы.

Технический процесс позволил начать строительство таких гигантов. Их оправданием являлась большая цена на земельные участки.

В 1970 году голландский архитектор Рем Колхас написал книгу «Обезумевший Нью-Йорк», в которой называет Манхеттен как явление не сформулированной архитектурной теории. Небоскреб он определяет как «город в городе». На каждом этаже существует свой собственный мир, не связанный с остальными: на 80 этаже расположен «дворец» , а на 75 «сельская хижина», но все эти разносторонние миры соединены одним единым каркасом . Здание становится множеством частных владений [1]. Небоскреб впервые описан как вертикальный город.

Предпосылками развития именно вертикальных городов в настоящее время являются следующие факты:

1) рост численности населения;

2) эко-тенденции в развитии городов.

Показатель численности населения земли в 19 веке ровнялся одному миллиону, а на сегодняшний день составляет 7,3 миллиарда! Население стремительно растет, а вместе с этим и сокращается территория земли. Городам в скором времени станет трудно справляться с приростом населения, что проявляется уже и сейчас: огромные пешеходные потоки, километровые автомобильные пробки. Развитие городов в вертикальной динамике позволит разгрузить горизонтальные сети. Внутри этой вертикали будет располагаться все, что необходимо людям для комфортной жизни: больницы, школы, магазины, парки и все это будет в шаговой доступности, то есть отпадет надобность в транспорте, а тем самым и уменьшить выброс вредных веществ в окружающую среду.

Сейчас все больше говорят о том, что в скором будущем мы увидим вертикальные города, которые будут полностью функционировать за счет самих себя: солнечный свет, ветер, дождь и тепло земли помогут в этом. Система сбора и очистки дождевой воды, солнечные панели, котлы утилизации – эти и другие системы позволят сделать здание автономным.

Множество архитекторов создают проекты вертикальных городов, которые похожи на целые миры из фантастических фильмов (рис.2).

а)

б)

Рис.2 а) Гранд-сити б) 3D-город

Несколько десятилетий назад мы и представить себе такого не могли, но уже сейчас много из того, что казалось несбыточным реализовано. Строительство вертикальных городов позволит решить серьезные насущные проблемы. Единственным серьезным препятствием является психологический барьер людей: мы привыкли жить в горизонтальных городах.

Библиографический список:

1. Вертикальные города [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://artelectronics.ru/posts/vertikalnye-goroda

2. Батьков,Е.В. Вертикальные города/ Е.В. Батьков // Ростовский научный журнал – 2017. - №5. – С. 636- 657.

Кузьмин Дмитрий Александрович
магистрант 1-го года обучения кафедры ИКТСС
Национальный исследовательский Мордовский
государственный университет им. Н.П. Огарёва
г. Саранск, Российская Федерация
E-mail: dmkuzmin@outlook.com

Kuzmin Dmitriy Aleksandrovich
undergraduate 1st year of study of the Department of ICTSS,
National research Mordovia
state University. N. P. Ogarev,
Russian Federation, Saransk.
E-mail:dmkuzmin@outlook.com

УДК 621.3

УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ ФЧХ

DEVICE FOR AUTOMATIC PFC MEASUREMENT

Аннотация: Разработано устройство для автоматического измерения ФЧХ четырехполюсников, входящего в состав универсального лабораторного стенда, построенного на базе квадратурного генератора гармонических колебаний.

Abstract: The device for automatic measurement of the PFC of the quadripole, which is part of a universal laboratory stand, built on the basis of a quadrature generator of harmonic oscillations, has been developed.

Ключевые слова: ФЧХ, автоматическое измерение ФЧХ, лабораторный модуль

Keywords: PFC, automatic measurement of PFC, laboratory module

Одной из важнейших составляющих инженерного образования являются лабораторные работы, проведение практикумов по базовым учебным дисциплинам обще-профессиональной и специальной подготовки, которые помогают студентам закрепить лекционный материал, а так же проверить степень понимания и усвоения основных положений курсов [1, 2].

Задача заключается в построении лабораторного стенда для автоматического измерения фазо-частотной характеристики (ФЧХ) четырехполюсников, предназначенного для обучения студентов института электроники и светотехники.

Спроектированный нами лабораторный стенд для автоматического измерения ФЧХ основан на методе, используемом в фазометрах среднего значения, описанном в [3, стр. 304].

Данный метод схож с описанным в [5] цифровым фазометром. Отличие этих двух методов заключается в двух функциональных блоках. Данные блоки добавлены для уменьшения погрешности измерения.

Выбор этого способа был осуществлен исходя из анализа способов измерения фазы, их схемотехнической реализации, возможности их автоматизации и требуемой точности измерения.

Структурная схема лабораторного модуля изображена на рисунке 1.

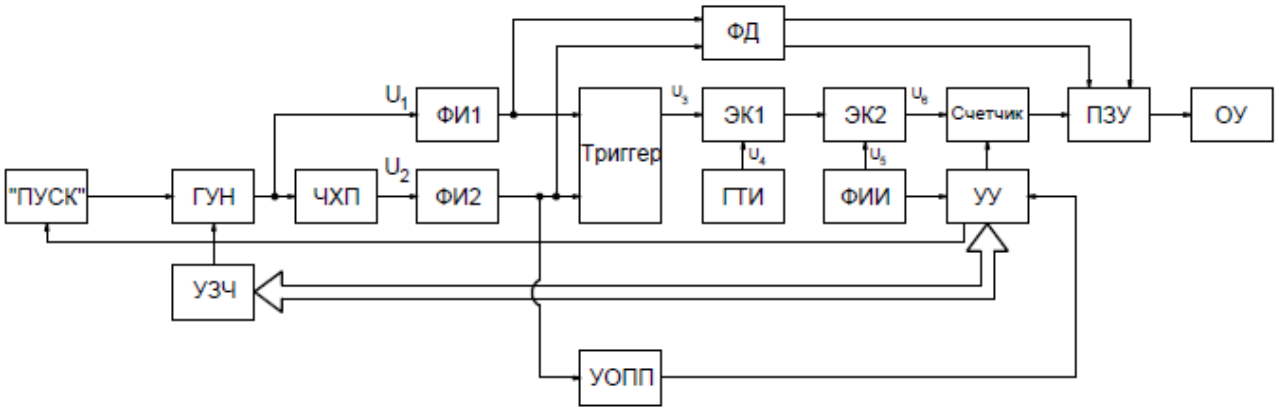

Рисунок 1 – Структурная схема устройства

Структурная схема лабораторного модуля состоит из: ГУН – генератор управляемый напряжением, ЧХП – четырехполюсника, ФИ1 и ФИ2 – 1-ого и 2-ого формирователя импульсов; ЭК1 и ЭК2- 1-ого и 2-ого электронных ключей, ГТИ – генератора тактовых импульсов, ФИИ – формирователя измерительного интервала, ФД – фазового детектора, УУ – устройства управления, УОПП – устройства определения переходного процесса, УЗЧ – устройства задания частоты, ПЗУ – постоянного запоминающего устройства, ОУ – обрабатывающего устройства, триггера, счетчика.

Принцип работы данного устройства удобно анализировать, выделяя в нем функционально законченные устройства.

ФИ1, ФИ2 и триггер составляют преобразователь фазового сдвига во временной интервал. Задача его заключается в преобразовании фазового рассогласования между эталонным сигналом и сигналом, прошедшим через четырехполюсник, в интервал времени $(рис.1, U_3)$. ФИ1 и ФИ2 преобразуют сигналы синусоидальной формы в прямоугольные импульсы. Поступающие импульсы с ФИ1 и ФИ2 поочередно устанавливают и сбрасывают триггер. Это позволяет получить импульс характеризующий фазовый сдвиг.

Временные диаграммы работы устройства изображены на рисунке 2.

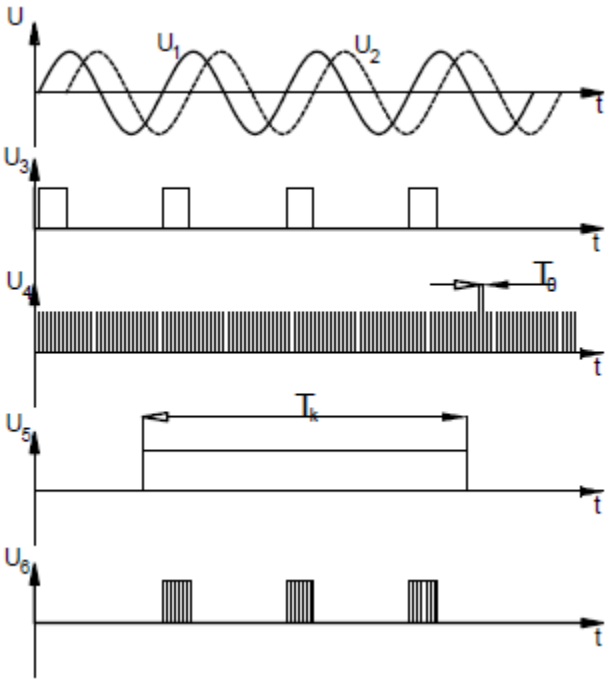

Рисунок 2 – Эпюры напряжений устройства

Следующим законченным функциональным блоком является преобразователь интервала времени в количество импульсов. В него входят ЭК1, ЭК2, ГТИ, ФИИ, УУ и счетчик. Импульсы из преобразователя фазового сдвига в интервал времени поступают на 1-ый электронный ключ. С помощью ГТИ (T_0), данный импульс квантуется и отправляется на следующий, второй электронный ключ. Формирователь измерительного интервала, формирует интервал измерения (U_5) исходя из

частоты сигнала. В этот интервал проходит несколько квантованных импульсов (U_6) с первого электронного ключа. Такой способ позволяет увеличить точность устройства – уменьшается погрешность дискретизации, погрешности от шумовых помех и т. д. Величина фазового сдвига определяется по формуле:

$$\Delta\varphi = N\frac{360^o}{K_\partial} = \frac{N}{k},$$

где $K_\partial = \frac{T_k}{T_0}$,N – общее количество квантующих импульсов в одном измерительном интервале.

Другим функционально завершенным блоком является фазовый детектор. Фазовый детектор может работать в трех режимах.

- в режиме определения модуля фазового сдвига;
- в режиме определения знака фазового сдвига;
- в комбинированном режиме.

Так как данный фазометр определяет модуль фазового сдвига другим методом, то мы используем ФД в режиме определения знака фазового сдвига. В дальнейшем ФД, работающий в таком режиме будет называть фазовым компаратором ФК [4].

В качестве генератора, управляемого напряжением, использован управляемый генератор описанный в [6]. Данный генератор выбран потому, что обладает высокой скоростью установки переходного процесса при изменении частоты, низкими коэффициентами нелинейных искажений и гармонических искажений [6, табл.1].

Устройство определения переходного процесса [6], определяет окончание переходного процесса. Данное устройство необходимо для уменьшения погрешности измерения.

Устройство задания частоты предназначено для управления частотой генератора. Один из возможных способов реализации данного устройства описан в [7, 8]. Данное устройство способно изменять значение напряжение на выходе при получении одиночного цифрового импульса.

Фазометр работает следующим образом.

Измерение начинается после нажатия кнопки “ПУСК”.

Фазовое рассогласование, при помощи преобразователя фазового сдвига в интервал времени, между сигналами U_1 и U_2 преобразуется в интервал времени. Полученный сигнал (рис. 2 U_3) после определения отсутствия переходного процесса поступает на преобразователь временного интервала в количество импульсов, где он квантуется. Полученные импульсы (рис. 2U_6) поступают на вход счетчика, где подсчитывается количество полученных импульсов. Параллельно с этим ФК определяет знак фазового рассогласования и отправляет данные о знаке в ПЗУ. В результате данных действий в ПЗУ формируется информация о частоте, модуле фазового рассогласования и знаке фазового рассогласования.

После окончания 1 шага измерения (рис. 2U_5), устройство управления сбрасывает счетчик и меняет значение частоты генератора при помощи УЗЧ. И все повторяется вновь до окончания измерительного интервала.

Заключение

В данной статье рассмотрен способ построения быстродействущего устройства для автоматического измерения ФЧХ с погрешностью измерения не более 0,1 % и диапазоном измерения 1-100 кГц.

Библиографический список:

1. Дубровин В. С. Роль виртуальных лабораторных работ в повышении качества подготовки бакалавров по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»/ В. С. Дубровин, В. В. Никулин // Интеграция образования. – 2014. - №1(74)_. – С. 109-115.

2. Карев А. Н. Разработка демультиплексора для виртуальной лабораторной работы в среде PSIM / А. Н. Карев // В сб.: Новые информационные технологии в науке. Сборник статей международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 81–84.

3. Нефедов В. И. Метрология и радиоизмерения: учеб. для вузов/ В. И. Нефедов, А. С. Сигов, В. К. Битюков и др.; под ред. В. И. Нефедова – 2-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 2006. – 526 с.: ил.

4. Пат. RU 2557 448 C2 Российская федерация, МПК H03D 13/00. Цифровой фазовый детектор (варианты)/ Г. Р. Аванесян.; заявитель и патентообладатель Г. Р. Аванесян - № 2014110461/08; заявл. 18.03.2014; опубл. 20.06.2014, Бюл № 17. – 2 с.: 1 ил.

5. Кузьмин Д. А. Классификация методов измерения ФЧХ / Д. А. Кузьмин // В сб.: Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем. – Уфа: АЭТЕРНА. – 2017. – С. 58–61.

6. Пат. 2506692 Российская Федерация, МПК Н 03 В 27/00. Управляемый генератор / Дубровин В. С.; заявитель и патентообладатель Дубровин Виктор Степанович. – № 2012137334/08; заявл. 31.08.12; опубл. 10.02.14, Бюл. № 4. – 15 с.: 11 ил.

7. Карев А. Н. Цифровой блок управления двухфазного генератора гармонических колебаний / А. Н. Карев, Д. А. Кузьмин // Символ науки. – 2016. - № 11-3 (23). – С. 80–83.

8. Карев А. Н. Цифровой блок управления напряжением / А. Н. Карев, Д. А. Кузьмин // В сб.: XLV Огаревские чтения. Материалы научной конференции в 3-х частях. – 2017. – С. 293–297.

Киреев Александр Павлович
студент 3 курса
Иниватов Даниил Павлович
студент 3 курса
Саранский Александр Витальевич
студент 3 курса

Научные руководители:
Дмитрюк Вячеслав Леонидович
Ануфриев Евгений Владимирович

Kireev Alexander Pavlovich
Student, Omsk State Technical University

Inivatov Daniil Pavlovich
Student, Omsk State Technical University

Saranskiy Alexander Vitalievich
Student, Omsk State Technical University

Dmitriuk Vyacheslav Leonidovich
Associate Professor, Omsk State Technical University

Anufriev Evgeniy Vladimirovich
Associate Professor, Omsk State Technical University

УДК 621.396.6.52

ИМИТАЦИЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА С МИКРОСХЕМОЙ К1561ГГ1

IMITATION OF THE LABORATORY STAND WITH MICROCIRCUIT K1561GG1

Аннотация: разработано программное обеспечение, эмитирующее стенд с микросхемой К1561ГГ1 для проведения лабораторных работ. Рассмотрены поведение программы до момента захваты частоты, после захвата частоты. Приведен алгоритм выполнения работы.

Abstract: software was developed that emits a stand with the K1561GG1 chip for laboratory work. The behavior of the program up to the instant of frequency capture is considered, after the frequency capture. An algorithm for performing the work is given.

Ключевые слова: полоса захвата, полоса удержания, программное обеспечение, программирование, опорный генератор, лаораторная работа.

Key words: capture band, holdband, software, programming, reference oscillator, lazer work.

I.Введение

Учебный процесс по подготовке специалистов в высшем учебном заведении – это совокупность систем организации, управления, развития, а также многостороннего формирования специалиста по той или иной квалификации. Учебный процесс включается в себя:

- лекции;
- семинары;
- практикумы;
- самостоятельные работы;
- лабораторные работы и др.

Лабораторная работа проводится с целью закрепления теоретических знаний на практике. К сожалению, высшая школа, в которой обучается будущий специалист, не всегда имеет в распоряжении необходимое количество оборудования – отсутствует возможность выделить индивидуальный стенд каждому обучающемуся.

II.Постановка задачи

Задача данной работы заключается в разработке программного обеспечения, имитирующего стенд с микросхемой К1561ГГ1, для проведения лабораторной работы «Исследование системы фазовой автоподстройки частоты», а также его проверки на корректную работоспособность.

III.Теория

Система фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) – система автоматического регулирования, которая подстраивает фазу генератора ❑$_г$ так, чтобы она была равна фазе опорного сигнала ❑$_о$, с помощью наличия отрицательной обратной связи.

Генератор, управляемый напряжением (ГУН) – электронный генератор, в котором частота колебаний f непосредственно зависит от подаваемого на генератор управляемого напряжения U.

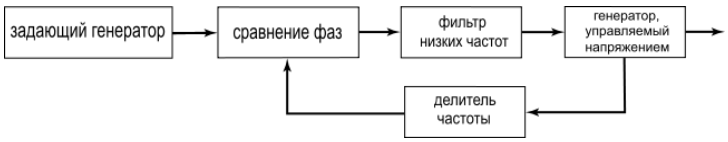

Рис. 1. Функциональная схема ФАПЧ

Программное обеспечение реализуется в интегрированной среде разработки Microsoft Visual Studio 2015 на языке программирования C#. В продукте используется 17 глобальных переменных, см. Табл.1, необходимых для корректировки основных значений с целью обеспечения достаточного количества вариантов данной лабораторной работы. Корректировка значений доступна только преподавателям. Уровень защиты обеспечивает пароль.

ТАБЛИЦА 1
ХАРАКТЕРИСТИКА ГЛОБАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Сокращенное название	**Полное название**	**Характеристика**	**Начальное значение**
a1	*maxValueOfFrequency*	*Максимальное значение частоты*	750 кГц
a2	*minValueOfFrequency*	*Минимальное значение частоты*	250 кГц
a3	*frequencyOfGenerator*	*Частота опорного генератора*	500 кГц
a4	*maxHoldband*	*Максимальное положение частоты полосы удержания*	650 кГц
a5	*minHoldband*	*Минимальное положение частоты полосы удержания*	350 кГц
a6	*maxLane*	*Максимальное значение полосы захвата*	600 кГц
a7	*minLane*	*Минимальное значение полосы захвата*	400 кГц
a8	*voltageOfReferenceOscillator*	*Напряжение опорного генератора*	0 В
a9=a14	*phaseShiftOfReferenceOscillator*	*Фазовый сдвиг опорного генератора*	90º
a10	*minVoltageOfLane*	*Минимальное напряжение полосы захвата*	-2 В
a11	*maxVoltageOfLane*	*Максимальное напряжение полосы захвата*	2 В
a12	*minVoltageOfHoldband*	*Минимальное напряжение полосы удержания*	-2.5 В
a13	*maxVoltageOfHoldband*	*Максимальное напряжение полосы удержания*	2.5 В
a15	*minPhaseOfLane*	*Минимальный фазовый сдвиг полосы захвата*	70º

a16	*maxPhaseOfLane*	*Максимальный фазовый сдвиг полосы захвата*	110º
a17	*minPhaseOfHoldband*	*Минимальный фазовый сдвиг полосы удержания*	60º
a18	*maxPhaseOfHoldband*	*Максимальный фазовый сдвиг полосы удержания*	120º

Все вышеперечисленные переменные могут изменяться в зависимости от требований преподавателя. Для этого разработана отдельная форма, отвечающая за настройки – значения величин. Для корректного заполнения преподавателем данных величин в программный продукт встроена автоматическая проверка:

$a1>a4>a6>a3>a7>a5>a2-\textit{проверка частот};$

$a13>a11>a8>a10>a12-\textit{проверка напряжений};$

$a18>a16>a14=a9>a15>a17-\textit{проверка фазовых сдвигов}.$

В случае, если преподаватель введет данные, не удовлетворяющие автоматической проверке, программа выдаст ошибку и попросит ввести корректные данные.

При создании программного обеспечения использовались стандартные компоненты Microsoft Visual Studio, такие как: Label, PictureBox, TextBox, trackBar, Button и др. В процессе было создано 3 формы: форма, эмитирующая лабораторный стенд «рис. 2», форма, отвечающая за настройки, форма, содержащая в себе сведения об авторах.

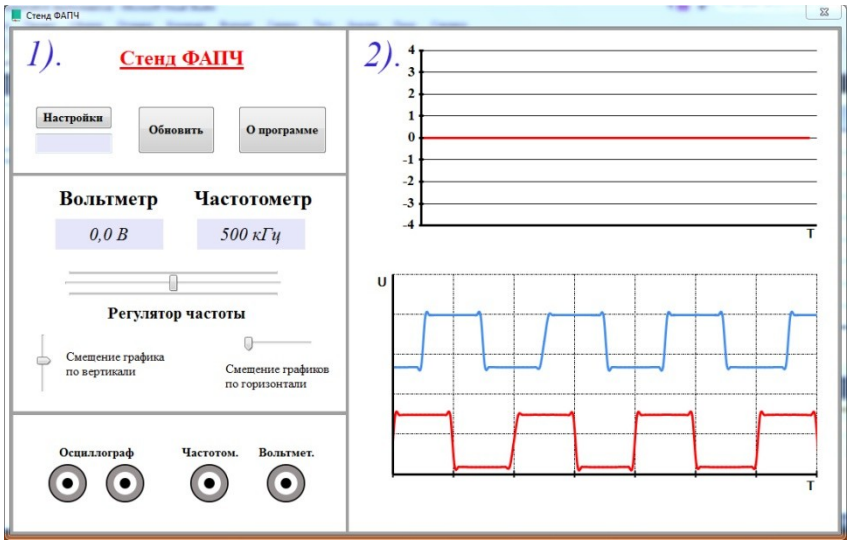

Рис. 2. Форма, эмитирующая лабораторный стенд

IV.Результаты экспериментов

В ходе испытаний было выявлено, что *при отсутствии полосы захвата* (частоты генератора, управляемого напряжением, и опорного генератора не совпадают), пользователь видит следующие графики:

- прямоугольные импульсы опорного генератора наблюдаются четко, в то время как импульсы генератора, управляемого напряжением, «плывут» «рис. 3»;
- на выходе фазового детектора наблюдается биение частот опорного генератора и генератора, управляемого напряжением «рис. 4».

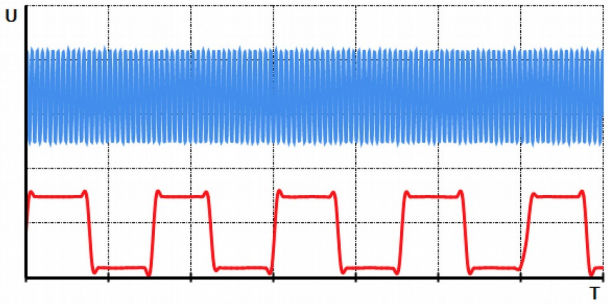

Рис. 3. Внешний вид графиков до момента захвата частоты

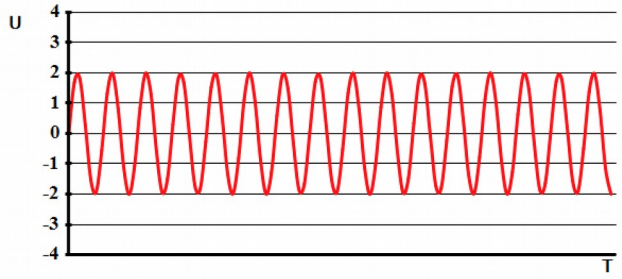

Рис. 4. Биение между частотами генератора, управляемого напряжением, и опорным генератором до момента захвата

При изменении частоты опорного генератора в пределах *полосы удержания* пользователь будет наблюдать следующие графики:

- импульс генератора, управляемого напряжением, также станет четким, а сдвиг фаз между генератором, управляемым напряжением, и опорным генератором будет равняться 90º «рис.5»;
- при стремлении частоты опорного генератора к участку захвата биения преобразуются в постоянную составляющую «рис. 6».

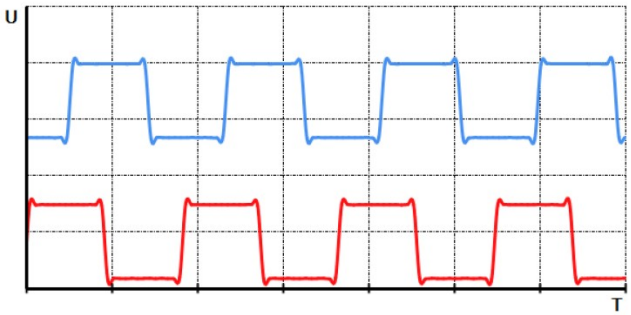

Рис. 5. Внешний вид графиков после захвата частоты

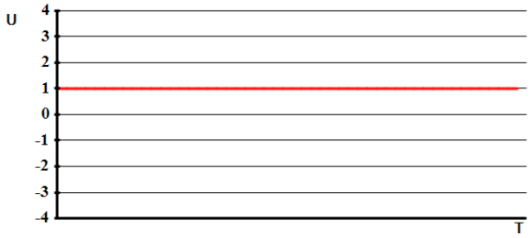

Рис. 6. Постоянная составляющая на выходе фильтра низких частот в момент захвата

V.Обсуждение результатов

После определения внешнего вида графиков до момента захвата частоты и после захвата частоты можно представить алгоритм, на который обучающийся будет ориентироваться при выполнении данной лабораторной работы.

1. Определить область рабочих частот, в которых происходит захват и удержание.
2. Зафиксировать значения нижней и верхней частот полосы удержания, полосы захвата.
3. Проверить удержание частоты генератора, управляемого напряжением.
4. Зафиксировать напряжение на выходе фильтра низких частот.
5. Построить зависимость частоты генератора, управляемого напряжением, и постоянного напряжения на выходе фильтра низких частот от частоты генератора, управляемого напряжением.

VI. Выводы и заключение

Таким образом, лабораторная работа «Исследование системы фазовой автоподстройки частоты» была успешно сымитирована в программный продукт с помощью среды разработки Microsoft Visual Studio 2015 на языке программирования C#. Составлен алгоритм, необходимый для успешного выполнения данной работы.

Библиографический список:

1. Богачков И.В., Майстренко В.А. Основы радиоавтоматических систем. Учебное пособие. – Омск: Изд-во ОмГТУ. - 2009. - 175 с.

2. Богачков И.В. Основы радиоавтоматических систем. Практикум. – Омск: Изд-во ОмГТУ. - 2009. - 91 с.

Қалидоллина Айымгүл Талғатқызы
Алимова Куляш Кабпасовна
Научный руководитель
доцент технических наук
Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева
Институт строительство и архитектуры имени Т.Басенова
Кафедра: Инженерные сети и системы, г. Алматы, Казахстан

Kalidollina A.
Alimova K.
Scientific supervisor
assistant professor of technical sciences
Kazakh National Research Technical University named after K.I.Satpayev
Institute of Construction and Architecture of T. Basenov
Major: engineering networks and systems, Almaty, Kazakhstan
E-mail: aiumgul_94@mai.ru

УДК 631.371:620.92

ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОГАЗА

REVIEW OF THE CURRENT STATUS OF ENERGY FROM THE USE OF BIOGAS

Аннотация: Рассмотрены современные биогазы в СНГ, Казахстане и в дальнем зарубежье. Описаны современные биогазовые установки, используемые для получения энергии, а также они вполне успешно дополняют ряд устройств, относящихся к альтернативной энергетике.

Ключевые слова: биогаз, сельское хозяйство, энергия, ресурсы, биоэнергетика, биомасса, отходы.

Annotation: The modern biogas in the CIS, Kazakhstan and abroad. The modern biogas plants used to produce energy, and they are quite successfully complement a number of devices related to alternative energy.

Keywords: biogas, agriculture, energy resources, bio-energy, biomass, waste.

Одним из забытых видов сырья является биогаз, использовавшийся ещё в Древнем Китае и вновь открытый в наше время. Биогаз – газообразный продукт, получаемый в результате анаэробной, т.е. происходящей без доступа воздуха, ферментации органических веществ самого разного происхождения. Его основные компоненты: метан (CH4) – 55–70% и углекислый газ (CO2) – 28–43%, а также в очень малых количествах другие газы, например сероводород (H2S).

В последние годы значительно возросла заинтересованность к процессам производства биогаза – это проявляется не только в возрастающем количестве планирующихся и строящихся биогазовых установок, но и в заинтересованности все большего числа фермеров, коммунальных хозяйств, предприятий, политиков и частных хозяйств, которые внимательно наблюдают за развитием этого сектора. Энергетическая отрасль уже также не относится с такой осторожностью к децентрализации производства благодаря строительству биогазовых установок. Для пищевой промышленности, гастрономии, больших ресторанов, учреждений общественного питания и предприятий по переработке пищевых отходов технология производства биогаза предоставляет шанс дешевой утилизации органических отходов и остатков продуктов питания в биогазовых установках с пользой для сельского хозяйства. Эта технология завоевывает также все больше сторонников среди людей, лично убедившихся в ее пользе для окружающей среды [1].

В настоящее время в СНГ и дальнем зарубежье запрос биогаза выше чем другие. До 1993 г. количество биогазовых установок в Германии возросла до более чем 250, из них около 130 находились в Баварии и 80 в Баден-Вюртемберге. Лишь появление закона, гарантирующего возможность продавать электроэнергию в общественные сети от 1990 г. с относительно низкой оплатой такой энергии в размере лишь 10 центов/кВт, привел к увеличению количества установок почти в четыре раза до 1000 установок по состоянию на 2000 г. Повышение тарифов за

электроэнергию, подающуюся в электросети и гарантия покупки электричества (2000 г.) вызвали возрастание количества установок на 250% только на протяжении четырех лет. Полный прорыв произошел в 2004 г., когда было принято закон ЕС о поощрении возобновляемых источников энергии, после которого только на протяжении одного года количество установок возросла на 4000 (работающих установок и строящихся Изобр. 1.8). Таким образом, Германия, по количеству биогазовых установок сельскохозяйственного применения стала в этой сфере европейским лидером. [2]

Процессы разложения органических отходов с получением горючего газа и его использованием в быту известны давно: в Китае их история насчитывает 5 тыс. лет, в Индии – 2 тыс. лет. Природа биологического процесса разложения органических веществ с образованием метана за прошедшие тысячелетия не изменилась. Но современные наука и техника создали оборудование и системы, позволяющие сделать эти “древние” технологии рентабельными и применяемыми не только в странах с теплым климатом, но и в странах с суровым континентальным климатом, например в Казахстане.

Агропромышленный комплекс Казахстана сегодня сталкивается с проблемой утилизации огромного количества отходов – чаще всего они просто вывозятся с территорий ферм и складируются. Это приводит к проблемам окисления почв, отчуждению сельскохозяйственных земель (более 2 млн га сельскохозяйственных земель заняты под хранение навоза), загрязнению грунтовых вод и выбросам в атмосферу метана – парникового газа. Если на государственном уровне ставится задача интенсивного развития сельского хозяйства с высоким уровнем эффективности и глубины переработки, эту проблему необходимо решать.

Отходы АПК, которые необходимо утилизировать, сами по себе являются существенным энергетическим ресурсом, так как с разной степенью эффективности возможно получение биогаза почти из всех видов сельскохозяйственных отходов. Таким образом, развитие биогазовой энергетики – это не только возможное решение проблемы отходов, но и еще решение энергетических проблем сельского хозяйства.

А эти проблемы существуют: большая часть регионов с развитым сельским хозяйством, соответственно, с высокой концентрацией ресурсов для производства биогаза (Южно-Казахстанская, Северо-Казахстанская, Западно-Казахстанская, Алматинская и Акмолинская область) являются энергодефицитными (приходится 2 кВт/ч. в сутки на человека, тогда как в среднем по стране этот показатель в 5 раз выше) и энергоснабжение сельхозпроизводителей здесь осуществляется по остаточному принципу. Во всех сельскохозяйственных регионах существует проблема крайне низкой степени доступности объектов энергетической инфраструктуры.

В количественном выражении, потенциал переработки отходов сельскохозяйственного производства в Казахстане оценивается в 35 млрд. кВт/ч, и 44 Гкал тепловой энергии в год . Если весь биогаз будет перерабатываться на когенерационных установках, это позволит обеспечить суммарные потребности экономики в электроэнергии, в тепловой энергии и в природном газе или же полностью обеспечить сельские районы доступом к природному газу и тепловой мощности. Кроме того, если использовать биогаз для производства электроэнергии, себестоимость ее оказывается всего 0,025-0,075 доллара за кВт/ч, в то время как электроэнергия от традиционных источников обходится в 0,1-0,15 доллара за кВт/ч.

Другим потенциальным направлением является использование биогаза, который производится из отходов ферм и птицефабрик, на сельскохозяйственных предприятиях на собственные нужды.Казахстан имеет значительное поголовье скота и птицы. Потенциал производства метана из отходов крупного рогатого скота составляет более 85 тыс. тонн, или более 52 тысяч т.н.э.

Исходя из выше сказанного, сырьём для получения биогаза может являться не только навоз, но идругие органические отходы: зерновая и меласная послеспиртовая барда, пивная дробина, свекольный жом, фекальные осадки, отходы рыбного и забойного цеха (кровь, жир, кишки, каныга), трава, бытовые отходы, отходы молокозавода — лактоза, молочная сыворотка, отходы производства биодизеля — технический глицерин от производства биодизеля из рапса, отходы от производства соков — жом фруктовый, ягодный, виноградная выжимка, водоросли, отходы производства крахмала и патоки — мезга и сироп, отходы переработки картофеля, производства чипсов — очистки, шкурки, гнилые клубни.

В мировой структуре энергопотребления возобновляемые источники энергии (ВИЭ) занимают около 7%. В Казахстане доля ВИЭ в энергобалансе менее 0,5%, потенциал ВИЭ в Казахстане огромен – около 1 трлн. кВт/ч в год (примерно в 10 раз больше потребления электроэнергии в стране). Но реально «зеленой» энергии вырабатывается около 0,4-0,5 млрд. кВт/ч в год. То есть потенциал ВИЭ сегодня реализован на 0,05% в Казахстане. Но до 2014 года доля альтернативной энергетики в балансе Республике должна вырасти минимум вдвое.

В целом же перспективы развития производства и использования биогаза в республике очень хороши. Этому способствует существование значительного количества органического сырья, простота технологии получения и использования биогаза, а также тот потенциал, который предоставляет биогаз при замене им традиционных источников энергии для выработки электричества и тепла.

Для успешной реализации введения биогазовой программы Казахстану необходимо взять уроки у Китая, воспользоваться их кластерами. Инвистиции должны исходить не только от Министерства сельского хозяйства, Министерсва финансов РК, а также можно привлечь Мировой Банк New Countryside and Eco-household Program, Азиатский Банк развития и другие программы. Так как переняв зарубежный опыт, мы решаем экологические, экономические, энергетические, модернизационные и социальные проблемы.[3]

Биогазовые установки станут неплохим подспорьем в хозяйстве. К тому же сырьем для нее станет то, чего всегда в избытке: навоз, пищевые отходы, опавшая листва, сгнившее зерно, ботва и т.п., то, что обычно идет в компостную яму. Такая культура, как топинамбур, является отличным сырьем для биотоплива, а в нашей стране можно засевать им до 160 тыс. га площади. При производстве спирта как побочный продукт получают послеспиртовую барду, из которой можно производить и биогаз и добавки с витамином В12 для применения в животноводческой отрасли, повышающие ее продуктивность. Поэтому производство биогаза особенно эффективно в агропромышленных комплексах, где обеспечивается практически замкнутый технологический цикл. Биогаз можно накапливать, перекачивать, излишки продавать. Для заправки автомобилей устанавливается дополнительная система очистки биогаза, после чего его можно использовать как топливо. Очищенным биогазом можно заправлять технику, что очень актуально в настоящее время, в условиях постоянного роста цен на солярку. Побочный продукт очистки — углекислый газ, от которого тоже можно получить некоторую прибыль — использовать как сухой лед, для газировки или в технических целях. На рисунке 1 показано обобщенная схема биогазовой устновки:

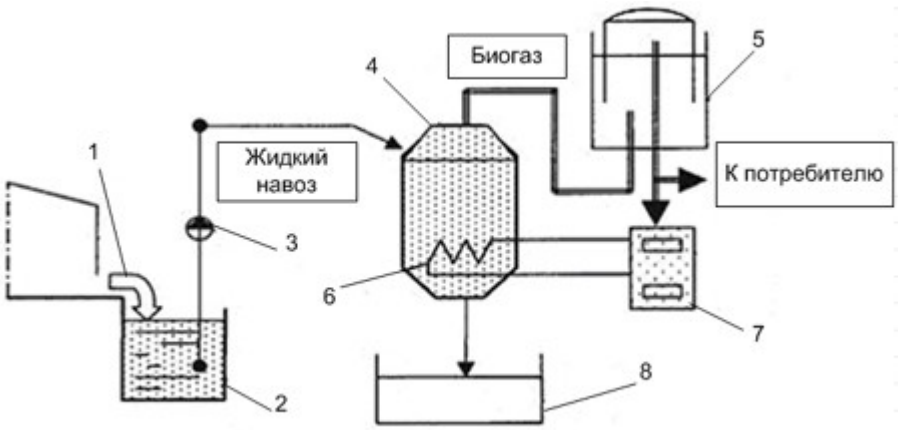

Рисунок 1.

1 - ферма;2 – резервуар для хранения навоза;3 - насос;
4 - метантанк;5 - газгольдер;6 - теплообменник; 7 - котел;
8 - хранилище удобрения

В 2004 году в мире насчитывалось около 3,8 млн транспортных средств, заправляемых биогазом. Больше всего их в Италии, Бразилии, Аргентине, Пакистане. Причины использования биогаза как топлива: уменьшение выброса углекислого газа, снижение импорта энергоносителей, уменьшение выброса метана. После очистки биогаз транспортируется на заправочные станции. [4].

Вывод

Как показал результат биогазовые технология решает важные проблемы государственного значения, в экологии – создание безотходных производств, уменьшение «парниковых» выбросов, в энергетике – переработка биомассы и органических отходов в газообразное топливо, тепловую и электрическую энергию.

Библиографический список:

1. А.К.Курманов, К.С. Рыспаев, М. К. Рыспаева.Перспектива производства биогаза в Казахстане//Агроинженерные науки.2013.№4.с. 78.
2. Б.Эдер, Х.Шульц Биогазовые установки. 1996.с 268.
3. С.С. Асенова, О. М. Талипов. Возможности использования биогазовых установок в республики Казахстан, как альтернативных источников энергии. 2013.
4. https://pronedra.ru/alternative/2012/07/10/biogaz/.

Куанышбай Назерке Бауыржановна
Унаспеков Берик Акибаевич
Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева
Институт строительство и архитектуры имени Т.Басенова
Кафедра: Инженерные сети и системы, г. Алматы, Казахстан

Kuanyshbay N.
Unaspekov B.
Scientific supervisor
doctor of technical sciences, professor
Kazakh National Research Technical University named after K.I.Satpayev
Institute of Construction and Architecture of T. Basenov
Major: engineering networks and systems, Almaty, Kazakhstan
E-mail: Nazerke1994@inbox.ru

УДК 662.951.2(075.8)

ГОРЕЛКИ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (ГИИ) ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

BURNERS OF INFRARED RADIATION (BIR) FOR HEATING INDUSTRIAL PREMISES

Аннотация: Рассмотрены конструкции современных горелок инфракрасного излучения, используемых в странах СНГ и в дальнем зарубежье. Эжекторное устройство является основным элементом газовой горелки. Обоснована необходимость подробного изучения эжекторного устройства ГИИ.

Annotation: Designs of modern burners of infrared radiation which is used in the CIS countries and far abroad. It is shown that the ejector device is a key element of a gas burner. Based the necessity for a detailed study of the ejector device of GII.

Ключевые слова: горелка, конструкция, эжектор, помещение, отопление.

Keywords: burner, design, ejector,room, heating.

В настоящее время для отопления производственных помещении используется традиционные системы теплоснабжения. Для них характерны следующие недостатки: необходимость наличия источника теплоты (котельный), расположенный на значительном расстоянии от зданий, наличия магистральных трубопроводов, необходимость монтажа системы отопления, со значительными финансовыми затратами.

Как показал анализ для отопления производственных помещений, наиболее эффективно применение лучистых инфракрасных газовых систем [1-5], которые размещаются непосредственно в отапливаемых помещениях. Тепловое излучение от инфракрасных излучателей не поглощается воздухом, поэтому вся энергия без потерь достигает обогреваемых поверхностей и людей. Лучистое отопление считается наилучшим и с санитарно-гигиенической точки зрения вследствие более глубокого проникновения лучистого тепла в организм человека и равномерного распределения температуры воздуха по вертикали помещения. Лучистые системы отопления обеспечивают получение КПД до 80% при организованном отводе продуктов сгорания и до 100% при поступлении продуктов сгорания в отапливаемое помещение. Системы лучистого отопления на базе инфракрасных излучателей позволяют добиться экономии затрат на отопление, по сравнению с традиционными системами. Горелки инфракрасного излучения являются разновидностью эжекционных горелок, рассчитанных на работу с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1{,}02 - 1{,}07$, что обеспечивает полноту сгорания газа. Общий вид и схема устройства ГИИ представлена на рисунке 1.

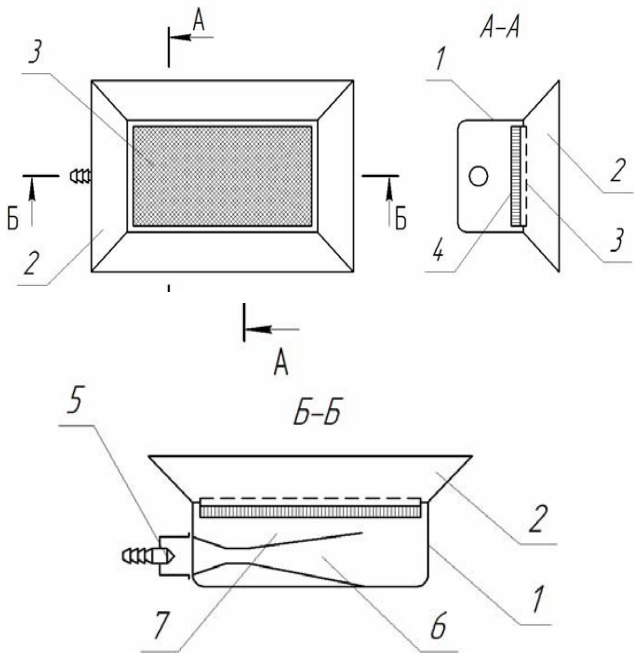

Рис. 1. Схема устройства горелки инфракрасного излучения:
1 – корпус; 2 – рефлектор; 3 – сетка; 4 – керамический элемент (насадка);
5 – сопло; 6 – смеситель; 7 – распределительная камера.

ГИИ работают следующим образом: струя газа истекает из сопла 5 и эжектирует в смеситель 6 необходимое количество воздуха. Газовоздушная смесь направляется в распределительную камеру 7.Из камеры 7 смесь через отверстия керамической насадки 4 выходит на поверхность, где сгорает в тонком слое: примерно 1–1,5 мм. Значительная часть тепла при горении передается керамическим плиткам, поверхность которых через 40–50 с после зажигания горелки нагревается до рабочей температуры 800–1200°С. Поверхность излучающей насадки становится мощным источником инфракрасного излучения. Излучающие насадки изготавливаются керамические и керамические с сеткой 3.

В дальнем зарубежье разработаны конструкции ГИИ ведущими мировыми компаниями и фирмами: SOLARONICS (Франция), CARLIEUKLIMA и FRACCARO (Италия), DETROIT RADIANT PRODUCTS (США), PAKOLE (Венгрия) [3-5].

Они конструктивно отличаются тем, что у этих горелок в качестве излучающих элементов используются альвеолярные керамические пластины. Благодаря высокой температуре нагрева и специальной структуре керамических пластин обеспечивается полное сгорание газовой смеси. Такой принцип работы обеспечивает выделение большого количества тепла и соблюдение строгих норм экологической безопасности.

Упомянутыми выше компаниями и фирмами освоен выпуск достаточно широкого модельного ряда ГИИ. Эти горелки имеют некоторые конструктивные и другие отличия, вызванные спецификой помещений, для отопления которых они созданы. Номинальная тепловая мощность нагревателей открытых конструкций лежит в пределах от 1 до 54,2 кВт, а вес от 0,9 до 43кг.

Для отопления производственных помещений особенно больших размеров в последние годы получают все более широкое применение блочные мультигорелочные инфракрасные горелки [6]. Они состоят из стандартных модулей теплоизлучающих труб с рефлекторами и горелками, из которых собирается любая конфигурация инфракрасного нагревателя требуемой мощности. Такие горелки снабжаются централизованным отводом продуктов сгорания газа, при котором их удаление осщуествляется одним вентилятором (дымососом). Блочные мультигорелочные горелки бывают трех модификаций: с последовательным, параллельным и последовательно -параллельным (комбинированным) расположением газовых горелок.

Оснавным устройствам для подготовки газовоздушный смеси в горелках атмосферного типа является эжектор. Их использование обеспечивает достаточно эффективное сжигание топлива и повышение КПД газогорелочных устройств.

В работе [7] проф. А.А. Ионина подробно изучены эжекторные устройства атмосферных газовых горелок, используемых в газовых плитах и отопительных котлах. Наряду с этим следует отметить ,что в работе [8] проф. Б.А. Унаспекова выполнены исследования эжекторных устройств, используемых в промышленных печах по производству стройматериалов.

Современный анализ использования эжекторных устройств в горелках показал, что исследования их работы практический отсутствуют. В частности, не изучены ряд параметров: характеристики эжектора, коэффициенты полезного действия и режимы их работы.

Вывод

1. Выполнен подробный анализ современных конструкции ГИИ в странах СНГ и в дальнем зарубежье. Показана возможность их эффективного использования для систем отопления производственных помещении по сравнению с традиционными.
2. В связи с отсутствуем экспериментальных данных по работе эжекторных устройств горелок инфракрасного излучения необходимо проведения исследований.

Библиографический список:

5. Пелипенко, В.Н. Газовые горелки инфракрасного излучения : учеб. пособие / В.Н. Пелипенко, Д.Ю. Слесарев. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2012. –17-18 с.
6. Болотских Н.Н. Инфракрасное отопление производственных помещений. ХНУСиА, Вестник БГТУ им.В.Г.Шухова, 2011.- №4.- с. 27-32.
7. Газовые инфракрсные излучатели EUCIRAMIC. Италия, CARLIEUKLIMA, www.energopolis.dp.ua, 2011.- с.9.
8. GAS – FIRED INFRARED HEATING. HLV Series Multiple – Burner Low Intensity Engineered Vacuum System. DETROIT RADIANT PRODUCTS COMPANY:www.reverberray.com, 2010. – 4 с.
9. Газовые инфракрасные обогреватели Re – Verber – Ray. DETROIT RADIANT PRODUCTS COMPANY. RE – VERBER – RAY: www.reverberray.ru, 2010. – 2 с.
10. Болотских Н.Н. Мулльтигорелочные системы инфракрасного отопления с непрерывными теплоизлучающими трубами/ Н.Н.Болотских //Энергосбережение.Энергетика.Энергоаудит.- 2010.- №11.-с.14-21.
11. Ионин А.А. Газоснабжение. М: Стройиздат, 1989.-450с.
12. Унаспеков Б.А. Использования природного газа и защита воздушного бассейна от загрязнений : Монография. –Алматы:КазНТУ, 2010.-253с.

Туйчиев Олимджон Джураевич
Tujchiev Olimdzhon Dzhuraevich
дотцент ХГУ имени академика Б. Гафурова,
кандидат физико- математических наук
E-mail: Tuychievolim67@mail.ru

УДК 519

СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННОЕ ИНТЕГРАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ С ВЫРОЖДАЮЩИМСЯ ЯДРОМ

Аннотация: В этой статье изучена скалярное сингулярно возмущенное уравнение с вырождающимся ядрами. Дважды дифференцируя уравнения сводится к интегро-дифференциальному уравнению. Затем, определяются основные сингулярности и алгоритм нахождения асимптотического ряда по схеме регуляризации Ломова. Доказана однозначная разрешимость итерационных задач и получена оценка остаточного члена асимптотического ряда.

Abstract: In this paper we study the scalar singularly perturbed equation with degenerate kernels. Double differentiating of the equation is reduced to the integro-differential equation. Then, we identify the key singularities and the algorithm for finding asymptotic series according to the scheme of regularization Lomov. Proved the unique solvability of the iterative task and the estimate of the remainder term of the asymptotic series.

Ключевые слова: сингулярно возмущения, итератционных задач, асимптотика

Key words: singular perturbation, iteratsionnye task asymptotics

В предыдущих статье [2,3] рассматривались уравнения, диагональные ядра которых не вырождались, т. е. $K(t,t)\neq 0 \quad \forall t\in[0,T]$ ¿). При этом регуляризация соответствующих систем производилась по спектру $\{\lambda_j(t)\}$ диагонального ядра. В случае быстро изменяющихся ядер сингулярности выделялись спектральным значением $\mu(t)$ ядра интегрального оператора и спектром «смещенного» диагонального ядра $\mu(t)I+K(t,t)$. В настоящей статье рассматриваются сингулярно возмущенные интегральные уравнения вида

$$\varepsilon^2 y(t,\varepsilon)=\int_0^t (t-s)K(t,s)y(s,\varepsilon)ds+h(t) \quad t\in[0,T], \tag{1}$$

ядро которых $(t-s)K(t,s)$ обращается тождественно в нуль при $s=t$ $(K(t,t)\neq 0 \quad \forall t\in[0,T])$. Для построения асимптотического решения уравнения (1) (при $\varepsilon\to+0$) сведем его (дифференцированием по t) к интегро-дифференциальному уравнению

$$\varepsilon^2\frac{dy}{dt}=\int_0^t\left[K(t,s)+(t-s)\frac{\partial K(t,s)}{\partial t}\right]y(s,\varepsilon)\,ds+\text{¿}h(t),\quad y(0,\varepsilon)=\frac{h(0)}{\varepsilon^2}, \tag{2}$$

которое при $\varepsilon=0$ переходит в интегральное уравнение Вольтерра первого рода

$$\int_0^t\left[K(t,s)+(t-s)\frac{\partial K(t,s)}{\partial t}\right]\hat{y}(s)ds+\text{¿}h(t)=0 .$$

Такие интегро-дифференциальные уравнения с позиций метода регуляризации [1] ранее не рассматривались. Основной проблемой, как уже отмечалось выше, является описание сингулярностей в системе (1), порождаемых особой точкой ε=0. Поскольку спектр диагонального ядра здесь нулевой (ибо $(t-s)K(t,s)\equiv 0 \;\; при \;\; t=s$), то не ясно, какие функции отвечает за описание сингулярностей. Уравнения, типа (1) не рассматривались и с позиций других методов.

Имеется частный результат (см.[1],с.62-64), касающийся построения приближенного решения интегрального уравнения первого рода

$$\int_0^t K(t,s)y(s)ds=f_0(t) \tag{3}$$

в предположении его разрешимости на отрезке $[0,T]$ и при условии вырожденности диагонального ядра $K(t,t)$. В работе [1] предлагается вместо исходного уравнения (3) рассмотреть интегро-дифференциальное уравнение

$$\varepsilon z'(t)+\int_0^t K(t,s)z(s)ds=f_\varepsilon(t),\ \ z(0)=b(\varepsilon) \tag{4}$$

со специальными правой частью $f_\varepsilon(t)$ и начальным условием $b(\varepsilon)$. При этом доказывается, что решение уравнения (3) можно приблизить в непрерывной метрике решением интегро-дифференциального уравнения (4). Данный результат является качественным. Методика, используемая при его доказательстве, не позволяет построить асимптотическое решение задачи (1) или (4)) любого порядка (по ε); кроме того, с ее помощью не удается ответить на вопрос, какие сингулярности участвуют в решении уравнения (1) с вырожденным ядром.

В настоящей статье, с целью решить указанные проблемы делается акцент на развитии алгоритма метода регуляризации для сингулярно возмущенных уравнений с вырождающимися ядрами. При этом рассматривается произвольные правые части $h(t)$. Для построения асимптотического решения можно было бы продолжить процесс дифференцирования уравнения. Однако повторное дифференцирование сильно усложняет уравнение(см.ниже (5)), поэтому применение его не целесообразно с вычислительной точки зрения.

Принципиальным моментом в методе регуляризации [1] является описание сингулярностей. Обычно сингулярности описываются спектром предельного оператора, но и в (1), и в (2) предельный оператор не имеет спектра. Что же отвечает за сингулярности в этом случае? Можно было бы ответить на этот вопрос, предположив, что сингулярности имеют вид экспонент $\exp\left\{\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)\int_0^t \lambda_j(\theta)d\theta\right\}$, где $\lambda_j(t)$ -пока неизвестные функции. Производя затем регуляризацию исходной задачи, разработав соответствующий алгоритм метода регуляризации, можно было бы найти и сами функции $\lambda_j(t)$. Однако можно поступить проще.

Продифференцируем еще раз уравнение (2) по t. Получим задачу

$$\varepsilon^2\frac{d^2y}{dt^2}=K(t,t)y+\int_0^t\left(2\frac{\partial K(t,s)}{\partial t}+(t-s)\frac{\partial^2K(t,s)}{\partial t^2}\right)y(s,\varepsilon)ds+h''(t),$$

$$y(0,\varepsilon)=\frac{h(0)}{\varepsilon^2},\ \ y'(0,\varepsilon)=\frac{h'(0)}{\varepsilon^2}. \tag{5}$$

Отсюда, кстати, видно, что повторное дифференцирование сильно усложняет уравнение, но мы не собираемся его исследовать. Нам нужна лишь информация о сингулярностях в его решении. Поскольку $K(t,t)\neq 0,$ то сингулярности описываются спектром предельного оператора задачи (5), т.е. функциями, удовлетворяющими алгебраическому уравнению $\lambda^2(t)-K(t,t)=0.$

Если $K(t,t)\triangleright 0,\ mo\ \ \lambda_{1,2}=\pm\sqrt{K(t,t)}.$ Тогда из метода регуляризации следует, что в решении задачи (5) (а значит, и в решении исходного уравнения (1)) сингулярности описываются двумя экспонентами: $\exp\left\{-\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)\int_0^t\sqrt{K(\theta,\theta)}d\theta\right\},\ \exp\left\{\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)\int_0^t\sqrt{K(\theta,\theta)}d\theta\right\}.$ Первая из них стремится к нулю (при $\varepsilon\to+0$ и при $t\neq 0$), вторая--к бесконечности. Формальное решение при $K(t,t)\triangleright 0$ будет неустойчивым, поэтому данный случай рассматривать не будем. Заметим, однако, что для развиваемого ниже формализма знак $K(t,t)$ несуществен.

Регуляризация задачи.

Разрешимость итерационных задач

Нам будет удобнее вместо исходного уравнения (1) рассматривать задачу (2). Алгоритм построения регуляризованного асимптотического решения уравнения (1) будем развивать в предположении, что функции $K(t,s)$ и $h(t)$ удовлетворяют требованиям:

1) $K(t,s)\in C^{\infty}\left(0\le s\le t\le T,\ R^1\right),\quad h(t)\in C^{\infty}\left([0,T],\ C^1\right);$

2) $K(t,t)<0\left(\forall\, t\in[0,T]\right).$

Введем регуляризирующие функции

$$\tau_j=\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)\int_0^t\lambda_j(\theta)\,d\theta\equiv\frac{\psi_j(t)}{\varepsilon},\quad j=1,2,$$

где $\lambda_1\equiv -i\sqrt{-K(t,t)},\ \ \lambda_2\equiv +i\sqrt{-K(t,t)}$. Тогда для функции $\tilde{y}=\tilde{y}(t,\tau,\varepsilon)$ переменных $t,\ \ \tau=(\tau_1,\tau_2)\ \ u\ \ \varepsilon$ естественно поставить следующую задачу:

$$\varepsilon^2\frac{\partial\tilde{y}}{\partial t}+\varepsilon\,L\,\tilde{y}-\int_0^t G(t,s)\,\tilde{y}\left(s,\frac{\psi(s)}{\varepsilon},\varepsilon\right)ds=h(t),\quad y\,(0,0,\varepsilon)=\frac{h(0)}{\varepsilon^2},\tag{6}$$

где введены обозначения:

$$L\equiv\lambda_1\frac{\partial}{\partial\tau_1}+\lambda_2\frac{\partial}{\partial\tau_2},\quad G\,(t,s)\equiv K(t,s)+(t-s)\frac{\partial K(t,s)}{\partial t},$$

$$\psi\,(t)\equiv\left(\psi_1\,(t),\ \psi_2\,(t)\right).$$

Задачу (6) нельзя считать «расширенной» по отношению к исходной (2), так как в ней не произведена регуляризация интегрального члена $I\,\tilde{y}\equiv\int_0^t G(t,s)\,\tilde{y}\left(s,\frac{\psi(s)}{\varepsilon},\varepsilon\right)ds.$ Для регуляризации последнего надо описать класс M_{ε}, асимптотически инвариантный (при $\varepsilon\to+0$) относительно оператора I [1,стр.62-64]

Определение 1. Будем говорить, что функция $y\,(t,\tau)$ принадлежит классу U, если она представима в виде суммы

$$y(t,\tau)=y_1(t)\,e^{\tau_1}+y_2(t)\,e^{\tau_2}+y_0(t)\tag{7}$$

с коэффициентами $y_j\in C^{\infty}\left([0,\ T]\ C^1\right),\ \ j=0,1,2.$

В качестве класса M_ε возьмем сужение класса U при $\tau=\frac{\psi(t)}{\varepsilon}$. Покажем, что $U\Big|_{\tau=\frac{\psi(t)}{\varepsilon}}$ инвариантен относительно интегрального оператора I.

Подставляя (7) в $I\,y$, будем иметь

$$I\,y(t,\tau)=\int_0^t G(t,s)\,y_1(s)\exp\left(\frac{1}{\varepsilon}\int_0^s \lambda_1(\theta)\,d\theta\right)ds+$$

$$+\int_0^t G(t,s)\,y_2(s)\exp\left(\frac{1}{\varepsilon}\int_0^s \lambda_2(\theta)\,d\theta\right)ds+\int_0^t G(t,s)\,y_0(s)\,ds.$$

Интегралы, содержащие экспоненты, представим в виде ряда по степеням ε, используя операцию интегрирования по частям (см. [2], [3]):

$$J_j(t,\varepsilon)\equiv\int_0^t G(t,s)\,y_j(s)\exp\left(\frac{1}{\varepsilon}\int_0^s \lambda_j(\theta)\,d\theta\right)ds=$$

$$=\varepsilon\left[\frac{G(t,t)\,y_j(t)}{\lambda_j(t)}e^{\tau_j}-\frac{G(t,0)\,y_j(0)}{\lambda_j(0)}\right]- \tag{8}$$

$$-\varepsilon^2\left[\frac{1}{\lambda_j(t)}\left(\frac{\partial}{\partial s}\frac{G(t,s)\,y_j(s)}{\lambda_j(s)}\right)_{s=t}e^{\tau_j}-\frac{1}{\lambda_j(0)}\left(\frac{\partial}{\partial s}\frac{G(t,s)\,y_j(s)}{\lambda_j(s)}\right)_{s=0}\right]+$$

$$+\sum_{m=2}^{\infty}(-1)^m\varepsilon^{m+1}\left[\left(I_j^m\left(G(t,s)\,y_j(s)\right)\right)_{s=t}e^{\tau_j}-\left(I_j^m\left(G(t,s)\,y_j(s)\right)\right)_{s=0}\right],$$

где $\tau=\frac{\psi(t)}{\varepsilon}$, а операторы I_j^m имеют вид $I_j^0=\frac{1}{\lambda_j(s)}$, $I_j^m=\frac{1}{\lambda_j(s)}\frac{\partial}{\partial s}I_j^{m-1}$, $m\geq 1$, $j=1,2$.

Нетрудно показать, что полученный ряд сходится асимптотически к интегралу $J_j(t,\varepsilon)$ при $\varepsilon\to+0$. Этот и означает, что класс M_ε асимптотически инвариантен относительно оператора $I\tilde{y}$. Построим теперь расширение оператора I.

Пусть дан ряд

$$\tilde{y}(t,\tau,\varepsilon)=\sum_{k=-2}^{\infty}\varepsilon^k y_k(t,\tau) \tag{9}$$

с коэффициентами $y_k(t,\tau)\in U$. Применяя к нему формально оператор I и используя формулы (8), запишем образ $I\tilde{y}$ в виде

$$I\,\tilde{y}=\sum_{k=-2}^{\infty}\varepsilon^k\Big[\int_0^t G(t,s)\,y_0^{(k)}(s)\,ds+$$

$$+\sum_{m=0}^{\infty}(-1)^m\varepsilon^{m+1}\sum_{j=1}^{2}\left(\left(I_j^m\left(G(t,s)\,y_j(s)\right)\right)_{s=t}e^{\tau_j}+\left(I_j^m\left(G(t,s)\,y_j(s)\right)\right)_{s=0}\right)¿$$

$$¿\sum_{k=-2}^{\infty}\varepsilon^k\left[R_0\,y_k(t,\tau)+\sum_{m=1}^{\infty}\varepsilon^m R_m\,y_k(t,\tau)\right]_{\tau=\frac{\psi(t)}{\varepsilon}}.$$

Здесь введены операторы $R_m: U\to U$ (операторы порядка), действующие по закону

$$R_0 y(t,\tau)=\int_0^t G(t,s)\,y_0(s)\,ds\ ,$$

$$R_{m+1}\,y\ (t,\tau)=(-1)^m\sum_{j=1}^{2}\left(\left(I_j^m\left(G(t,s)\,y_j(s)\right)\right)_{s=t}e^{\tau_j}-\left(I_j^m\left(G(t,s)\,y_j(s)\right)\right)_{s=0}\right)$$

для каждой функции (7) пространства U.

Представим $I\,\tilde{y}(t,\tau,\varepsilon)$ в виде

$$I\,\tilde{y}(t,\tau,\varepsilon)=\sum_{r=-2}^{\infty}\varepsilon^r\left(\sum_{s=-2}^{r}R_{r-s}\,y_s(t,\tau)\right)_{\tau=\frac{\psi(t)}{\varepsilon}}.$$

Определение 2. Назовем оператор

$$\tilde{I}\,\tilde{y}(t,\tau,\varepsilon)=\sum_{r=-2}^{\infty}\varepsilon^r\sum_{s=-2}^{r}R_{r-s}\,y_s(t,\tau)$$

расширением интегрального оператора I.

Теперь можно записать задачу, расширенную по отношению к исходной задаче (2). Она имеет вид

$$\varepsilon^2\frac{\partial\tilde{y}}{\partial t}+\varepsilon\,L\,\tilde{y}-\tilde{I}\,\tilde{y}=\dot{h}(t),\ \ \tilde{y}\,(0,0,\varepsilon)=\frac{h(0)}{\varepsilon^2}\ .$$

(10)

Это расширение определено по крайней мере в классе рядов (9) с коэффициентами $y_k(t,\tau)\in U$ и сходящимися асимптотически при $\varepsilon\to+0$ и при $(t,\tau)\in[0,T]\times(\mathrm{Re}\,\tau_j\le 0,\ \ j=1,2)$.

Подставив ряд (9) в систему (10) и приравняв коэффициенты при одинаковых степенях ε, получим задачи

$$-R_0\,y_{-2}=0\ ,\ \ y_{-2}(0,0)=h(0)\ , \tag{11}$$

$$-R_0\,y_{-1}-R_1\,y_{-2}+Ly_{-2}=0\ ,\ \ y_{-1}(0,0)=0\ , \tag{12}$$

$$-R_0\,y_0-R_1\,y_{-1}-R_2\,y_{-2}+Ly_{-1}+\frac{\partial\,y_{-2}}{\partial\,t}=\dot{h}(t),$$

$$-R_0\,y_1-R_1\,y_0-R_2\,y_{-1}-R_3\,y_{-2}+\frac{\partial\,y_{-1}}{\partial\,t}+Ly_0=0\ , \tag{13_0}$$

$$y_j(0,0)=0\ \ (j=-1,\,0,\,1,\,\ldots) \tag{13_1}$$

и т. д.

Покажем, что три последовательные задачи этой серии определяют решение первой из них однозначно в классе U. Начнем с первой тройки. Определяя решение задачи (11) в виде суммы

$$y_{-2}(t,\tau)=y_1^{(-2)}(t)e^{\tau_1}+y_2^{(-2)}(t)e^{\tau_2}+y_0^{(-2)}(t),$$

будем иметь

$$\int_0^t G(t,s)\,y_0^{(-2)}(s)\,ds=0\ ,\ \ \sum_{j=0}^{2}y_j^{(-2)}(0)+y_0^{(-2)}(0)=h(0)\ .$$

Отсюда видно, что функция $y_0^{(-2)}(t)\equiv 0$, а функции $y_j^{(-2)}(t)\in C^\infty[0,T]$, j=1, 2, пока произвольны, причем имеет место равенство

$$y_1^{(-2)}(0)+y_2^{(-2)}(0)=h(0)\,. \tag{14}$$

Перейдем к задаче (12). Определяя ее решение в виде суммы

$$y_{-1}(t,\,\tau)=y_1^{(-1)}(t)e^{\tau_1}+y_2^{(-1)}(t)e^{\tau_2}+y_0^{(-1)}(t),$$

будем иметь

$$\begin{gathered}-\int_0^t G(t,s)y_0^{(-1)}(s)ds-\left[\frac{G(t,t)y_1^{(-2)}(t)}{\lambda_1(t)}e^{\tau_j}-\frac{G(t,0)y_1^{(-2)}(0)}{\lambda_1(0)}\right]-\\ -\left[\frac{G(t,t)y_2^{(-2)}(t)}{\lambda_2(t)}e^{\tau_2}-\frac{G(t,0)y_2^{(-2)}(0)}{\lambda_2(0)}\right]+\\ +\sum_{j=1}^{2}\lambda_j(t)y_j^{(-2)}(t)e^{\tau_j}=0,\ \ \sum_{j=1}^{2}y_j^{(-1)}(0)=0\,.\end{gathered} \tag{15}$$

Приравнивая здесь свободные члены, получим уравнение

$$\int_0^t G(t,s)y_0^{(-1)}(s)ds=G(t,0)\left[\frac{y_1^{(-2)}(0)}{\lambda_1(0)}+\frac{y_2^{(-2)}(0)}{\lambda_2(0)}\right]. \tag{16}$$

Для разрешимости этого уравнения необходимо и достаточно, чтобы

$$G(0,0)\left[\frac{y_1^{(-2)}(0)}{\lambda_1(0)}+\frac{y_2^{(-2)}(0)}{\lambda_2(0)}\right]=0\,. \tag{17}$$

Учитывая, что определитель полученной системы (12), (17):

$$\Delta=\begin{vmatrix}1 & 1\\ \lambda_1^{-1}(0) & \lambda_2^{-1}(0)\end{vmatrix}=\lambda_2^{-1}(0)-\lambda_1^{-1}(0)$$

не равен нулю (см. условие 2)), найдем однозначно значения $y_1^{(-2)}(0)$ и $y_2^{(-2)}(0)$ из этой системы.

Приравнивание в (15) коэффициентов при одинаковых экспонентах приводит к равенствам $\left(\lambda_j(t)-\frac{G(t,t)}{\lambda_j(t)}\right)y_j^{(-2)}(t)=0,\ \ j=1,\,2,$ из которых, (поскольку $\lambda_j^2(t)\equiv G(t,\,t)$) выводим, что $y_j^{(-2)}(t)\in C^\infty[0,T]-$ произвольные функции. При этом из уравнения (16) находим, что $y_0^{(-1)}(t)\equiv 0,$ так как в силу (17) правая часть (16) тождественно равна нулю. Итак, рассмотрение первых двух задач (11) и (12) привело к однозначному определению свободных членов $y_0^{(-2)}(t)\equiv 0$, $y_0^{(-1)}(t)\equiv 0$ и к фиксации функций $y_1^{(-2)}(t)$ и $y_2^{(-2)}(t)$ лишь в точке $t=0$. Полное вычисление функций $y_j^{(-2)}(t)$ произойдет на следующем шаге.

В самом деле, определяя решение задачи (13_0) в виде суммы

$$y_0(t,\,\tau)=y_1^{(0)}(t)e^{\tau_1}+y_2^{(0)}(t)e^{\tau_2}+y_0^{(0)}(t),$$

получим равенство

$$\begin{gathered}-\int_0^t G(t,s)y_0^{(0)}(s)ds-\sum_{j=1}^{2}\left[\frac{G(t,t)y_1^{(-1)}(t)}{\lambda_j(t)}e^{\tau_j}-\frac{G(t,0)y_j^{(-1)}(0)}{\lambda_j(0)}\right]+\\ +\sum_{j=1}^{2}\left[\frac{1}{\lambda_j(t)}\left(\frac{\partial}{\partial s}\frac{G(t,s)y_j^{(-2)}(s)}{\lambda_j(s)}\right)_{s=t}e^{\tau_j}-\frac{1}{\lambda_j(0)}\left(\frac{\partial}{\partial s}\frac{G(t,s)y_j^{(-2)}(s)}{\lambda_j(s)}\right)_{s=0}\right]+\\ +\sum_{j=1}^{2}\left[\lambda_j(t)y_j^{(-1)}(t)e^{\tau_j}+\dot y_j^{(-2)}(t)e^{\tau_j}\right]=\dot h(t),\ \ \sum_{j=1}^{2}y_j^{(0)}(0)=0\,.\end{gathered}$$

Приравнивая здесь коэффициенты при одинаковых экспонентах, имеем уравнения

$$-\frac{G(t,t)}{\lambda_j(t)}y_j^{(-1)}+\lambda_j(t)y_j^{(-1)}=-\frac{1}{\lambda_j(t)}\left(\frac{\partial}{\partial s}\frac{G(t,s)y_j^{(-2)}(s)}{\lambda_j(s)}\right)_{s=t}-\dot{y}_j^{(-2)}(t),$$

$j=1,2,$

для разрешимости которых в классе $C^{\infty}[0,T]$ необходимо и достаточно, чтобы

$$\dot{y}_j^{(-2)}(t)+\frac{1}{\lambda_j(t)}\left(\frac{\partial}{\partial s}\frac{G(t,s)y_j^{(-2)}(s)}{\lambda_j(s)}\right)_{s=t}\equiv 0,\ j=1,2.$$

Получили однородные дифференциальные уравнения относительно функций $y_j^{(-2)}(t),\ j=1,2.$ Присоединяя к ним начальные условия $y_j^{(-2)}(0),$ найденные из (14), (17), определим однозначно функции $y_j^{(-2)}(t),\ j=1,2.$ Этим завершается однозначное вычисление решения $y_{-2}(t,\tau)$ задачи (3.11). Ясно, что, рассматривая следующую тройку задач $(12),(13_0)$ и $(13_1),$ построим однозначно решение $y_{-1}(t,\tau)$ задачи (12).

Сформулируем общий результат, касающийся разрешимости итерационных задач в пространстве U.

Рассмотрим три уравнения:

$$-R_0 y(t,\tau)=H(t,\tau),\ \ y(0,0)=y^0, \tag{18}$$

$$-R_0 z(t,\tau)=R_1 y(t,\tau)-Ly(t,\tau)+P(t,\tau),\ \ z(0,0)=z^0, \tag{19}$$

$$-R_0 w(t,\tau)=R_1 z(t,\tau)-L\,z(t,\tau)-\frac{\partial y}{\partial z}+R_2 y(t,\tau)+Q(t,\tau),\ w(0,0)=w^0, \tag{20}$$

где $P(t,\tau),\ H(t,\tau),\ Q(t,\tau)-$ известные функции, y^0,z^0,w^0- известные числа.

Справедлива

Т е о р е м а 1. Пусть выполнены условия 1), 2) и функции $P(t,\tau),\ H(t,\tau),\ Q(t,\tau)-$ принадлежат пространству U. Тогда для разрешимости задачи (18) необходимо и достаточно, чтобы

$$\langle H(t,\tau),e^{\tau_j}\rangle\equiv 0,\ \ j=1,2,\ \ \forall t\in[0,T],\ \ \langle H(t,\tau),1\rangle|_{t=0}=0\ . \tag{21}$$

Задача (18) при дополнительных условиях

$$\langle R_1 y(t,\tau)+P(t,\tau),1\rangle|_{t=0}=0,$$

$$\langle R_1 y(t,\tau)-Ly(t,\tau)+P(t,\tau),e^{\tau_j}\rangle\equiv 0,\ j=1,2,$$

$$\langle -\frac{\partial y}{\partial t}R_2 y(t,\tau)+Q(t,\tau),e^{\tau_j}\rangle\equiv 0,\ \ j=1,2,\ \ \forall t\in[0,T] \tag{22}$$

имеет единственное решение в пространстве U.

Заметим, что в (21), (22) участвует скалярное (при каждом $t\in[0,\ T]$) произведение:

$$\forall\, y(t,\tau)\equiv\sum_{j=0}^{2}y_j(t)e^{\tau_j},\ \ \forall\, z(t,\tau)\equiv\sum_{j=0}^{2}z_j(t)e^{\tau_j},$$

$$\langle y,z\rangle\overset{def}{=}\sum_{j=0}^{2}y_j(t)\overline{z_j(t)},\quad \tau_0=0.$$

Доказательство теоремы 1. проводится по той же схеме, по которой получено решение первой итерационной задачи (11).

Библиографический список:

1. Ломов С. А. Введение в общую теорию сингулярных возмущений.-М.,Наука,1981.-400с.

2. Бободжанов А. А., Туйчиев О. Д. Сингулярно возмущенное интегральное уравнение с вырожденным ядром.-Дифф. уравн.,33 (1997), № 11.-с.1537-1542.

3. Сафонов В. Ф., Туйчиев О. Д. Регуляризация сингулярно возмущенных интегральных уравнений с быстро изменяющимися ядрами и их асимптотика.-Дифф. уравн.-33 (1997), № 9-С.1199-1211.

4. A. A. Bobodzhanov and V. F. Safonov An Internal Transition Layer in a Linear Optimal Control Problem Differetial Egnations, Vol 37 №3, 2001 pp 332 – 345 MAIK “Nauka / Interperiodica”

Плохотников Сергей Павлович
Plohotnikov Sergey Pavlovich
д.т.н., профессор каф. Информатики и прикладной математики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
E-mail: klangelica@yandex.ru

Климова Анжелика Сергеевна
Klimova Angelica Sergeevna
к.т.н., доцент каф. Информатики и прикладной математики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
E-mail: klangelica@yandex.ru

Аль Джабри Адель Яхья Али
AL Gabri Adel Yahya
аспирант каф. Информатики и прикладной математики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
E-mail: sergey.gomyzhov@hotmail.com

Ахмад Рами Камал
Ahmad Rami Kamal
аспирант каф. Информатики и прикладной математики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
E-mail: sergey.gomyzhov@hotmail.com

УДК 532.546

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ТРЕХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ С МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ОФП ПРИ ПЛОЩАДНОМ ЗАВОДНЕНИИ

BUILD A MODEL OF THREE-PHASE FILTRATION WITH MODIFIED PFD AT AREAL FLOODING

Аннотация: В работе проведено исследование возможного применнения осредненных моделей с модифицированными относительными фазовыми проницаемостями (ОФП). Рассмотрено трехфазное изотермическое вытеснение нефти и газа водой при площадном заводнении в слоистом пласте – пятиточечной и девятиточечной системах заводнения.

Abstract: The work investigated the suitability of averaged models with modified relative phase permeability. Is considered three-phase isothermal displacement of oil and gas with water at areal flooding in a layered reservoir – and five-point systems devyatietazhki flooding.

Ключевые слова: многофазная фильтрация, модифицированные фазовые проницаемости, абсолютные проницаемости, относительные проницаемости.

Keywords: polyphase filtering, the modified relative permeability, absolute permeability, relative permeability.

Введение

При многовариантных гидродинамических расчетах могут быть использованы трехмерные численные гидродинамические модели многофазной фильтрации. Гидродинамические модели созданы опираясь на геологические модели, которые содержащие до 100 млн. ячеек разностной сетки, для которых время расчета слишком велико, чтобы иметь возможность практического использования. По этой причине прибегают к ремасштабированию (up'scaling). Объединяют мелкие ячейки геологической сетки в крупные ячейки гидродинамической сетки. В работе при помощи вычислительного эксперимента проведено исследование применимости хорошо знакомых [1] осредненных моделей, в том числе с модифицированными относительными фазовыми проницаемостями (ОФП), исследованных ранее при двухфазной фильтрации [2]. Было рассмотрено трехфазное изотермическое вытеснение нефти и газа водой при площадном заводнении в слоистом пласте – пятиточечной и девятиточечной системах заводнения. Пятиточечная система заводнения

имеет одну нагнетательную скважину в центре квадрата, а вокруг – 4 добывающих скважины. Девятиточечная система имеет одну нагнетающую скважину в центре, а вокруг – 8 добывающих скважин.

Решение задачи построения модели трехфазной фильтрации

Задача была решена при заданном перепаде давлений между нагнетательной и добывающими скважинами, внешняя граница задавалась непроницаемой. При расчетах использовались сетки из блоков: 11x11x10 (*x,y,z*) для эталонного трехмерного случая; и 11x11x1 для двумерного случая (ремаштабированная). В расчетах использовалась полностью не явная схема.

В модели были заданы следующие физические параметры: 128 – начальное пластовое давление, *атм*; 22 – температура пласта, *С*; 100 – температура закачиваемой воды, *С*; 55 – забойное давление на добывающей скважине, атм.; 170 - забойное давление на нагнетательной скважине, *атм*.; k_{ro}^0 $=0.5$ – максимальная ОФП воды; k_{rw}^0 $=0.7$ – максимальная ОФП нефти; k_{rg}^0 $=0.8$ – максимальная ОФП газа; $S_{or}=0.2$ – остаточная нефтенасыщенность; $S_{wc}=0.2$ – насыщенность связанной воды; $S_{gc}=0.1$ – насыщенность защемленного газа; S_w, S_o, S_g – водо-, нефте- и газонасыщенности, $S_{wc} \le S_w \le 1-S_{or}-S_{gc}$.

Расчеты для пятиточечной и девятиточечной систем проводились для четырех вариантов:

Двумерные решения (осредненные):

1. *С* – решение – осредненное решение с линейными исходными ОФП $k_{rw}(S_w)$, $k_{rg}(S_g,S_w)$, $k_{ro}(S_g,S_w)$, вида (1) и средней абсолютной проницаемости $k^{¿}=0.5$ дарси. Задавался 1 пропласток, высотой H= 10м

$$k_{rw}(S_w)=k_{rw}^0 S_w^{¿}, \quad k_{rg}(S_g^{fix})=k_{rg}^0 S_g^{fix}, \quad k_{ro}(S_w,S_g^{fix})=k_{ro}^0\left[1-S_w^{¿}-S_g^{fix}\right], \qquad (1)$$

где $S_w^{¿}(S_w)=(S_w-S_{wc})/(1-S_{wc}-S_{or}-S_{gc})$, $S_g^{fix}(S_g,S_w)=(S_g-S_{gc}S_w^{¿})/(1-S_w^{¿})$;

Трехмерные решения (эталонные):

2. *В1* – решение – осредненное решение, газ находился только в связанном состоянии в зоне нефти, задача решалась с модифицированными ОФП $k_{rw}^m(S_w)$, $k_{ro}^m(S_w,S_g^{fix})$, $k_{rg}^m(S_w,S_g^{fix})$ вида (2) и средней $k^{¿}=0.5$ дарси для равномерного закона распределения задания абсолютной проницаемости *k(z)* исходного слоистого пласта. Задавался 1 пропласток, высотой H= 10м.

$$k_{rw}^m(S_w)=k_{rw}(S_w)\cdot\left[1+v\cdot\sqrt{3\cdot¿(1-S_w^{¿}(S_w))}\right]¿, \quad k_{ro}^m(S_w,S_g^{fix})=k_{ro}(S_w,S_g^{fix})\cdot\left[1-v\cdot\sqrt{3}\cdot S_w^{¿}(S_w)\right], \qquad (2)$$

$$k_{rg}^m(S_w,S_g^{fix})=k_{ro}(S_g^{fix})\cdot\left[1-v\cdot\sqrt{3}\cdot S_w^{¿}(S_w)\right];$$

3. A_8 –решение (с изолированными пропластками) – эталонное численное трёхмерное решение задачи для десятислойного пласта с изолированными пропластками (отсутствуют перетоки), распределение абсолютной проницаемости которых подчинялось равномерному закону. Задавались 10 пропластков каждый высотой $H_1 = H_2 = H_3 = H_4 \ldots H_{10} = 1$м, изолированных друг от друга непроницаемыми перемычками;

4. A_7 – решение (с неизолированными пропластками) – тоже, что и предыдущая модель, но с неизолированными пропластками. задавались 10 пропластков гидродинамически связанные друг с другом. Пропластки располагались относительно друг друга следующим образом: «лучший» (максимальное значение абсолютной проницаемости) рядом с «худшим» (минимальное значение абсолютной проницаемости), «лучший» из оставшихся рядом с «худшим» из оставшихся и т.д. снизу-вверх.

На Рис. хорошо видно, что осредненное решение *В1* с модифицированными ОФП имеют меньшую погрешность относительно эталонного решения A_8, а решение *С* с исходными ОФП меньшую погрешность относительно эталонного решения A_7. Такие же результаты получены для девятиточечной системы заводнения, и для других показателей разработки, как для газа, так и нефти. Решения *В1* и *С* ограничивают все трехмерные эталонные решения A_i для которых проводились вычисления. Это говорит об обоснованности применения этих двух осредненных моделей в совокупности при площадном заводнении в слоистых пластах при трехфазной фильтрации.

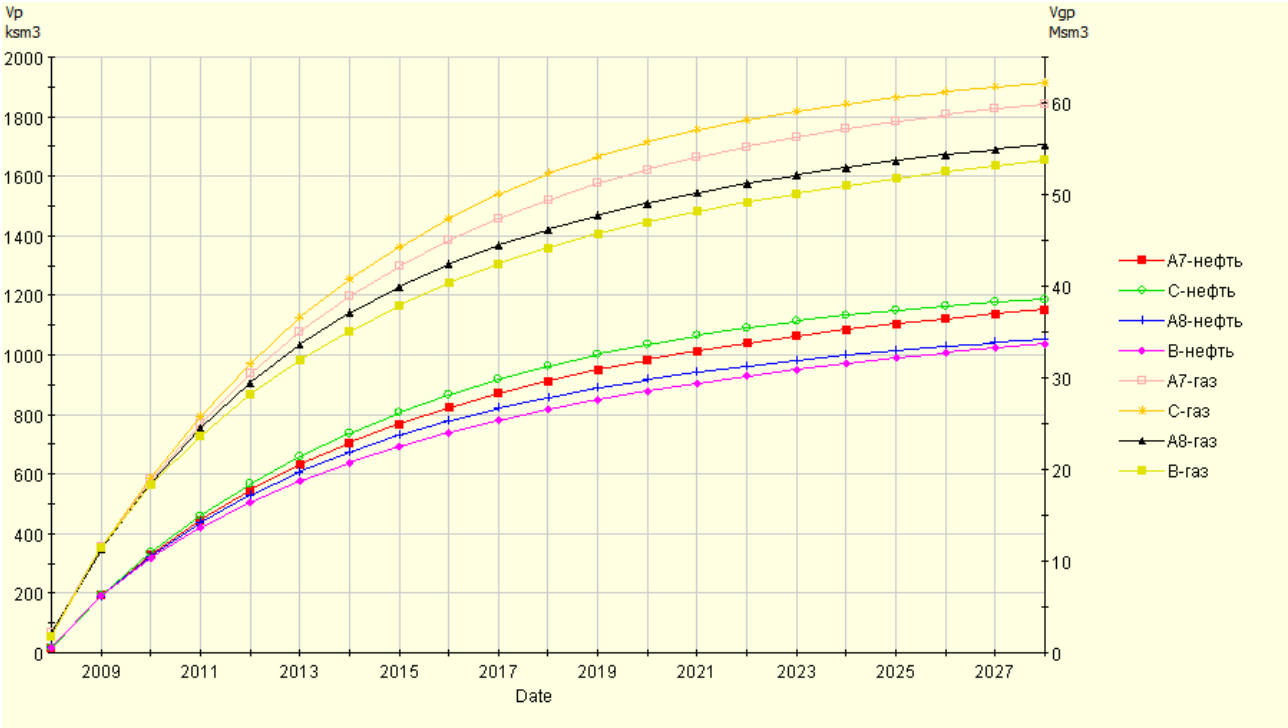

Рис. Зависимость суммарного объема добытых нефти и газа V_p от времени *Date* для пятиточечной системы заводнения, и соответственно для решений – $A_7, A_8, C, B1$

Заключение

В рамках описанной работы с помощью вычислительного эксперимента проводилось исследование возможности применения хорошо знакомых [1] осредненных моделей, включая модели с модифицированными относительными фазовыми проницаемостями. Задача решалась при указанном перепаде давлений между нагнетательной и добывающими скважинами, внешняя граница была задана непроницаемой. Подобные результаты получили для девятиточечной системы заводнения, и при иных показателях разработки, для газа и также для нефти. Таким образом, применение описанных двух осредненных моделей является обоснованным в совокупности при площадном заводнении в слоистых пластах при трехфазной фильтрации.

Библиографический список:

1. Плохотников С.П. Гидродинамические расчеты в слоистых пластах на основе модифицированных относительных проницаемостей / С.П. Плохотников, В.В. Елисеенков // Прикладная механика и техническая физика. (ПМТФ). – Новосибирск: РАН СО,2001. – Т.42, №5, 2001, с. 115–121.

2. Плохотников С. П. Модифицированные проницаемости основанные на модели схемы струй для различных законов распределения / С. П. Плохотников, Р.Х. Низаев, В.В. Елисеенков, В. А. Богомолов, О.Р. Булгакова, В.В.Елисеенков, // ОПиПМ. – М: ОПиПМ, 2009. – Т.16, С. 1109-1010.

Плохотников Сергей Павлович
Plohotnikov Sergey Pavlovich
д.т.н., профессор каф. Информатики и прикладной математики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
E-mail: klangelica@yandex.ru

Климова Анжелика Сергеевна
Klimova Angelica Sergeevna
к.т.н., доцент каф. Информатики и прикладной математики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
E-mail: klangelica@yandex.ru

Абдуллах Таха Ясин Саид
Abdullah Taha Yaseen Saeed
аспирант каф. Информатики и прикладной математики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
E-mail: sergey.gomyzhov@hotmail.com

Аль Джабри Адель Яхья Али
AL Gabri Adel Yahya
аспирант каф. Информатики и прикладной математики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
E-mail: sergey.gomyzhov@hotmail.com

УДК 532.546

АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПРОНИЦАЕМОСТЕЙ ФАЗ

THE ALGORITHM FOR CALCULATION OF MODIFIED RELATIVE PERMEABILITIES OF THE PHASES

Аннотация: В работе рассмотрены модифицированные относительные фазовые проницаемости, приводятся формулы и алгоритм для их вычисления. Рассматриваются линейный и нелинейный случаи.

Abstract: In the article the modified relative permeability, the formulas and algorithm to calculate them. We consider linear and nonlinear cases.

Ключевые слова: абсолютная проницаемость, усеченое распределение, относительные проницаемости.

Keywords: absolute permeability, usechange distribution, relative permeability.

Введение

В данной работе описывается алгоритм, дающий возможность вычисления модифицированных относительных проницаемостей, когда разница абсолютной проницаемости по мощности пласта подчиняется некоторому закону распределения. Рассмотрены случаи линейный и нелинейный. В вычислениях используются осредненные по толщине пласта модели.

Алгоритм вычисления модифицированных относительных проницаемостей фаз

Рассматриваем слоистый нефтяной пласт. Поскольку мощностям водной и нефтяной зон соответствует интервалы проницаемости

$$a \le k < \bar{k}, \quad \bar{k} \le k \le в, \tag{1}$$

то среднее значение абсолютной проницаемости по мощности зоны, занятой i -ой фазой, можно трактовать как среднее значение усеченного распределения с пределом усечения $\bar{k}$. Причем, для $\bar{K}_н$ следует брать правостороннее, а для $\bar{K}_в$ левостороннее усечение закона $F(k)$. Плотность вероятностей усеченного распределения определяется известной формулой [1,2]

$$\phi(\kappa)=f(k)/\int_{k_0}^{k_1} f(k)\,dk \qquad (2),$$

где $f(k)$ - плотность вероятности, соответствующая закону $F(k)$,а k_0 , k_1 -пределы усечения.

Среднее значение усеченного распределения есть интеграл

$$\int_{k_0}^{k_1} k\cdot\phi(k)\,dk=\int_{k_0}^{k_1} k\cdot f(k)\,dk \text{ ¿} \int_{k_0}^{k_1} f(k)\,dk .$$

Используя этим выражением, для средних абсолютных проницаемостей, взятым по зонам, занятым i -ой фазой, получим, учитывая (1),

$$\bar{K}_в=\int_{\bar{k}}^{в} k\phi(k)\,dk=\frac{\int_{\bar{k}}^{в} kf(k)\,dk}{\int_{\bar{k}}^{в} f(k)\,dk} \qquad \bar{K}_н=\int_{a}^{\bar{k}} k\phi(k)\,dk=\frac{\int_{a}^{\bar{k}} kf(k)\,dk}{\int_{a}^{\bar{k}} f(k)\,dk}, \qquad (3)$$

Подставляя эти выражения, модифицированные относительные проницаемости будут выглядеть как (7).

Предел усечения $\bar{k}$, соответствующий заданной насыщенности $\tilde{s}$, находится из уравнения (5).

Представим последовательность формул, которые необходимы для нахождения модифицированных фазовых проницаемостей:

$$S_{¿}\le S\le S^{¿}=1-¿c_н¿, \qquad J(\bar{k})=\int_{a}^{\bar{k}} k\cdot f(k)\,dk,$$

$$S_n(S)=(S-S_{¿})/(S^{¿}-S_{¿}) \qquad (4) \qquad (6)$$

$$S_H(S)-F(k)=0, \qquad (5) \qquad K_н^м(\tilde{S})=\frac{k_{но}}{K^{¿}}\cdot J(\bar{k}), \qquad K_в^м(\tilde{S})=\frac{k_{во}}{K^{¿}}\cdot[K^{¿}-J(\bar{k})] \qquad (7)$$

где $K^{¿}$ - средняя абсолютная проницаемость

Формулы (7) имеют возможность применения только для случая линейных лабораторных относительных фазовых проницаемостей.

В нелинейном случае они выглядят следующим образом:

$$K_в^м(S)=\frac{K_в(S)\cdot[K^{¿}-J(\bar{k})]}{S_n(S)\cdot K^{¿}}, \qquad K_н^м(S)=\frac{K_н(S)\cdot J(\bar{k})}{[1-S_n(S)]\cdot K^{¿}}$$

Функции $K_i^м(S)$ вычисляются с помощью следующего алгоритма:

1. Задание минимального значения s из интервала ;
2. Вычисление $S_П(S)$ по формуле (4);
3. Нахождение $\bar{K}(s)$ как корня уравнения (5);
4. Вычисление интеграла (6);
5. Нахождение $K_в^м(S)$ для заданного значения s по формулам (7);
6. Увеличение значения s на шаг и, если $s\le s^{¿}$, переход к пункту второму для вычисления $K_i^м(S)$ от нового значения s . Если $s>s^{¿}$, то задача решена.

Найти корень уравнения (5) в явном виде удается лишь в исключительных случаях, поэтому уравнение (5) решается численным методом.

Заключение

Алгоритм, описанный в работе, дает возможность вычисления модифицированных относительных проницаемостей в случаях, когда разница абсолютной проницаемости по мощности пласта подчиняется какому-либо закону распределения. Были рассмотрены несколько примеров на вычисление $K_i^м(S)$ для законов, получивших наибольшее распространение в практике проектирования и анализа нефтяных месторождений. Например, исследованы:

1. Гамма-распределение (третий тип распределения Пирсона).

2. Бета-распределение и его частные случаи.

Библиографический список:

1. Слабнов В.Д. Методы математического моделирования и численного решения задач прогнозирования и оптимального регулирования процесса извлечения нефти (обзор) / Слабнов В.Д.// Вестник технологического университета: ж. КГТУ.– Казань, 2015 г., Т. 18, № 6, с.198-209.

2. Плохотников С.П. Методика построения модифицированных относительных фазовых проницаемостей в моделях трехфазной фильтрации в слоистых пластах/ Богомолова О.И., Плохотников Д.С., Богомолов В.А., Белова Е.Н., Харина М.В., Низаев Д.Д.// Вестник Казанского технологического университета, 2013, т. 16, № 21, с. 287-289.

3. Плохотников С.П. Математическое моделирование неизотермической двухфазной фильтрации с модифицированными относительными фазовыми проницаемостями/ Богомолова О.И., Плохотников Д.С., Богомолов В.А., Плохотникова О.Р., Нурсубин М.С.// Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – т. 16. –№ 21. –с. 122-124.

4. Плохотников С.П. Осреднение моделей трехфазной фильтрации в неоднородных слоях, подчиняющихся равномерному распределению / Богомолов В.А., Белова Е.Н., Богомолова О.И., Плохотников Д.С., Булгакова О.Р.// Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – т. 15. – № 1. – с. 63-67.

Плохотников Сергей Павлович
Plohotnikov Sergey Pavlovich
д.т.н., профессор каф. Информатики и прикладной математики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
E-mail: klangelica@yandex.ru

Климова Анжелика Сергеевна
Klimova Angelica Sergeevna
к.т.н., доцент каф. Информатики и прикладной математики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
E-mail: klangelica@yandex.ru

Абдуллах Таха Ясин Саид
Abdullah Taha Yaseen Saeed
аспирант каф. Информатики и прикладной математики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
E-mail: sergey.gomyzhov@hotmail.com

Ахмад Рами Камал
Ahmad Rami Kamal
аспирант каф. Информатики и прикладной математики ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
E-mail: sergey.gomyzhov@hotmail.com

УДК 532.546

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ДВУХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ПЛОЩАДНОМ ЗАВОДНЕНИИ

CONSTRUCTION OF A MODEL OF NONISOTHERMAL TWO-PHASE FILTRATION AT AREAL FLOODING

Аннотация: В работе исследованы возможности применимости осредненных моделей с модифицированными относительными фазовыми проницаемостями (ОФП). Рассматривается двухфазное неизотермическое вытеснение нефти горячей водой при площадном заводнении в слоистом пласте.

Abstract: The work investigated the suitability of averaged models with modified relative phase permeability. Is considered a two-phase non-isothermal oil displacement by hot water at areal flooding in layered reservoir.

Ключевые слова: осредненная модель, двухфазное неизотермическое вытеснение, модифицированные фазовые проницаемости.

Keywords: the averaged model, two-phase non-isothermal displacement, the modified permeability.

Введение

В предложенной работе при помощи вычислительных испытаний проведено исследование применения хорошо знакомых [1] осредненных моделей, включая модели с модифицированными относительными фазовыми проницаемостями (ОФП). Прежде они были исследованы при изотермической фильтрации [2]. Рассмотрено двухфазное неизотермическое вытеснение нефти горячей водой в рамках модели Баклея-Леверетта при площадном заводнении в слоистом пласте – пятиточечной и девятиточечной системах заводнения. Пятиточечная система заводнения представляет собой одну нагнетательную скважину в центре квадрата, а вокруг – 4 добывающих скважины. Девятиточечная система имеет одну нагнетающую скважину в центре, а вокруг – 8 добывающих скважин.

Решение задачи построения модели неизотермической двухфазной фильтрации

Построение модели проводилось при заданном перепаде давлений между нагнетательной и добывающими скважинами, внешняя граница задана непроницаемой. В вычислениях были использованы сетки из блоков: 11x11x10 (*x,y,z*) для эталонного трехмерного случая; и 11x11x1 для двумерного случая (ремаштабированная). В расчетах была использована полностью не явная схема.

В модели определены следующие физические параметры: 128 – начальное пластовое давление, атм; 22 – температура пласта, С; 100 – температура закачиваемой воды, С; 55 – забойное давление на добывающей скважине, атм.; 170 - забойное давление на нагнетательной скважине, атм.; $k_{ro}^{0}=0.5$ – максимальная ОФП воды; $k_{rw}^{0}=0.7$ – максимальная ОФП нефти; $S_{or}=0.2$ – остаточная нефтенасыщенность; $S_{wc}=0.3$ – насыщенность связанной воды; S_w, S_o – водо- и нефтенасыщенности, $S_{wc} \le S_w \le 1- S_{or}$, $S_o=1- S_w$.

Расчеты для пятиточечной и девятиточечной систем были проведены при четырех возможностях:

Двумерные решения (осредненные):

1. *C* – решение – задача решалась с линейными исходными ОФП $k_{rw}(S_w)$, $k_{ro}(S_w)$ вида (1) и средней абсолютной проницаемостью $k^{¿}=0.5$ дарси в двумерной постановке. Был задан 1 пропласток, высотой H = 10м

$$k_{rw}(S_w)=k_{rw}^{0}\left[(S_w-S_{wc})/(1-S_{wc}-S_{or})\right], \quad k_{ro}(S)=k_{ro}\left[(S_o-S_{or})/(1-S_{wc}-S_{or})\right]; \qquad (1)$$

2. *B* – решение – задача решалась в двумерной постановке с модифицированными ОФП $k_{rw}^{m}(S_w)$ $k_{ro}^{m}(S_w)$ вида (2) и $k^{¿}=0.5$ дарси для экспоненциального закона распределения задания абсолютной проницаемости $k(z)$ исходного слоистого пласта. Задавался 1 пропласток, высотой H = 10м.

$$k_{rw}^{m}(S_w)=k_{rw}(S_w)\cdot[1-\ln S_w^{¿}(S_w)], \qquad (2)$$

$$k_{rw}^{m}(S_w)=k_{rw}(S_w)\cdot\left[1+S_w^{¿}(S_w)\cdot\ln S_w^{¿}(S)/\left(1-S_w^{¿}(S_w)\right)\right],$$ где

$$S_w^{¿}(S_w)=(S_w-S_{wc})/(1-S_{wc}-S_{or});$$

Трехмерные решения (эталонные):

3. A_8 – решение (с изолированными пропластками) – эталонное численное трёхмерное решение задачи для десятислойного пласта с изолированными пропластками (отсутствуют перетоки), распределение абсолютной проницаемости которых подчинялось экспоненциальному закону. Задавались 10 пропластков, каждый высотой $H_1 = H_2 = H_3 = H_4 \ldots H_{10} = 1$м, изолированных друг от друга непроницаемыми перемычками;

4. A_7 – решение (с неизолированными пропластками) – тоже, что и предыдущая модель, но с неизолированными пропластками. Задавались 10 пропластков гидродинамически связанные друг с другом. Пропластки располагались относительно друг друга следующим образом: «лучший» (максимальное значение абсолютной проницаемости) рядом с «худшим» (минимальное значение абсолютной проницаемости), «лучший» из оставшихся рядом с «худшим» из оставшихся и т.д. снизу-вверх.

По Рис.1 Можно заметить, что осредненное решение *B* с модифицированными ОФП содержат меньшую погрешность относительно эталонного решения A_8, а решение *C* с исходными ОФП меньшую погрешность относительно эталонного решения A_7. Подобные результаты имеются для девятиточечной системы заводнения, и для иных показателей нефтеразработки. Решения *B* и *C* являются гранью для всех трехмерных эталонных решений A_i. Это обеспечивает обоснованность применения этих двух осредненных моделей в совокупности при площадном заводнении в слоистых пластах при двухфазной неизотермической фильтрации.

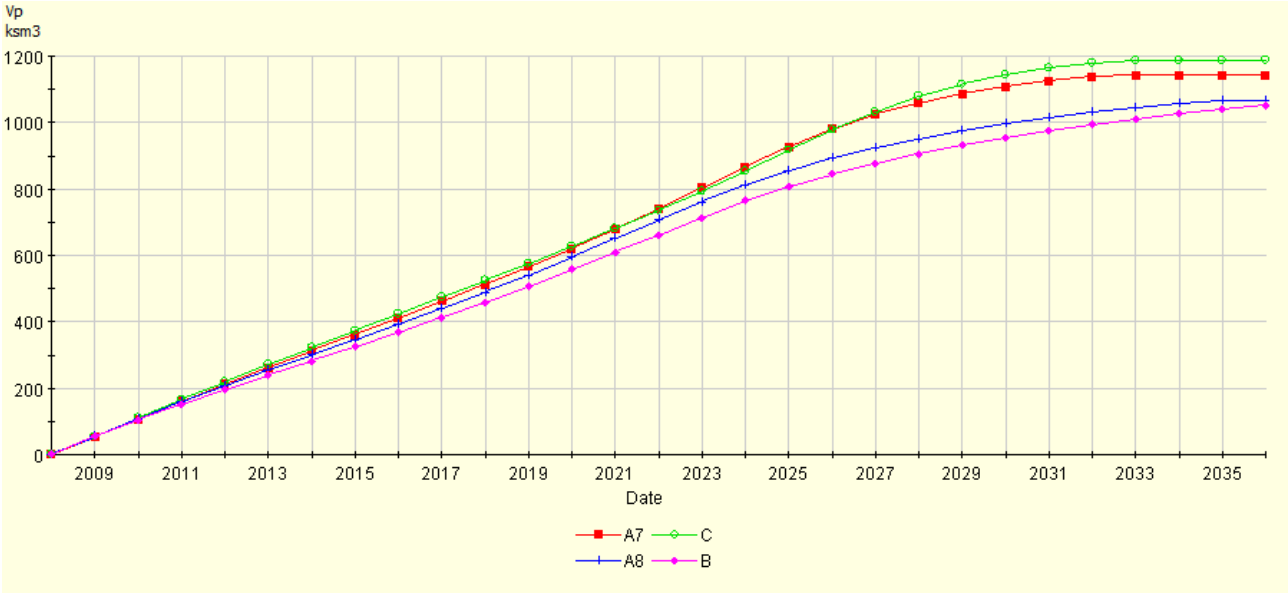

Рис.1 Зависимость суммарного объема добытой нефти V_p от времени *Date* для пятиточечной системы заводнения, и соответственно для решений – A_7, A_8, C, B

Заключение

В контексте работы описано двухфазное неизотермическое вытеснение нефти горячей водой в рамках модели Баклея-Леверетта при площадном заводнении в слоистом пласте – пятиточечной и девятиточечной системах заводнения. Решена задача построения модели неизотермической двухфазной фильтрации при площадном заводнении. Приведено обоснование применения осредненных моделей в совокупности при площадном заводнении в слоистых пластах при двухфазной неизотермической фильтрации.

Библиографический список:

1. Плохотников С.П. Гидродинамические расчеты в слоистых пластах на основе модифицированных относительных проницаемостей / С.П. Плохотников, В.В. Елисеенков // Прикладная механика и техническая физика. (ПМТФ). – Новосибирск: РАН СО,2001. – Т.42, №5, 2001, с. 115–121.

2. Плохотников С. П. Модифицированные проницаемости основанные на модели схемы струй для различных законов распределения / С. П. Плохотников, Р.Х. Низаев, В.В. Елисеенков, В. А. Богомолов, О.Р. Булгакова, В.В.Елисеенков, // ОПиПМ. – М: ОПиПМ, 2009. – Т.16, С. 1109-1010.

Абиров Аскар Абашевич
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт научно-технических и экономических исследований, г. Астана, Казахстан;
Аубакиров Даурен Аубакирович
доктор философских наук, профессор кафедры «Радиотехники, электроники и телекоммуникаций», Физико-технический факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан;
Абдрахманов Рашид Кабдешевич
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт научно-технических и экономических исследований, г. Астана, Казахстан;
Шарифов Джумахон Мухторович
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт научно-технических и экономических исследований, г. Астана, Казахстан;
Серикбаев Нуржан Сагындыкович
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт научно-технических и экономических исследований, г. Астана, Казахстан;
Махмудов Бехруз Нозирович
аспирант, лаборатория «Лаборатория возобновляемых источников энергии и материаловедения», Физико-технический институт им. С.У. Умарова, г. Душанбе, Республики Таджикистан.

Abarov Askar Abashevich
Cand.Tech.Sci., Leading Researcher, Institute of Scientific, Technical and Economic Research, Astana, Kazakhstan; E-mail: askar_abirov@mail.ru
Aubakirov Dauren Aubakirovich
Doctor of Philosophy, Professor of the Department of "Radio Engineering, Electronics and Telecommunications", Physico-Technical Department, Eurasian National University. L.N. Gumilyov, the city of Astana, Kazakhstan;
Abdrakhmanov Rashid Kabdeshevich
Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Institute for Scientific, Technical and Economic Research, Astana, Kazakhstan;
Sharifov Dzhumakhon Mukhtorovich
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Institute for Scientific, Technical and Economic Research, Astana, Kazakhstan;
Serikbaev Nurzhan Sagyndykovich
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Institute for Scientific, Technical and Economic Research, Astana, Kazakhstan;
Mahmudov Behrouz Nozirovich
post-graduate student, laboratory "Laboratory of Renewable Sources of Energy and Materials Science", Ioffe Physico-Technical Institute. S.U. Umarov, Dushanbe, Republic of Tajikistan.

УДК 523.527; 621,039; 662, 995

МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВИХРЕВОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Аннотация: В настоящей работы приводятся результаты компьютерного моделирования и расчет энергетических параметров вихревого гидродинамического теплогенератора (ВГТ). Разработанная моделирующая программа позволяет наглядно и оперативно произвести расчет энергетических характеристик ВГТ.

Ключевые слова: вихревой теплогенератор, коэффициент полезного действия, завихритель.

Вихревые (закрученные) потоки сплошной среды представляют собой один из важнейших и исключительно трудных разделов механики жидкостей и газов, и безусловно этот факт не вызывает у многих специалистов никаких сомнений [1-3]. При исследовании вихревых движений были обнаружены факты, которые послужили стимулом к новым аспектам исследования вихря, т.е. физические явления, свидетельствующие о проявлении нелинейных эффектов в аэрогидродинамических процессах. Они

характеризуются специфическими, принципиально отличающими их от осевого движения свойствами, такими как возникновение вторичных течений, активное и консервативное воздействие на структуру среды, трёхмерный характер осреднённых и пульсационных параметров, анизотропия характеристик переноса теплоты и импульса, высокие градиенты скоростей и давления и т.д. Перечисленный набор данных свойств, которые характерны для вихревых теплогенераторов (ВТГ), впервые были обнаружены в «вихревых трубах» - устройствах, реализующих эффект энергетического разделения закрученных потоков, известный как «эффект Ранка» или «вихревой эффект», т.е. разделении закрученного потока на два - один из потоков имеет температуру ниже, чем у входящего потока, а другой выше.

Попытки теоретического объяснения вихревого эффекта представлены в сотнях работ, но ни в одной из них не удалось пока учесть всю совокупность факторов, характеризующих трехмерное вихревое течение в полости ВТГ. Гипотезы исходят из разнообразных предположений о механизме энергообмена в вихре и вынужденно используют упрощения, правомерность которых оценить затруднительно. Наиболее распространенной физической моделью, объясняющей температурное разделение в вихревой трубе, является модель Фультона, согласно которой свободный вихрь, образующийся на входе в камеру вихревой трубы, должен преобразовываться в вынужденный вихрь с периферийной скоростью более высокой, чем у свободного вихря [4].

Точный расчёт эффективности работы вихревых гидродинамических теплогенераторов (ВГТ) представляется, достаточна сложная задача, связанный, прежде всего с характеристиками рабочей среды (воды), а также правильного выбора методики расчёта и геометрических параметров гидродинамических теплогенерирующих установок. Поэтому, вопросы, связанные с теоретическими расчётами гидродинамических теплогенераторов, часто сводятся к решению с использованием математических численных расчетов.

Теоретический анализ эффективности ВГТ проведены в многочисленных работах, в частности, в соответствие с работой Фурмакова Е.Ф. (2004), теплопроизводительность ВГТ за время τ, как правило, определяют по перепаду температуры на теплообменнике $\Delta T = T_2 - T_1$ и расходу G воды в контуре:

$$Q = k\Delta T\, G\tau \qquad (1),$$

где k – коэффициент пропорциональности.

При этом эффективность работы теплогенератора, в пренебрежении потерями тепла гидрмагистралями и элементами контура, оценивают отношением:

$$\eta = Q / U, \qquad (2)$$

где U – электроэнергия, потребляемая насосом за время τ.

Процедура оценки теплопроизводительности ВГТ и его эффективности на основе параметра перепада температуры ΔT в соответствии с выражением (1) и (2), многие авторы считают некорректной, а значение эффективности ВГТ– завышенным. Для достоверной оценки эффективности ВГТ рекомендуется другая метрологическая процедура, позволяющая контролировать только ту часть произведенной генератором теплоты, которая передается потребителю. Подобный подход осуществляется, например, с использованием калориметра, представляющего собой резервуар с образцовой жидкостью, в котором размещен теплообменник. Зная, насколько изменится температура T образцовой жидкости в резервуаре за время τ, можно определить количество тепла ΔQ, отданного теплообменником образцовой жидкости за это время, и достоверно оценить эффективность генератора с помощью соотношения

$$\eta_1 = \Delta Q / U, \qquad (3)$$

Анализируя вышеизложенное, естественно предположить, что причиной завышенной оценки эффективности теплогенераторов может служить внешняя убедительность калориметрических операций, выполненных в соответствии с выражениями (1) и (2). В целом, при прикладных исследованиях представляется необходимой разработка методики расчета проектируемых энергоразделяющих устройств и их основных элементов, реализация данной методики в виде программного комплекса, исследование отдельных аспектов, определяющих рабочий процесс в устройстве при закрученных гидродинамических потоках.

Моделирования и совершенствования методов расчета при проектировании ВГТ, реализующих эффект Ранка-Хилша, позволяют более корректно оценивать их эффективность функционирования и в настоящее время является одной из актуальной задачей. С другой стороны, большинство аналитических и теоретических трудов, направленных на объяснение эффекта Ранка-Хилша, не в полной мере удовлетворяют результатам экспериментальных исследований и проектирования ВГТ, поэтому процессы моделирования и изучения вихревого эффекта и его применение представляет значительный научный интерес.

Моделирование вихревого эффекта нашло отображение в трудах различных авторов: Леонтьев А.И., Исаев С.А, Пиралишвили Ш.А, диссертационные работы Соловьева А.А., Пархимовича А.Ю., Гурина С.В., Ахметова Ю.М., Носкова А.С. и в работах многих других авторов.

Численное моделирование и расчёт характеристики ВГТ проведены в среде объектно-ориентированного программирования Borland Delphi 7.0. Разрабатываемые в среде Delphi программы, как правило, состоят из нескольких программных модулей, имеющих соответствующие расширения. При этом создаваемые пользователями программы фактически являются приложениями к проекту – к главной программе

В алгоритме математической модели задач, для расчета коэффицента преобразования энергии ВГТ, все определяемые параметры (вихревая труба, насосная установка и теплоноситель) объединены в одно окно. Программа состоит из набора команд, то есть инструкций, последовательное выполнение которых приводит к достижению результата. Последовательность инструкций определяется алгоритмом задачи:

Алгоритм:

```
unit Unit1;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, XPMan, jpeg, ExtCtrls, TeEngine, TeeFunci, Series,
  TeeProcs, Chart, Menus;
type
  TForm1 = class(TForm)
    edt1: TEdit;
    edt2: TEdit;
    edt3: TEdit;
    btn2: TButton;
    btn1: TButton;
    img1: TImage;
    img2: TImage;
    img3: TImage;
    img4: TImage;
    procedure btn2Click(Sender: TObject);
//    procedure edt2Change(Sender: TObject);
    procedure btn1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
var
  Form1: TForm1;
  Q1,Q2,K:real;
implementation
{$R *.dfm}
procedure TForm1.btn1Click(Sender: TObject);
begin
Q1:=StrToFloatDef(edt1.Text, 0);
Q2:=StrToFloatDef(edt2.Text, 1);
K:=Q1/Q2*100;
edt3.text:=floattostr(K)+'%';
end;
```

```
procedure TForm1.btn2Click(Sender: TObject);
begin
edt1.Text:='';
edt2.Text:='';
edt3.Text:='';
end;
end.
```

Таким образом, согласно данному алгоритму задачи, при запуске програмы расчет коэффициента преобразования энергии ВГТ (К.П.Э) производится по следующей зависимости:

$$К.П.Э = (Q_1/Q_2)\times 100\% \quad (4)$$

где, Q_1 - полезная энергия, выработанная в системе ВТГ Q_2 – энергия, потребляемая центробежным насосом (ЦН).

Значение Q_1 вычисляется по зависимости:

$$Q_1=cm\Delta T \quad (5)$$

где, *c*-теплоемкость теплоносителя (для воды - $4{,}2\times10^3$ Дж/кг×К); *m* - удельная масса (объем) воды в системе; ΔT - разность температуры в системе до и после включение ВТГ;

Величину Q_2 определяем по формуле:

$$Q_2=p\Delta t \quad (6)$$

где, P - заданная мощность центробежного насоса (P=1,7 кВт); Δt– время работы ЦН.

При запуске программы, появляются соответствующие окна для ввода нужных значений параметров ВГТ и их дальнейшего расчета. На рисунок 1, представлены формы этих окон.

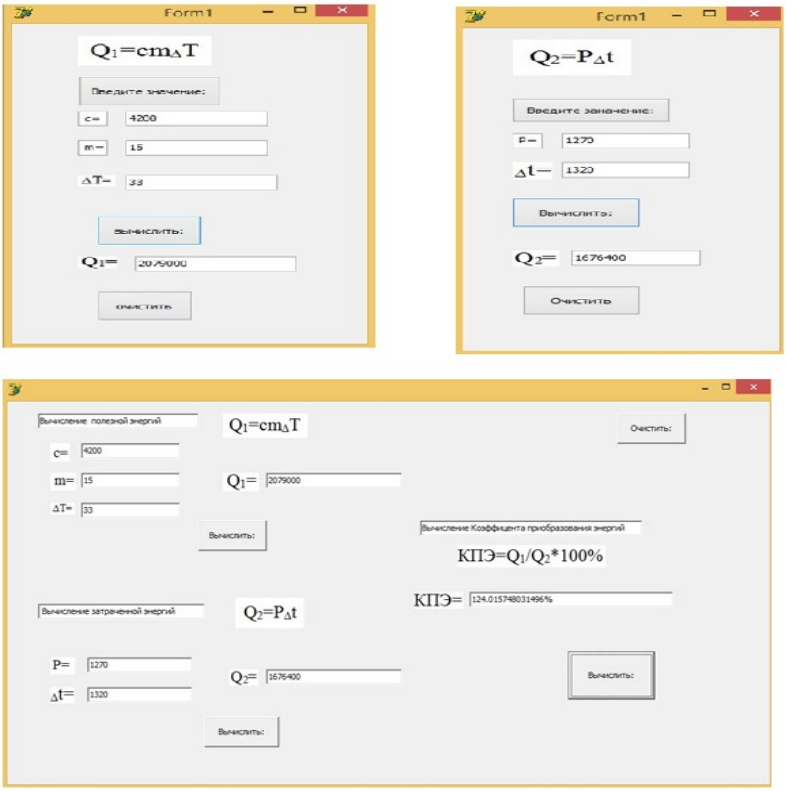

Рисунок 1. Результаты вычисление КПЭ ВГТ программой.

Библиографический список:

1. Пиралишвили Ш.А., Поляев В.М., Сергеев М.Н. Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения / Под ред. Леонтьева А.И. -М.:УНПЦ “Энергомаш”, 2000. - 412 с.
2. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М.: Машиностроение, 1969. -183 с.
3. Соловьев А.А. Численное и физическое моделирование процессов энерго и фазоразделения в вихревых трубах : дис. канд. техн. наук. Уфа, 2008,155 с.
4. Емин О.Н., Зарицкий С.П., Моравский А.В. Экспериментальное исследование работы эжектора с отрицательным коэффициентом эжекции. Теплоэнергетика.- 1972. – №10. – С. 51-53.

Шушлебин Игорь Михайлович
Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры ФТТ
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» г. Воронеж, Российская федерация
Shushlebin Igor Mikhailovich
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of SSP
Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia
E-mail: shushlebin@mail.ru

УДК 621.569

ДИНАМИКА ПЕРЕХОДА К ТЕПЛОВОМУ РАВНОВЕСИЮ В МАЛЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

THE DYNAMICS OF THE TRANSITION TO THERMAL EQUILIBRIUM IN SMALL REFRIGERATION INSTALLATIONS

Аннотация: Представлены результаты экспериментальной проверки математической модели установления теплового равновесия в охлаждаемом помещении.

Abstract: The results of an experimental verification of the mathematical model of the establishment of thermal equilibrium in the refrigerating chamber are presented.

Ключевые слова: температура окружающей среды, теплоприток, система охлаждения.

Key words: ambient temperature, heat input, cooling system.

Введение

Транспортные холодильные установки обеспечивают непрерывность холодильной цепи при поставках продуктов. Холодильный транспорт подвергается воздействию переменных внешних условий. Климатические, сезонные и суточные колебания температуры окружающей среды, перемещение по тоннелям, высокогорным дорогам и т.д. обуславливают практическую потребность в изучении переходных процессов в таких холодильных установках. Выбрав в качестве примера железнодорожный транспорт, заметим [1;30-32], что большое количество вагонов холодильного железнодорожного транспорта, было разработано и изготовлено в 70-80-ые годы прошлого века. Это ставит вопрос о необходимости модернизации, что целесообразно проводить с учётом переходных процессов.

Основной раздел

Температура малой холодильной установки существенно определяется теплопритоком через ограждения [2;58-62]. Основу анализа при этом образуют ситуации, когда теплоотвод, обеспечиваемый работой системы охлаждения, непосредственно конкурирует с теплопритоком. Скорость изменения температуры охлаждаемого помещения (аппарата) $t_{пм}$ определяется разностью между теплопритоком $Q_п$ и теплоотводом $Q_о$.

$$d\, t_{пм}/d\tau=(Q_п - Q_о)/C$$

где C – коэффициент тепловой емкости.

При выключении системы охлаждения $Q_о=0$ и для температуры аппарата $t_{пм}$ получаем уравнение

$$d\, t_{пм}/d\tau = Q_п/C\ ,$$

или

$$d\, t_{пм}/d\tau = kF(t_н - t_{пм})/C$$

где k – коэффициент теплопередачи ограждения, F - площадь ограждения, $t_н$ – температура наружного воздуха (окружающей среды).

Решение последнего уравнения имеет вид

$$t_н - t_{пм}(\tau) = A \exp\{ - \tau/\tau_0\},$$

где A – постоянная интегрирования, $\tau_0 = C/k\,F$.

Введем $\Delta\ t\,(\tau) = t_н - t_{пм}\,(\tau)$, тогда получаем

$$\Delta\ t\,(\tau) = \Delta\ t\,(0) \exp\{ - \tau/\tau_0\}.$$

Отсюда вытекает, что (вводим переменную Z)

$$Z \equiv \ln\ \Delta\ t\,(\tau)/\ \Delta\ t\,(0) = - (k\,F/C)\,\tau.$$

Таким образом, в нагреваемом естественным путем охлаждаемом помещении (аппарате) разность температур $\Delta t(\tau) = t_н - t_{пм}(\tau)$ уменьшается с течением времени по_экспоненциальному закону.

Рассмотрим процесс охлаждения аппарата от начальной температуры (наружного воздуха) до рабочей температуры.

Скорость изменения температуры помещения (аппарата) $t_{пм}$ и здесь определяется разностью между теплопритоком $Q_п$ и теплоотводом $Q_о$:

$$d\, t_{пм}/d\tau=(Q_п - Q_о)/C$$

Теплоприток $Q_п = k_1 F_1(t_н - t_{пм})$, где k_1 – коэффициент теплопередачи ограждения, F_1 - площадь ограждения, $t_н$ – температура наружного воздуха (окружающей среды).

При включении системы охлаждения возникает теплоотвод $Q_о= k_2 F_2 (t_{пм} - t_о)$, где – k_2 коэффициент теплопередачи системы охлаждения, F_2 – площадь испарителя системы охлаждения, $t_о$ – температура хладагента в испарителе.

Для температуры аппарата $t_{пм}$ получаем уравнение

$$C\, d\, t_{пм}/d\tau = k_1 F_1(t_н - t_{пм}) - k_2 F_2 (t_{пм} - t_о).$$

Приходим к уравнению

$$C\, d\, t_{пм}/d\tau = M_1 - M_2 t_{пм},$$

где $M_1 = k_1 F_1 t_н + k_2 F_2 t_о$; $M_2 = k_1 F_1 + k_2 F_2$.

Решение уравнения имеет вид

$$Y = A \exp\{ - \tau/\tau_0\},$$

где $A = Y(0) = k_2F_2(t_н - t_о)$ – постоянная интегрирования, переменная $Y = M_2 t_{пм} - M_1$, постоянная времени $\tau_0 = C(k_1 F_1 + k_2 F_2)$.

Отсюда вытекает, что

$$t_{пм}(\tau) = t_{пм.рав.} + B \exp\{ - \tau/\tau_0\},$$

где равновесная температура охлаждаемого помещения определяется известной формулой $t_{пм.рав.}= M_1/M_2= (k_1 F_1 t_н + k_2 F_2 t_о)/ k_1 F_1 + k_2 F_2$, а $B = k_2F_2(t_н - t_о)/ k_1 F_1 + k_2 F_2$.

В охлаждаемом помещении (аппарате) с течением времени теоретически разница между текущей и равновесной температурой убывает по экспоненциальному закону. На практике процесс охлаждения прерывается, когда датчики зафиксируют приближение температуры к рабочему значению, которое выбором системы охлаждения согласовано с равновесной температурой установки.

Измерение равновесной температуры $t_{пм.рав.}$ позволит в свою очередь оценить коэффициент теплопередачи системы охлаждения

$$k_2 = k_1 (F_1 / F_2)[(t_н - t_{пм.рав.}) / (t_{пм.рав.} - t_о)].$$

В целях экспериментальной проверки было использовано следующее оборудование: холодильная установка ШХ -0.4, термометр для определения температуры в пределах +25…- 25 ^{0}C, хронометр. Термометр был вмонтирован в боковую поверхность холодильного шкафа, что позволило определять временные зависимости температуры внутри охлаждаемого аппарата $t(\tau)$.

На рисунке 1 приведена кривая зависимости $t(\tau)$ для холодильника, исходная температуры камеры которого t = 21,25 °C совпадала с температурой окружающей среды. При этом компрессор находился в выключенном состоянии. После включения проводились измерения температуры с шагом 1 минута.

На графике чётко выделяется начальный участок (около 6 минут), когда изменение температуры не происходило. В интервале 6-12 минут начинается понижение температуры, однако, процесс не описывается в полной мере полученной выше простой экспоненциальной зависимостью.

Экспоненциальный характер понижение температуры проявляется, начиная с 12-13 минуты процесса охлаждения. Такой ход кривой мы связываем с установлением рабочего режима холодильной установки, в исходном своём состоянии нагретой и без запаса жидкого хладагента. С учётом этого обстоятельства, полученные экспериментальные результаты вполне подтверждают наши модельные представления. Приведённые по формулам нашей модели оценки величины коэффициента теплопередачи ограждения дали значения в пределах 0,09-0,12 Вт/ м^2 К.

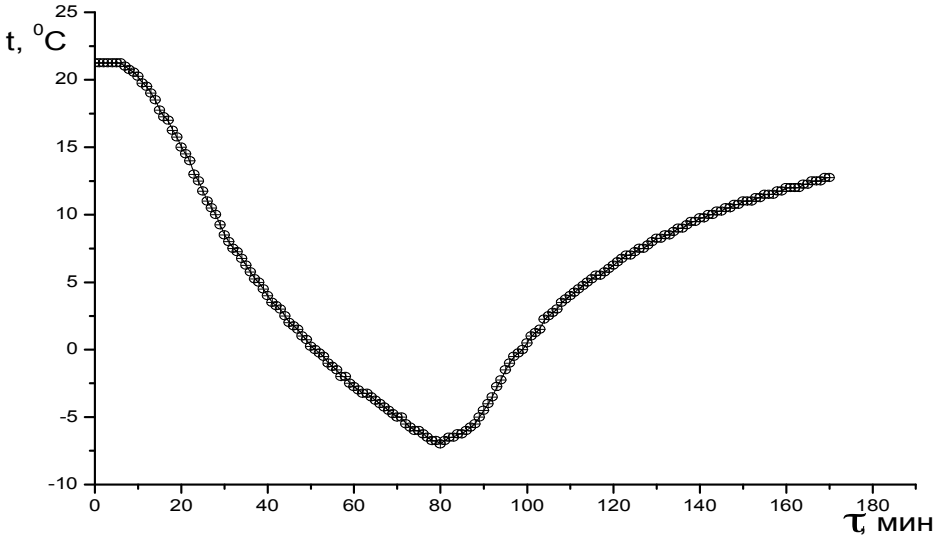

Рисунок 1. Кривая охлаждения-нагревания холодильной камеры.

После отключения холодильной установки температура внутри её камеры в течение 9 минут изменятся слабо, экспоненциальную форму приобретает через 10 минут после начала процесса нагревания. Поскольку внутри установки сохраняется некоторое количество жидкого хладагента, испаритель и часть трубопроводов находятся при низкой температуре, то процесс охлаждения (теплоотвода) не прерывается моментально при отключении установки. В результате теплообмен с окружающей средой становится определяющим фактором только после установления теплового равновесия внутри самой системы охлаждения. После этого процесс нагрева внутренней камеры холодильника развивается в соответствии с полученными формулами. Проведённые оценки коэффициента теплопередачи охлаждающей системы лежат в пределах 1,2-1,4 Вт/ м^2 К.

Заключение

Экспериментальные данные подтверждают в целом выводы математической модели в рамках заложенных условий.

Библиографический список:

1.Ворон О.А. Модернизация холодильного оборудования вагона – ресторана/Ворон О.А., Фролов Р.А., Фодоркин Д.М., Украинцев М.Г Холодильная техника.- 2005.- № 8.- С.30 -32.

2.Шушлебин И.М. Динамика переходных процессов в малых холодильных установках/Физико-математическое моделирование систем: материалы VI Междунар. семинара. Воронеж. – 2009. – ч.1. – 249 с.

Научное издание

Коллектив авторов

Сборник материалов XVII Международной научной конференции «Техноконгресс»

ISBN 978-5-9500488-5-2

Техниконаучный журнал «Техноконгресс»

Кемерово 2017