

Евразийский Союз Ученых. Серия: технические и физико-математические науки

Ежемесячный научный журнал
№ 09 (124)/2024 Том 1

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Макаровский Денис Анатольевич

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

• **Штерензон Вера Анатольевна**

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

• **Синьковский Антон Владимирович**

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

• **Штерензон Владимир Александрович**

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

• **Зыков Сергей Арленович**

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

• **Дронсейко Виталий Витальевич**

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Художник: Валегин Арсений Петрович
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:
198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая, д. 44, к. 1, литера А
E-mail: info@euroasia-science.ru ;
www.euroasia-science.ru

Учредитель и издатель ООО «Логика+»
Тираж 1000 экз.

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИЧЕСКИЕ НАУКИ

Дедученко Ф.М., Киндеев Д.П.

КОМПЛЕКСНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ
ПОЛНОГО ИННОВАЦИОННОГО ЦИКЛА СОЗДАНИЯ
ПРОРЫВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИРОДНО-
ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ
ИНФРАСТРУКТУРЫ 3

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Евраев Д.А., Ильина Т.Н.

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ
ПТИЦЕВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ 10

Евраев Д.А., Ильина Т.Н.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОЖУХОТРУБНОГО И
ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛОБМЕННИКОВ 15

Зборовская М.И., Фартуков В.А.

ПОДХОДЫ К РАСЧЕТУ РАСХОДОВ ПРИ
ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ: ОТ
ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ 19

Павлов А.В.

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ВЗАИМООТНОШЕНИЯМИ С КЛИЕНТАМИ В
ФИНАНСОВОМ СЕКТОРЕ: ВЛИЯНИЕ НА
ОПТИМИЗАЦИЮ ПРОЦЕССОВ И УЛУЧШЕНИЕ
КАЧЕСТВА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С КЛИЕНТАМИ 26

Перфильев А.А.

РАСЧЁТ УРОВНЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СИГНАЛА
ПРИ ОТРАЖЕНИИ И ПРЕЛОМЛЕНИИ НА ГРАНИЦЕ
ДВУХ СРЕД 33

ФИЗИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 62-503.5

КОМПЛЕКСНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ ПОЛНОГО ИННОВАЦИОННОГО ЦИКЛА СОЗДАНИЯ ПРОРЫВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Дедученко Ф.М.

*главный научный сотрудник Института проблем нефти и газа Российской академии наук;
генеральный директор Международной ассоциации «Космические технологии»;
г. Москва, Российская Федерация*

Киндеев Д.П.

*главный инженер Международной ассоциации «Космические технологии»;
г. Москва, Российская Федерация*

A COMPREHENSIVE SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROJECT OF A FULL INNOVATION CYCLE FOR THE CREATION OF BREAKTHROUGH TECHNOLOGIES FOR NATURAL AND TECHNOGENIC SAFETY OF INFRASTRUCTURE FACILITIES

Deduchenko F.M.

*Chief Researcher at the Institute of Oil and Gas Research of the Russian Academy of Sciences;
Director General of the International Association of Space Technologies;
Moscow, Russian Federation*

Kindeev D.P.

*Chief Engineer of the International Association of Space Technologies;
Moscow, Russian Federation*

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.124.2116

АННОТАЦИЯ

Приведенный далее материал не является ни обзорным, ни компилятивным. Он по существу инновационный, базирующийся на результатах фронта тридцатилетних открытых конверсионных НИОКР, ориентированных на решение критически актуальных проблем природно-техногенной безопасности объектов инфраструктуры РФ. Исследованиями были охвачены многие типоразмеры природно-техногенных объектов. Практически во всех случаях в обоснование достоверности и воспроизводимости представленных ниже выходных результатов НИОКР проводились специальные натурные испытания исследуемых объектов.

ABSTRACT

The following material is neither a review nor a compilation. It is essentially innovative, based on the results of the front of thirty years of open conversion R&D, focused on solving critically important problems of natural-technogenic safety of infrastructure objects of the Russian Federation. The research covered many typical sizes of natural-technogenic objects. In almost all cases, special natural tests of the investigated objects were conducted to substantiate the reliability and reproducibility of the R&D output results presented below.

Ключевые слова: безопасность, природно-техногенный объект, авария, катастрофа.

Key words: safety, natural-technogenic object, accident, catastrophe.

1. Введение

Термин «Комплексный научно-технический проект (КНТП) полного инновационного цикла» условно принят далее как общий для всего периода (с 1987 г.) работы по нему. КНТП ориентирован на создание прорывных отечественных технологий природно-техногенной безопасности объектов техноинфраструктуры. Разработка последней его версии была инициирована научным руководителем ИПНГ РАН академиком РАН А.Н. Дмитриевским в 2018 г. в контексте указов Президента РФ № 640 от 30.11.2016 и № 143 от 15.03.2021 в связи с вызовами безопасности государства.

Первоосновой КНТП является проведение натурных испытаний исследуемых природно-техногенных объектов (ПТО) в условиях их

проектирования, производства, доводочных испытаний и штатной эксплуатации. Их результатом стало доказательное понимание определяющей роли системообразующих научной и технологической компонент в достижении конечной цели КНТП. Во всех случаях при проведении конверсионных НИОКР эти компоненты имели наивысший приоритет и, как правило, доводились до рабочего состояния с беспрецедентно высокими уровнями их готовности согласно приказу Минобрнауки РФ от 06.02.2023 г. № 107 к незамедлительному внедрению. С точки зрения реализации КНТП на данный момент всё дело за возрождением до 2000г. под эгидой РАН структуры «коллективного разума», её экипировкой высокоэффективными проблемно-

ориентированными программно-аппаратными средствами (собственная выходная продукция КНТП), проведением адекватных организационных мероприятий и введением жесткой подконтрольности процесса выполнения КНТП.

На современном этапе мирового научно-технического прогресса приоритетной стала опора на научно и экспериментально обоснованные технологии даже в большей степени, чем на результаты теории [1, 2]. Причина – повсеместное внедрение сложных информационных технологий и методов сбора-обработки-передачи исходных данных об объектах и протекающих в них рабочих процессах для получения новой информации более высокого качества об их состоянии для целевого управления объектами (в том числе в обеспечение их безопасности). Характерными особенностями таких технологий являются их запредельные сложность, быстрдействие, ответственность за принятые решения и их исполнение, превосходящие возможности непосредственного оперирования ими человеком.

2. Стиль выполнения НИОКР по тематике КНТП

Основные особенности стиля выполнения НИОКР по КНТП определялись:

- разработкой КНТП по схеме «коллективного разума» под эгидой РАН (рис. 1);

- преимуществом с доведенными до высокоинформативной кондиции доводочными огневыми испытаниями жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) космического назначения;

- востребованностью подхода-аналога в обеспечении информативности натуральных испытаний гражданских объектов инфраструктуры для решения современных проблем их природно-техногенной безопасности (ПТБ);

- проведением фундаментальных и прикладных исследований на разных типоразмерах гражданских ПТО инфраструктуры, в том числе в Западной Сибири и на дальнем Севере, на постоянной основе вахтовым методом;

- обязательной научно-экспериментальной доводкой до рабочего состояния создаваемых методов, программно-аппаратных средств и технологий ПТБ;

- выполнением опытно-конструкторских разработок с созданием и вводом в штатную эксплуатацию их головных образцов;

- созданием в рамках большей части НИОКР сертифицированной, в том числе на взрывобезопасность, выходной продукции КНТП.



Рис. 1 Титульный лист КНТП

Востребованность именно такого стиля выполнения НИОКР по ПТБ объектов инфраструктуры подтверждается такими официальными документами и работами признанных авторитетов как:

«Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года» [3];

Малинецкий Г.Г. [4, 5] и Подлазов А.В. [6] с их точкой зрения в отношении натуральных испытаний ПТО: «Удивительно, что подчас довольно простые эксперименты могут давать ответы на глубокие фундаментальные вопросы о сложных системах»;

П. Бак [7, 8] с его неоклассической точкой зрения на аварии и катастрофы.

3. Ретроспектива КНТП

Как и в настоящее время, для 50 – 60-х годов прошлого века характерным было объявление Западом в отношении России тотального эмбарго на высокотехнологичную продукцию с целью противодействия выходу нашей страны в открытый космос. Одни из наиболее важных проблем того времени включали [9]:

- минимизацию зависимости от поставок западной продукции и её замещение инновационными отечественными аналогами более высокого уровня;

- обеспечение информативности (наблюдаемости) - управляемости - безопасности ЖРД космического назначения при их огневых испытаниях;

- отработку инновационных методов и технических средств раннего обнаружения-парирования развивающихся аварий;

- отработку новых технологий аварийной защиты ЖРД при их огневых испытаниях, многие из которых завершались тогда взрывоподобными авариями и уничтожением материальной части стенов и испытуемых ЖРД;

- создание новых сверхбыстродействующих исполнителных механизмов защиты от взрывоподобно развивающихся аварий ($\Delta t \approx 30 - 70$ мс).

В конечном итоге все эти проблемы удалось решить, что и обусловило успех в целом отечественной космической программы. Следует отметить при этом определяющую роль открытия мирового уровня, сделанного в конце 50-х – начале 60-х годов в космическом двигателестроении России. Его суть – существование не одного, а двух типов аварий в ЖРД с физически разными механизмами их развития – локальных (в агрегатах двигателя) и системных (вне связи с состоянием агрегатов). Тогда же был отработан первый предвестник наиболее затратных системных аварий – возбуждение в канун их развития аддитивной широкополосной хаотической компоненты в измеряемых параметрах. В последующем при выполнении фронта конверсионных НИОКР на множестве разных типоразмеров гражданских ПТО была доказательно подтверждена общетехническая значимость упомянутого открытия – сосуществование двух напрямую не связанных

между собой дополняющих друг друга процессов эволюции ПТО:

- каждого из элементов в составе ПТО (локальный уровень эволюции);

- ПТО в целом вне прямой зависимости от состояния его элементов (системный уровень эволюции).

Тогда же удалось сформировать и экспериментально отработать ряд новых предвестников развития локальных аварий и на 4 – 5 порядков более затратных системных аварий.

Востребованность обеспечения информативности сложных ПТО на системном уровне определяется тем, что наиболее тяжелые чрезвычайные ситуации относятся к категории системных аварий.

Примечание. Данный эффект оказался техническим аналогом заболеваний человека:

- локальных – отдельных внутренних органов;
- системных – связанных с разбалансировкой (расогласованием взаимодействия) внутренних органов вне прямой зависимости от их состояния (диабета, системной красной волчанки, онкологических заболеваний и т.п.).

Отличия локальной и системной информации о ПТО, естественно, нашли своё отражение в способах и соответственно в технических средствах её извлечения и задействования в системах аварийной защиты. На локальном уровне измеряемые параметры каждого элемента объекта, как правило, обрабатываются независимо от состояния других элементов. Суть же системного подхода состоит в сильном смещении информационного «центра тяжести» в сторону изучения характеристик взаимодействия элементов между собой. Это совершенно иная система обработки, анализа и даже физической интерпретации результатов испытаний объектов. Для её реализации востребованной оказалась новая более высокого уровня технология, увязавшая в единую систему многие неочевидные, потребовавшие научно-экспериментальной отработки тонкости. Мало того, уже в 60-х годах стала понятной явная недостаточность предопределенных теорий вариантов оценки характеристик взаимодействия агрегатов ЖРД. Выходом из положения стало тогда формирование и экспериментальная отработка «своих» новых конструктивных высокоинформативных критериев.

Отметим, что такая точка зрения на сложные технические системы, сложившаяся в России в связи с открытиями в отечественном космическом ракетном двигателестроении, опередила западные результаты-аналоги не менее чем на 30 лет [9]. По состоянию же на данный момент их выводы совпадают с нашими: «Изучение поведения даже каждого из элементов ПТО бесполезно для понимания поведения ПТО в целом!» или в контексте КНТП: «Безопасность ПТО – характеристика системная; она не определяется состоянием и безопасностью даже всех элементов ПТО».

Основу КНТП, естественно, составляют адекватные новой точке зрения технологии. В России они были отработаны в ходе выполнения до 2000г., в основном по государственным заданиям масштабного комплекса так называемых научно-экспериментальных конверсионных НИОКР одновременно с работой над самим КНТП. На Западе при весьма значимом теоретическом заделе по данному направлению, сформированном средствами математического моделирования, включая результаты Э. Лоренца и П. Бака, таких технологий нет и сейчас. Этим объясняются поставки в прошлом и в последнее время западными фирмами исключительно локальных (с ограниченными возможностями и пропуском системных аварий) систем обеспечения информативности-безопасности ПТО, в том числе российским заказчикам.

Готовностью команды инициаторов КНТП к его незамедлительной реализации целесообразно воспользоваться именно сейчас – в условиях второй волны тотальных санкций недружественных России стран. Связано это с необходимостью исключения технологической зависимости от зарубежных поставок и решением проблемы импортозамещения востребованными технологиями и средствами ПТБ более высокого, чем на Западе, уровня защиты ПТО как от локальных, так и системных аварий.

4. Мотивации КНТП

Увязанные с реально отработанными результатами КНТП его основные мотивации включают 4 позиции:

- нерешенную проблему развития в мире в 50 последних лет эпидемии катастроф (данные ООН и Брюссельского центра исследований эпидемиологии катастроф CRED);
- провозглашенную в начале XXI века, но несостоявшуюся реформу промышленного комплекса России из-за отсутствия объединяющей технологической платформы;
- критическую актуальность приобщения России к принятым ООН в 1987г стратегическим принципам развития бизнеса ESG;
- созданную и внедренную инициаторами Проекта в 2006г. сертифицированную на взрывобезопасность Систему природно-техногенной безопасности (СПТБ) и профессионального программируемого инструментария (ППИ). Впервые в мировой практике СПТБ с упреждением предупредила об опасности и вовремя обнаружила и парировала развитие реальной общепромысловой катастрофы. Этим была подтверждена реализуемость и эффективность принятой идеологии КНТП и его экспериментально отработанного пакета технологий промышленной безопасности (ПТПБ).

5. Актуальность КНТП

Актуальность КНТП определяется:

- информационной неполноценностью получившей распространение схемы проведения доводочных испытаний и самой эксплуатации гражданских ПТО, в которой подконтрольными

являются исключительно элементы ПТО, но не ПТО в целом с его наиболее тяжелыми системными авариями – катастрофами. Все используемые в мире и России штатные системы обеспечивают исключительно агрегатный уровень информативности и безопасности ПТО;

- отсутствием отработанных технических средств и технологий противодействия развитию беспрецедентно затратной и опасной для выживания человечества эпидемии тяжелейших природно-техногенных катастроф (данные ООН и Брюссельского центра исследований эпидемиологии катастроф CRED);

- практически полным отсутствием высокоинформативного штатного профессионального программируемого инструментария (ППИ) и отработанных алгоритмов формирования предвестников в основном взрывоподобных катастроф, правил принятия решений о противодействии им и соответствующих сверхбыстродействующих исполнительных механизмов;

- невозможностью обеспечения подконтрольности и учёта текущего значения степени динамической согласованности-совместимости элементов в составе сложных ПТО;

- актуальностью обеспечения подконтрольности представляющих опасность для людей и окружающей среды действующих и исчисляемых в России многими тысячами бесхозных скважин (в первую очередь нефтегазовых);

- актуальностью решения проблемы обеспечения доказательной информативности и безопасности процессов вращательного, вращательно-ударного и ударно-вращательного бурения скважин (нами экспериментально отработаны средства высокоточного бесконтактного измерения-анализа совместно микро- и макроторсионных колебаний валов оборудования роторного типа, включая вращающиеся колонны бурильных труб);

- повышенным спросом на проведение системных исследований микро- и макроуровневой промышленной и природной сейсмической активности, в первую очередь критически актуальных регионов РФ – Московского осадочного бассейна, Западной Сибири, Сахалина, Курильских островов, Камчатки с преимуществом выяснения условий формирования, поиска и разработки месторождений углеводородов;

- критическим дефицитом кадрового обеспечения промышленного комплекса России по направлению обеспечения системной информативности и безопасности ПТО инфраструктуры нашей страны;

- критической актуальностью решения проблем обеспечения в условиях противостояния с «цивилизованным» Западом реальной импортонезависимости и безопасности России.

6. Постановки задач в КНТП

Базирующийся на сформированных научно-экспериментальных заделах КНТП декларирует ряд важных условий, обязательных для исполнения при его реализации:

- совмещение взаимно дополняющих друг друга локального и системного уровней обеспечения информативности и безопасности ПТО. Базовыми для выполнения этого условия являются отработанные нами методы, технические средства и адекватные им технологии;

- сопутствующие жизнедеятельности человека в последние десятилетия воздействия на твёрдую (литосферу), газообразную (атмосферу), гидро- и геосферу Земли резко активизировали развитие природно-техногенных катастроф. Более того, это привело к проявлению их нового более опасного качества в связках природно-техногенных и техногенно-природных катастроф (в зависимости от того, какой из двух факторов оказался ведущим). Это и стало причиной того, что в КНТП впервые была поставлена и решена задача противодействия развитию системных аварий (катастроф), включая описанные выше связки.

Сам термин «природно-техногенный объект», похоже, вошёл в обиход в 2006 году по результатам НИОКР, выполненных МА «Космотех» на УКПГ-2 ООО «Газпром добыча Ямбург». Целью НИОКР было создание новой системы природно-техногенной безопасности (СПТБ) газового промысла с функциями раннего предупреждения-обнаружения-идентификации-аварийной защиты промысла и его внешней природной среды от аварий и катастроф. Вопрос о порядке и месте проведения приёмо-сдаточных испытаний (ПСИ) СПТБ был согласован с руководством промысла за 5 месяцев до начала ПСИ. В течение этого времени в соответствии с ранее отработанной технологией нами были обнаружены потенциально опасные критические режимы (точки бифуркации) оборудования у всех девяти "ниток" корпуса осушки газа (КОГ). Результат был доложен руководству промысла, давшего, тем не менее, разрешение на проведение испытаний в виду многократного прохождения на переходных режимах работы КОГ без каких-либо последствий.

Программой ПСИ СПТБ было предусмотрено проведение десяти однотипных испытаний оборудования второй нитки КОГ на режимах глубокого форсирования-дросселирования нитки. При этом на первых семи её испытаниях на режиме 18% были зафиксированы точки бифуркации оборудования без каких-либо последствий. На восьмом испытании из запланированных десяти на режиме 18% при дресселировании нитки впервые в мировой практике в реальном времени, а не постфактум, было активировано развитие общепромысловой системной аварии. Окончательную идентификацию физического механизма аварии постфактум удалось провести ввиду удачно выбранной избыточной территориально распределённой, включая устья скважин, нештатной (нашей) системы измерения

параметров промысла (146 датчиков), в том числе сейсмические датчики в диапазоне от долей Гц. Механизм аварии определялся мощным автоколебательным процессом с частотой 3.2 Гц на установившемся режиме, инициированным наземным техногенным комплексом в связке с подлежащими под ним недрами с внешним источником восполнения энергии – избыточным давлением в прилегающих недрах на срезе устья скважины;

ввиду того, что стала понятной необходимость учёта динамического взаимодействия оборудования корпуса осушки газа с его внешней средой (смежным техногенным оборудованием и природной средой), в КНТП впервые в мировой практике был реализован режим обязательного учета такого взаимодействия. Показательно, что в Заключении на КНТП Президиума РАН особое внимание было уделено именно этому явлению – общепромысловому техногенно-природному землетрясению. Доказано, что его спусковой механизм, расположенный в наземном техногенном оборудовании промысла, вошел в согласованное взаимодействие с нелинейным элементом – подлежащими недрами и источником восполнения энергии – перепадом давления на срезе скважины;

своеобразными «центрами притяжения» обычных локальных аварий (в агрегатах ПТО) и системных аварий - катастроф являются места концентрации в них энергии. Процедуры ранжирования элементов ПТО в отношении концентрации энергии отработаны нами расчетными методами с обязательным подтверждением достоверности полученных результатов по данным целевых натурных испытаний ПТО. Этим фактически устанавливаются приоритеты в отношении дислокации мест возможного развития локальных и системных аварийных исходов. Кроме того, концентраторы энергии в ПТО при обеспечении их подконтрольности в реальном времени в свою очередь ранжируют ПТО по степени опасности возбуждения локальных и системных колебательных форм в рабочих процессах и конструкции ПТО. Это одна из основных причин обязательного учета в КНТП энергетической точки зрения на развитие локальных и системных эксцессов в ПТО;

учёт основного механизма развития системных аварий в сложных ПТО по критериям динамической согласованности (совместимости) составляющих их элементов. Для электронных систем эта проблема давно решена, в том числе в отношении технологий. Что же касается ПТО, то здесь можно говорить лишь о попытках постановки задач [10]. Значимой наработки и адекватных технологий в мировой практике пока нет. Главной особенностью этого класса задач является востребованность для их решения информации об объекте системного уровня. Ввиду того, что освоенный нами системный подход является базовым для КНТП, задачи согласованности и

совместимости элементов в составе ПТО получили перспективу при условии завершающей экспериментальной доводки соответствующей технологии по уже известному нам сценарию. Задачи этого класса без преувеличения следует отнести к разряду особой важности уже потому, что многие «необъяснимые» масштабные катастрофы происходят практически сразу же после проведенных ремонтов (чаще капитальных). Пример – бессимптомный механический взрыв энергоблока 300 МВт, произошедший 5.10.2002 г. на Каширской ГРЭС - 4 через 11 дней после его капитального ремонта, уничтоживший машинный зал. Причина таких эксцессов – ненаблюдаемость одного из наиболее энергоёмких элементов конструкции ТЭС – многотонных валопроводов и полная неподконтрольность согласованности составляющих компонент энергоблоков, которые заведомо оказались нарушенными при его капитальном ремонте;

важным потребительским качеством выходной продукции КНТП является впервые в мировой практике реализованная её проблемная и объектная ориентируемость, в том числе возможность глубокой адаптации к разным типоразмерам ПТО и их фактическому техническому состоянию – начальному, эволюционирующему или скачкообразно меняющемуся, например, при ремонтах оборудования.

7. Целеполагание КНТП

Главные цели КНТП включают:

- обеспечение важных потребительских качеств – доказательных локальной и системной наблюдаемости-управляемости-безопасности доводочных испытаний и штатной эксплуатации ПТО инфраструктуры специального и общетехнического назначений (в настоящее время обеспечиваются только качества локального характера);

- формирование средствами искусственного интеллекта предвестников аварий и катастроф, идентификации физических механизмов их нарушения, правил принятия решений по ним о защите ПТО от локальных и системных аварий, включая безусловное исполнение каждого из принятых решений;

- введение подконтрольности согласованного (совместимого) функционирования элементов ПТО и их нарушений в реальном времени. Появление потенциально опасных рассогласований элементов вследствие их неравномерного износа, проведения ремонтов, работы на нештатных режимах и т.п.;

- разработку и экспериментальную доводку многокомпонентной технологической линейки КНТП, реализующей сквозное технологическое обеспечение процедур, обеспечивающих безопасность ПТО;

- создание на базе сформированных заделов по ПТБ ПТО инфраструктуры двух дополнительных экспериментально отработанных многокомпонентных линеек, системно увязанных с

технологической линейкой, – инструментальной и испытательной, включающих:

- проблемно-ориентированные ППИ;
- объектно-ориентированные измерительно-регистрационные блоки параметров ПТО, обеспечивающие, в том числе, их измерение и бескабельный сбор (при необходимости), важный для условий дальнего Севера и Сибири, включая исследования сейсмической активности в полевых условиях.

- Примечание.* В публикации авторов [11] в детализированном изложении представлены все три системно увязанные базовые многокомпонентные линейки КНТП.

- техническое обеспечение процесса реализации КНТП, включающее экипировку каждого участника КНТП адаптированными к профилю выполняемых им исследований программно-аппаратными средствами проведения своими силами автономных и в полевых условиях научно-экспериментальных исследований;

- реализацию важного потребительского качества объектной ориентируемости выходной продукции КНТП, допускающей её адаптацию к разным типоразмерам территориально распределённых ПТО или изначально адаптированной к конкретным типоразмерам ПТО (решение принимает Заказчик). При этом адаптация осуществляется к начальным и эволюционирующим состояниям ПТО, его послеремонтным состояниям, а также к характеристикам динамического взаимодействия пары «ПТО ↔ его внешняя среда».

- подготовку остро востребованных высокопрофессиональных проблемно-ориентированных кадров по тематике ПТБ ПТО, в том числе путём совмещения процессов обучения коллективов специалистов с их работой над КНТП;

- создание и освоение производства экспериментально отработанных инструментальной, испытательной и технологической линеек КНТП;

- полноценную коммерциализацию КНТП, включающую оказание профессиональных услуг по тематике ПТБ ПТО, проведение комплекса научно-экспериментальных целевых НИОКР по договорам с заказчиками, отработку новых методов и подходов к гарантированной безопасности ПТО, поставки и техническое сопровождение выходной продукции КНТП, актуализацию по мере отработки её программно-аппаратного обеспечения и т.п.

8. Сроки реализации КНТП

Срок исполнения КНТП – 8 лет с момента принятия решения о его завершающей реализации.

Срок создания инструментальной, испытательной и технологической линеек (системообразующей базовой компоненты КНТП) – первые 5 лет с момента принятия решения о реализации Проекта.

Срок создания линейки систем противодействия развитию локальных и системных аварий ПТО инфраструктуры реального масштаба

времени – с 6-го по 8-й годы с момента принятия решения о реализации КНТП.

Срок перехода на самоокупаемость КНТП – 6-й год с момента принятия решения о реализации КНТП.

9. Продвижение КНТП

Основные мероприятия, информативные в отношении продвижения КНТП и проведенных защит КНТП в высоких федерального уровня инстанциях, включают следующие позиции:

- Защита КНТП 28.09.2021г. на НТС Ассоциации «Спектр-Групп». Заключение по КНТП президента Ассоциации академика РАН и члена Европейской Академии В.В. Ключева;

- Обращение заместителя министра МЧС России А.П. Чуприяна к Президенту РАН В.Е. Фортову от 11.05.2016г. о защите КНТП в РАН и выдаче заключения по нему;

- Защита КНТП 12.06.2016г. на заседании Президиума РАН под председательством Президента РАН В.Е. Фортова;

- Создание по распоряжению Президента РАН В.Е.Фортова 15.06.2016г. специальной Рабочей группы РАН, выдавшей обоснованное позитивное заключение по КНТП;

- Защита КНТП 27.07.2016г в Президиуме РАН (в расширенном составе);

- Защита КНТП 03.08.2016г. по приказу министра МЧС на общеминистерском НТС МЧС РФ с выдачей радикального позитивного заключения и принятыми решениями по исполнению КНТП;

- Защита КНТП 22.10.2018г. на заседании Общественного совета Ростехнадзора РФ. Заключение по КНТП председателя Общественного совета члена-корреспондента РАН В.А. Грачёва;

- Защита КНТП 03.02.2021г. на заседании специального Круглого стола Ростехнадзора РФ. Приняты радикальные позитивные решения по КНТП по его исполнению;

- Защита КНТП 14.12.2021 г. в Торгово-промышленной палате РФ и т.п.

10. Заключение

1 Главной целью КНТП является создание прорывных отечественных технологий природно-техногенной безопасности ПТО инфраструктуры и на их основе многокомпонентной линейки программно-аппаратных средств защиты ПТО от аварий и катастроф в реальном времени.

2 По факту исследованиями по полному инновационному циклу КНТП оказались охваченными многие типоразмеры ПТО инфраструктуры от стадии проектирования до их штатной эксплуатации.

3 Введены подконтрольность согласованного (совместимого) и нарушенного функционирования элементов ПТО и режим защиты ПТО в реальном времени от связанных с ними наиболее тяжелых системных аварий – катастроф.

4 Предусмотрено техническое обеспечение процесса реализации КНТП, включающее экипировку каждого его участника адаптированными к профилю выполняемых им исследований программно-аппаратными средствами проведения своими силами автономных и в полевых условиях целевых натуральных испытаний ПТО инфраструктуры.

5 Запланированы полноценная коммерциализация КНТП и переход на режим его самоокупаемости.

11. Литература

1 Jeremy G. Butler. A History of Information Technology and Systems (англ.). University of Arizona. 2012.

2 SO/IEC 38500:2015, Corporate governance of information technology: resources required to acquire, process, store and disseminate information.

3 Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года (Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р).

4 Малинецкий Г.Г., Подлазов А.В., .М.М. Зулпукаров, Определение момента и типа предстоящей бифуркации по нарастанию шума в сложной системе // Известия. Таганрогский Государственный Радиотехнический Университет. №3, 2006, с.92-100.

5 Малинецкий Г.Г., Митин Н.А., Науменко С.А. Вычисления на ДНК. Эксперименты. Модели. Алгоритмы. Инструментальные средства. Препринт ИПМ РАН №57, 2005.

6 Подлазов А.В. Теория самоорганизованной критичности – наука о сложности

7 Per Bak. HOW NATURE WORKS The Science of Self-Organized Criticality, 1996 (П. Бак, «Как работает природа» (Теория самоорганизованной критичности), Москва, 2013, С. 269).

8 Бак П., Чен К. Самоорганизованная критичность// В мире науки. 1991. №3, с.16-24.

9 Дедученко Ф.М. Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук «Статистическая динамика ЖРД космического назначения» (информация ограниченного доступа), ученый совет Московского государственного университета, 1985г.

10 Бочков А.П. и др. Оценка согласованности и совместимости технических систем в составе сложных организационно-технических систем. Системы управления, связи и безопасности 2020; 1; 284-301.

11 Дедученко Ф.М., Киндеев Д.П. Системообразующие инструментальная, испытательная и технологическая компоненты природно-техногенной безопасности объектов инфраструктуры. Международный научно-исследовательский журнал

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 628.83

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ПТИЦЕВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

*Евраев Д.А.,**аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
(г. Белгород, Россия)**Ильина Т.Н.**док. тех. наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
(г. Белгород, Россия)*

AN ALTERNATIVE SCHEME OF THE VENTILATION SYSTEM OF POULTRY FARMS

*Evraev D.A.,**Postgraduate student of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation
Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov
(Belgorod, Russia)**Ilyina T.N.**Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation
Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov
(Belgorod, Russia)*

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.124.2117

АННОТАЦИЯ

В статье приводится классификация используемых на птицеводческих комплексах систем вентиляции. Рассматриваются преимущества и недостатки этих систем с учётом нормативных параметров микроклимата в помещениях содержания птицы. Представлены основные вредности, выделяемые птицей при напольном содержании. Предложена комплексная схема системы вентиляции с рекуператором удаляемой теплоты для подготовки приточного воздуха. Определена необходимость разработки рекуператора тепла, адаптированного к условиям использования на птицеводческих комплексах.

ANNOTATION

The article provides a classification of ventilation systems used in poultry farms. The advantages and disadvantages of these systems are considered. The normative parameters of the microclimate in the poultry keeping rooms are being analyzed. The main hazards released by poultry during outdoor maintenance are clarified. An alternative integrated scheme of a ventilation system using heat flows from poultry to prepare the supply air is proposed. The necessity of developing a heat recuperator adapted to the operating conditions at the poultry complex has been determined.

Ключевые слова: система вентиляции, птицеводческий комплекс, тепловыделения, рекуператор тепла, микроклимат.

Keywords: ventilation system, poultry complex, heat dissipation, heat recuperator, microclimate.

Модернизация существующих систем организации микроклимата является актуальной задачей, которая позволяет повысить эффективность используемых систем при подготовке воздуха за счет применения современных технологий и материалов, новых подходов и способов рекуперации тепла отработанного воздуха.

Классификация вентиляций птицеводческих корпусов по типу побуждения разделяют на естественную и механическую. Методы организации подачи ненасыщенного примесями и отвод загрязненного воздуха из помещения делятся на приточную, вытяжную и приточно-вытяжную. Наиболее часто используют системы, применяемые в животноводческих корпусах, представляющие собой системы вентиляции с механическим,

естественным и искусственным побуждением, как и смешанные или комбинированные.

Метод естественной вентиляции воздухообмена осуществляется через поры строительных материалов, а также различные отверстия или проемы, которые образовались в следствие применимой технологии строительства, вместо механических побудителей используются искусственные каналы. При естественной вентиляции побудителем движущей силы воздуха является перепад давлений внутреннего и наружного воздуха, создаваемый силой ветра в совокупности с разницей температур наружного и внутреннего воздуха, что выражается в разнице плотности воздуха.

В соответствии с данными результатами и технологией описанного метода, естественная

вентиляция не способна обеспечить необходимый воздухообмен в определенные периоды года и не может поддаваться регулированию.

1. Шахтная схема вентиляции, один из способов организации естественного воздухообмена в птицеводческих корпусах. Приток воздуха осуществляется через проемы в стенах либо подоконные, либо надоконные, также приток может осуществляться при открывании окон. Вытяжка осуществляется за счет крышной шахты.

Практический опыт показывает, что в условиях климатической зоны нашей страны для вентиляции животноводческих и птицеводческих однопролетных корпусов достаточно одной вытяжной шахты сечением 1-2 м² и высотой не менее 5 м, либо нескольких шахт меньшего сечения (см. рис. 1, а). Устройство вентиляционных шахт особенно удобно в зданиях с чердачным перекрытием. Вытяжку воздуха через шахту регулируют с помощью клапана-дресселя [1].

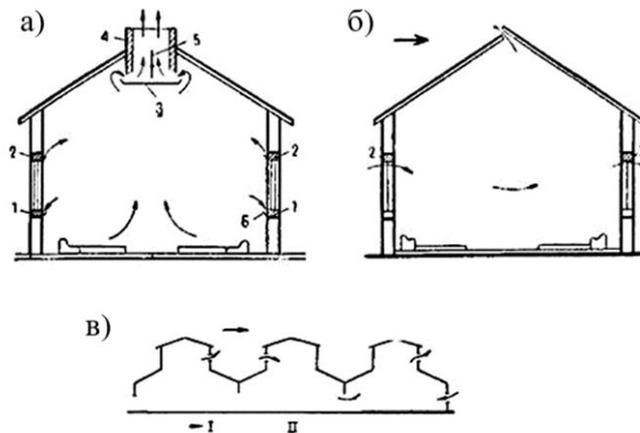


Рис. 1. Схемы устройства естественной вентиляции.

а - шахтная (однотрубная); б - горизонтальная; в - аэрация многопролетного здания; 1 - подоконный приточный проем; 2 - надоконный приточный проем; 3 - поддон; 4 - утепленная шахта; 5 - дроссель-клапан; 6 - регулировочный направляющий клапан.

2. Вторая естественная схема организации воздухообмена, горизонтальная или беструбная схема вентиляции (рис.1, б) позволяет осуществлять воздухообмен в помещении при использовании энергии ветра. Горизонтальная схема считается менее эффективной, чем трубная. Над окнами устраивают приточные щелеобразные проемы, которые заполняют местным пористым материалом. Вытяжка достигается путем устройства специальных вентиляционных щелей по коньку покрытия, правильного подбора ширины здания и ориентации здания на местности с учетом преимущественного направления ветров. Вентиляционные щели на коньке широко применяют в зарубежной практике строительства животноводческих облегченных неутепленных зданий.

3. Последний известный способ организации воздухообмена – это аэрация. Аэрационная схема основана на циркуляции воздуха, вызываемой теплом, которое выделяют животные, действием ветрового давления на здание, а также на возможности его регулирования (рис. 1, в). При аэрации многопролетных зданий технологическое оборудование с животными размещают определенным образом, а в стенах и фонарях

предусматривают вентиляционные отверстия (фрамуги). Воздух в средние пролеты поступает только через аэрационные фонари.

Чрезвычайным недостатком аэрации является возможность загрязнения приточного воздуха последующих корпусов удаляемыми вредностями из предыдущих помещений. Поэтому рекомендуется организовывать разрывы между фонарями в 2-3 раза больше высоты фонарей, но и при соблюдении рекомендаций отсутствие подмеса притока вредностями не гарантируется.

Чаще же в зданиях сельскохозяйственных производственных комплексов применяют вентиляционные системы с механическим побуждением тяги (рис.2).

В приточной системе механической вентиляции наружный воздух подают принудительно в верхнюю часть помещения, а внутренний воздух под воздушным напором удаляется через вентиляционные отверстия, расположенные в нижней части стены, или через вентиляционные каналы, установленные в верхней части навозных каналов. Эта система хороша тем, что приточный воздух можно подогревать или охлаждать, очищать от пыли, увлажнять.

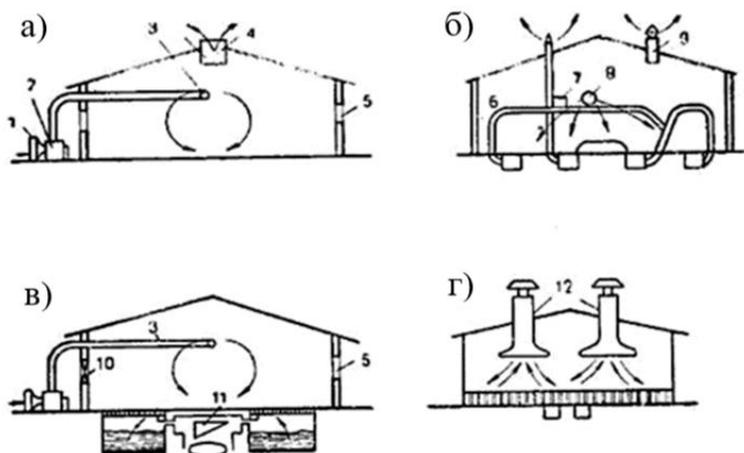


Рис. 2. Схемы устройства принудительной вентиляции.

а - приточная; б - приточно-вытяжная с вытяжкой над подпольными каналами навозоудаления; в - приточно-вытяжная с вытяжкой над навозо-жидкостесборником; г - приточно-вытяжная с установкой типа ПВУ или ПВУР.

В птичниках применяют приточно-вытяжные установки с подогревом воздуха «Климат» и кондиционеры испарительного охлаждения, а также установки типа ПВУ и ПВУР. Предусматривают аварийную естественную вентиляцию [7].

При организации воздухообмена на птицеводческих комплексах в нашей стране используются четыре схемы принудительной вентиляции (рис.3).

Поперечная схема вентиляции (см. рис. 3, б) – это вариант с минимальными затратами на оборудование. Наружный воздух при такой схеме поступает через приточные стеновые форточки, расположенные с одной продольной стороны корпуса, а удаляется вытяжными вентиляторами, установленными с противоположной стороны корпуса по отношению к приточным клапанам. Такая организация вентиляции способна обеспечить широкий диапазон объемов приточного воздуха.

Продольная схема вентиляции (см. рис. 3, г) предусматривает расположение приточных форточек с обеих продольных сторон корпуса, а вытяжные вентиляторы устанавливаются в одной из торцевых стен корпуса. Такое устройство системы вентиляции обусловлено хорошей продуваемостью и распределением воздушных потоков в помещении и подходит для регионов с мягким климатом и не значительными перепадами температуры на протяжении всех сезонов года.

Крышная вентиляция (см. рис. 3, а) – это устройство в кровле корпусов крышных шахт с вытяжными вентиляторами. Приточные стеновые клапаны равномерно распределяются по продольным сторонам корпуса, что позволяет организовать подачу воздуха сверху вниз. Данный способ организации воздухообмена подходит для регионов с холодным климатом, позволяет управлять небольшими объемами подаваемого воздуха.

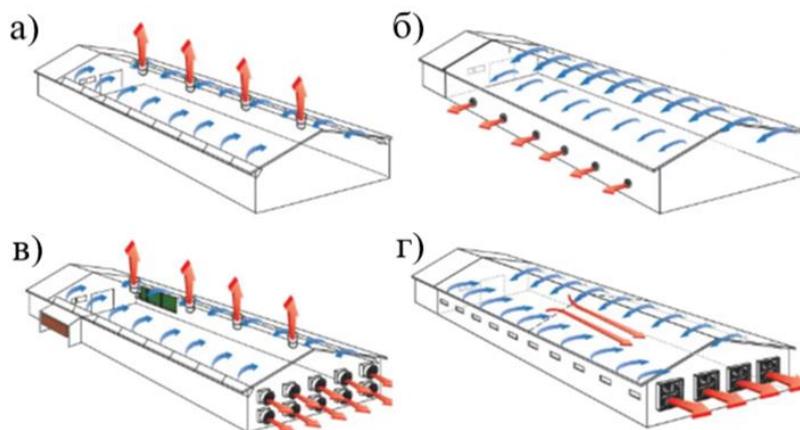


Рис. 3. Схемы устройства принудительной вентиляции.

а - крышная схема вентиляции; б - поперечная схема вентиляции; в - комбитоннельная схема вентиляции; г - продольная схема вентиляции.

При тоннельной схеме (рис. 4) организации воздухообмена вытяжные вентиляторы расположены в одном из торцов корпуса, а приток воздуха осуществляется через приточные жалюзи, располагаемые максимально близко к противоположному торцу корпуса. Работа такой

системы обусловлена высокими скоростями воздушных потоков в помещении, что позволяет эффективно снимать теплопритоки внутри корпуса и оказывает охлаждающий эффект на птицу. Применение данной системы больше подходит для регионов с теплым и жарким климатом.

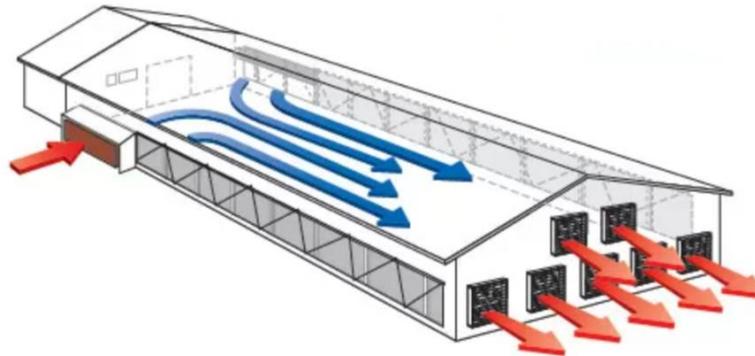


Рис. 4. Тоннельная схема вентиляции птицеводческого корпуса.

Также существует комбитоннельная схема (см. рис. 3, в), которая в зависимости от требований к микроклимату в помещении использует сочетание нескольких приведенных выше схем, следовательно, может обладать достоинствами или недостатками той или иной системы.

В воздухе закрытых помещений содержатся в тех или иных количествах аммиак, сероводород, клоачные газы и другие токсические продукты гниения и брожения органических веществ (индол, скатол и др.).

На ухудшение газового состава воздуха помещений оказывают влияние и сами животные, выделяя при дыхании значительное количество углекислого газа от 1,44 до 1,54 л/ч и водяных

паров от 3,75 до 4,5 г/ч. Высокая концентрация вредных газов, таких как аммиак, сероводород, углекислый газ являются неблагоприятным стрессом для животных.

Основной же вредностью, выделяемой птицей, является теплота. При наполном содержании куры мясных пород весом от 2,9 до 3,2 кг выделяют примерно 32,65 кДж за 1 ч.

При этом температура окружающей среды оказывает наибольшее воздействие на животных, так как она непосредственно влияет на тепловое состояние организма, изменяя тем самым течение жизненно важных процессов [3].

Оптимальные же параметры содержания птицы в закрытых помещениях, приведены в табл.

Таблица

Оптимальные параметры микроклимата для птицы разных возрастных групп

Показатели	Взрослая птица	Молодняк, возраст в днях		
		1-30	30-90	90-160
Температура, °С	12-16*	28-18	18-16	12-16
	16-18	33-20	18	16
Относительная влажность, %	60-70	60-70	60-70	60-70
Воздухообмен, м ³ /ч на 1 кг массы: зима, весна-осень, лето	1,6	9,8	5,5	0,75-1,0
	3,0	12,0	8,0	-
	5,9	16,0	10,0	5-6
Скорость движения воздуха, м/с зима, весна-осень, лето	0,2	0,1	0,1	0,1
	0,4	0,3	0,3	0,3
	0,6	0,5	0,5	0,5
Бактериальная обсемененность, тыс. микр. тел на 1 м ³ воздуха	220	150	200	220
Содержание вредных газов: углекислого, %; аммиака, мг/м ³ ; сероводорода, мг/м ³	0,2-0,25	0,15	0,2	0,2
	10,0	10,0	10,0	10,0
	5,0	5,0	5,0	5,0

При эксплуатации систем вентиляции на птицеводческих комплексах существует четыре основных проблемы:

1. значительный отток тепла. Около 2/3 всего объема нагретого воздуха выбрасывается из птичников в атмосферу с остальными вредностями, что приводит к необходимости использовать с системой вентиляции производительное отопительное оборудование;

2. скорость потока воздуха внутри помещения напрямую зависит от направления и скорости ветра на улице, что не позволяет обеспечить требуемую подвижность воздуха в помещении согласно технологии содержания птицы;

3. отсутствие возможности регулировки объемов приточного воздуха при использовании естественной системы вентиляции, из-за чего нарушается воздухообмен внутри птичника;

4. неравномерное распределение воздуха в помещении, как следствие образуются «мёртвые» зоны, в которых вентиляция либо недостаточна, либо вовсе отсутствует.

Чтобы решить выявленные проблемы в вентиляционных системах птицеводческих предприятий, нами был разработан патент на изобретение №2799158 «Система вентиляции животноводческих помещений» [5]. Описание устройства представлено на (рис. 5).

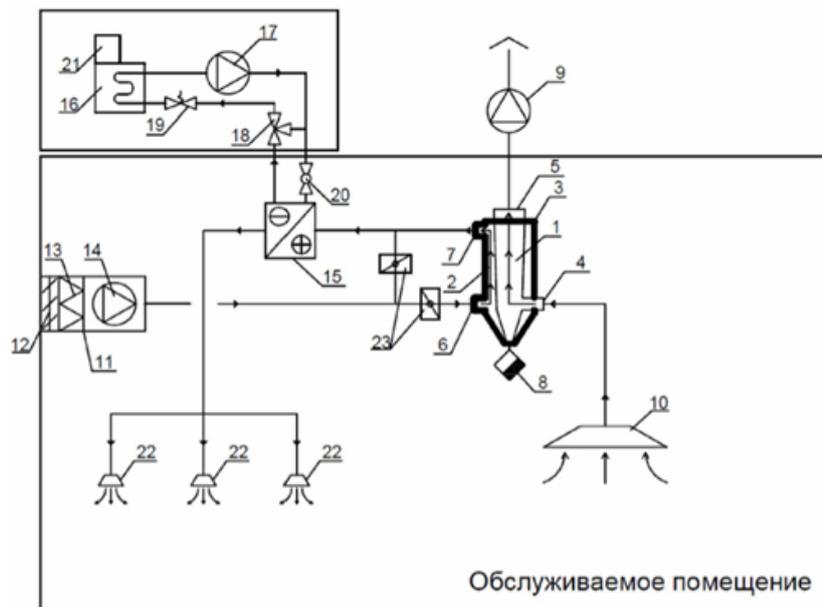


Рис. 5. Схема к патенту «Система вентиляции животноводческих помещений»:

1. вытяжной воздуховод; 2. приточный воздуховод; 3. теплообменник типа «труба в трубе»; 4, 5. тангенциальный входной и выходной вытяжные патрубки; 6, 7. входной и выходной патрубки приточные; 8. конденсатоотводчик; 9. вытяжной вентилятор; 10. вытяжной зонт; 11. приточное устройство; 12. Приточный клапан; 13. Фильтр; 14. приточный вентилятор; 15-21. тепловой насос; 22. воздухораспределители; 23. запорные клапаны.

В предложенном нами решении ключевую роль играет теплообменное устройство (рекуператор тепла), которое предназначено для нагрева приточного воздуха за счет тепловой энергии удаляемого воздуха в зимний период и до охлаждения приточного воздуха в летний период года. Кроме того, предлагаемая система вентиляции является приточно-вытяжной с механическим побуждением, что позволяет регулировать объем приточного и удаляемого воздуха [4]. Воздухораспределители же позволяют регулировать скорость подаваемого в помещение воздуха, в соответствии с технологическими требованиями содержания птицы. При правильном расположении воздухораспределителей в помещении решается проблема «застойных» зон и воздух подается во все зоны корпуса равномерно. Что касается агрессивной среды в помещении (избытки аммиака и сероводорода) по отношению к металлическим конструкциям, то воздуховоды и

распределительные устройства целесообразно применять из полимерных материалов. Конструкцию теплообменного устройства, так же следует выполнить из коррозионноустойчивых материалов, а поверхность окрасить защитным слоем [6].

Таким образом, предлагаемая нами альтернативная система вентиляции животноводческих помещений позволит решить существующие на сегодняшний момент проблемы эксплуатации птицеводческих комплексов. А именно, усовершенствовать конструкцию рекуператора с учетом газового состава удаляемого воздуха и больших теплопритоков от птицы. Рекуператор занимает важнейшую роль в решении проблемы энергосбережения, так как преобразует тепло от удаляемых вредностей в полезную работу при подготовке приточного воздуха. Для разработки конструкции рекуператора, требуется провести компьютерное моделирование процессов

тепломассообмена [2], выявить влияние гидродинамических процессов на интенсивность теплопередачи. Кроме того, важно определить рациональные габаритные размеры и технические характеристики оборудования и элементов предлагаемой системы, используя программы трехмерного моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гигиена животных : учебное пособие для студентов вузов по специальности «Ветеринарная медицина» / В. А. Медведский, Н. А. Садо́мов, Д. Г. Готовский [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2020. – 591 с.

2. Ильина, Т. Н. Моделирование процессов теплообмена в рекуператоре типа «труба в трубе» / Т. Н. Ильина, В. А. Уваров, М. С. Колесников, Д. А. Евраев, В. С. Кретова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2024. – № 1. – С. 30-38. – DOI 10.34031/2071-7318-2023-9-1-30-38.

3. Использование тепла вытяжной вентиляции птичников / А. В. Скляр, В. И. Минаев, В. В. Мохов, М. В. Постнова // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. – 2018. – Том 8, № 2. – с. 72-75.

4. Колесников, М. С. Анализ способов организации приточно-вытяжной вентиляции на свиноводческих комплексах / М. С. Колесников, Д. А. Евраев // Молодежь и научно-технический прогресс : Сборник докладов XIV международной

научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2 т., Губкин, 08–09 апреля 2021 года. Том 1. – Губкин: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 480-484. – EDN JGQDID.

5. Патент № 2799158 С1 Российская Федерация, МПК F24F 7/06. Система вентиляции животноводческих помещений : № 2022134301 : заявл. 26.12.2022 : опубл. 04.07.2023 / Т. Н. Ильина, М. С. Колесников, П. А. Орлов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова".

6. Филиппенко, О. А. Анализ требований к рекуператорам тепла на животноводческих комплексах / О. А. Филиппенко, Т. Н. Ильина, Д. А. Евраев // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе : Материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, учёных и специалистов. В 2-х томах, Тюмень, 20–22 декабря 2022 года / Отв. редактор А.Н. Халин. Том I. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 225-228.

7. Хейкконен, Л. А. Формирование микроклимата на первом этапе выращивания бройлеров в птичниках напольного содержания / Л. А. Хейкконен, А. П. Хинканин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2021. – № 4. – С. 95-104.

УДК 620.97

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОЖУХОТРУБНОГО И ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Евраев Д.А.,

*аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
(г. Белгород, Россия)*

Ильина Т.Н.

*док. тех. наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
(г. Белгород, Россия)*

ANALYSIS OF ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF SHELL-AND-TUBE AND PLATE HEAT EXCHANGERS

Evraev D.A.,

*Postgraduate student of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation
Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov
(Belgorod, Russia)*

Ilyina T.N.

*Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation
Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov
(Belgorod, Russia)*

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.124.2118

АННОТАЦИ

Статья посвящена независимому сравнению технических характеристик современных моделей пластинчатого и кожухотрубного теплообменников. Определить уровень разработанности технологии и дальнейшее направление развития теплообменных устройств является важным аспектом для

промышленности РФ в тяжелый экономический период. Рассматриваются первопричины возникшей проблемы упадка рынка теплообменного оборудования в нашей стране. Предложено изменить курс отечественных исследований теплообменного оборудования на развитие и внедрение в производство кожухотрубных теплообменных устройств.

ABSTRACT

The article is devoted to an independent comparison of the technical characteristics of modern models of plate and shell-and-tube heat exchangers. Determining the level of technology development and the further direction of development of heat exchange devices is an important aspect for the industry of the Russian Federation in a difficult economic period. The root causes of the problem of the decline of the heat exchange equipment market in our country are considered. It is proposed to change the course of domestic research on heat exchange equipment for the development and introduction of shell-and-tube heat exchange devices into production.

Ключевые слова: кожухотрубный теплообменник, пластинчатый теплообменник, конструкции, технические характеристики, площадь теплообмена.

Keywords: shell-and-tube heat exchanger, plate heat exchanger, designs, technical characteristics, heat exchange area.

В настоящее время в обществе остается устойчивым мнение о неоспоримом преимуществе пластинчатого теплообменного аппарата над кожухотрубным теплообменником. Основными тезисами при сравнении приведенных типов теплообменных устройств выступают: компактность, легкость очистки поверхности теплообмена, легкость монтажа и высокая эффективность теплообмена. Действительно ли эти тезисы уместны при сравнении современных моделей пластинчатого и кожухотрубного теплообменников? Чтобы понять, почему мнение о превосходстве пластинчатого теплообменника устоялось в России, необходимо обратиться к истокам появления данного типа теплообменного устройства [2, 5].

Первые прототипы подобия пластинчатого теплообменного аппарата были упомянуты в трудах Драхе, Брейтвиша, Мельвези в конце 18-го века. Позже в 1917 году Гаррисон представил наиболее продвинутый прототип теплообменника с 4-мя отверстиями в углах и угловыми каналами по всей длине пластины (Рис. 1). На основе его разработок в 1923 году запустили первое серийное производство разборных пластинчатых теплообменников с применением фильтр-пресса. Позднее в 1932-1933 годах Фельдмейер и Зеллингман разработали и произвели при помощи штамповки пластины удлиненной формы из тонколистового волнистого металла. Данные пластины увеличили теплопередачу своих аналогов в 3 раза [6].

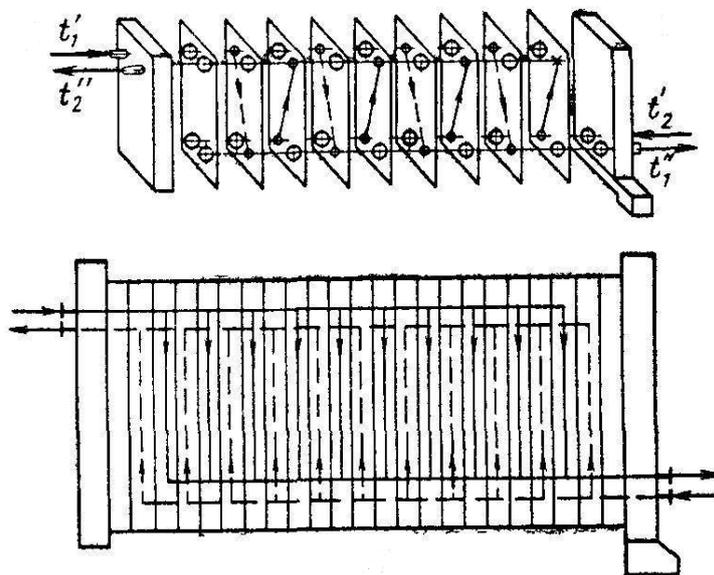


Рис. 1. Схема пластинчатого теплообменника.

Крупнейшие заводы по производству пластинчатых теплообменников и сегодня находятся в США, Англии, Швеции, Германии, Японии, Франции, Италии и Дании. В СССР пластинчатые теплообменники производились на Симферопольском машиностроительном и заводе УралХимМаш в 60-х годах. Мировым же лидером по производству пластинчатых теплообменников

на протяжении многих лет остается компания ALFA LAVAL из Швеции [1].

Изобретение кожухотрубных теплообменников связано с развитием промышленности и необходимостью эффективной передачи тепла в различных процессах производства. Первые примитивные формы теплообменников использовались в древние

времена для нагрева и охлаждения жидкостей. Например, в Древнем Египте, Риме или Греции.

В период промышленной революции в 18-19 веках возросла потребность в эффективном обмене теплом в различных процессах производства, таких как производство пара, дистилляция и другие

процессы. Это поспособствовало развитию более сложных теплообменных устройств. Одними из первых современных кожухотрубных теплообменников были агрегаты с трубчатым узлом в струйном потоке (рис. 2). Они использовались в паровых котлах в конце 18 века.

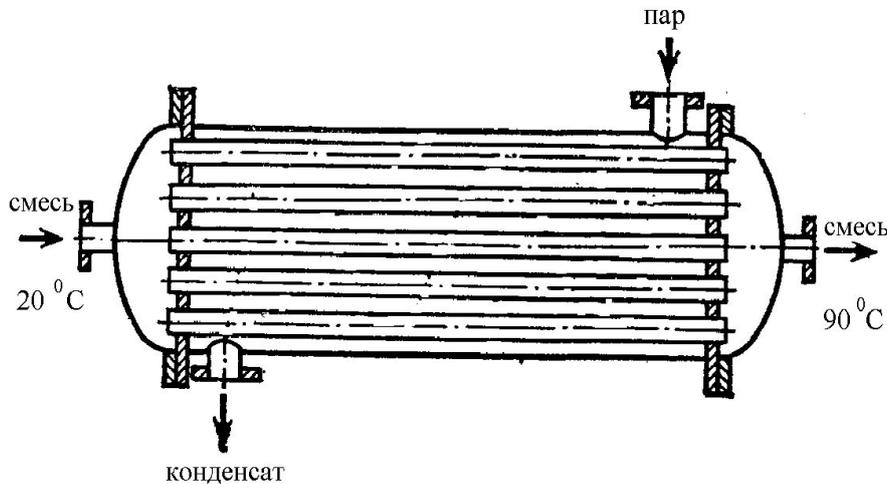


Рис. 2. Схема кожухотрубного парового теплообменника.

Первый патент на кожухотрубный теплообменник был выдан в 19 веке. С течением времени технология продолжала совершенствоваться, и сейчас кожухотрубные теплообменники представляют собой сложные устройства с различными конструкциями и конфигурациями для различных промышленных нужд. С развитием промышленности кожухотрубные теплообменники стали широко использоваться в различных отраслях, таких как нефтегазовая, химическая, пищевая,

фармацевтическая, энергетическая и другие, где требуется эффективная передача тепла между средами.

Сегодня кожухотрубные теплообменники являются неотъемлемой частью промышленных процессов и используются в широком спектре приложений для охлаждения, нагрева и регулирования температуры жидкостей и газов. Их постоянное совершенствование и развитие способствуют повышению эффективности и энергосбережению в промышленности [4].

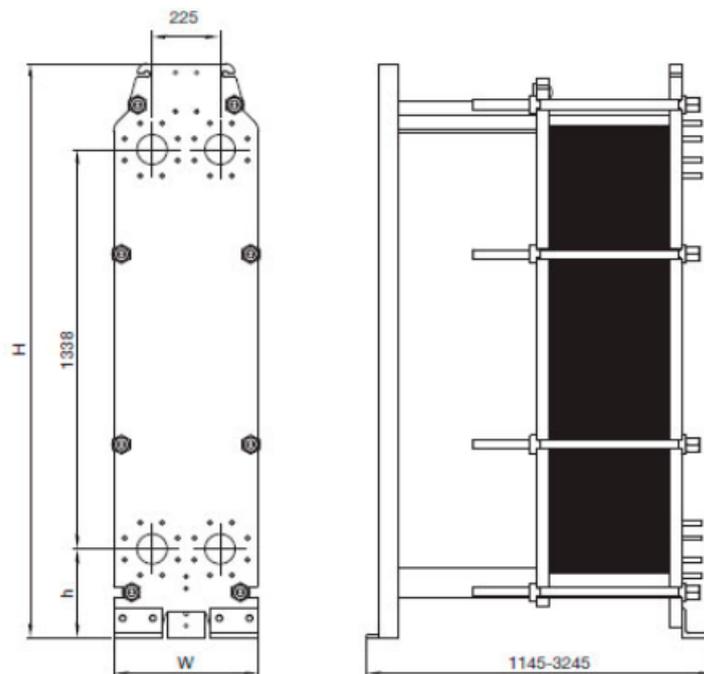


Рис. 3. Чертеж пластинчатого теплообменника Alfa Laval TL10B.

Для сравнения характеристик современных моделей кожухотрубного и пластинчатого

теплообменников рассмотрим две модели, представленные лидером рынка теплообменного

оборудования, Alfa Laval. Разборный пластинчатый теплообменник серии TL10B (Рис. 3) и кожухотрубный теплообменник серии Aalborg MX (Рис. 4). Теплообменник серии TL10B подходит для широкого спектра областей применения, доступен большой выбор различных типов пластин и

уплотнений. Заявленные производителем преимущества данной модели: низкие эксплуатационные расход, возможность изменения площади теплопередачи, компактная конструкция, просто открывается для осмотра и чистки [3, 7].

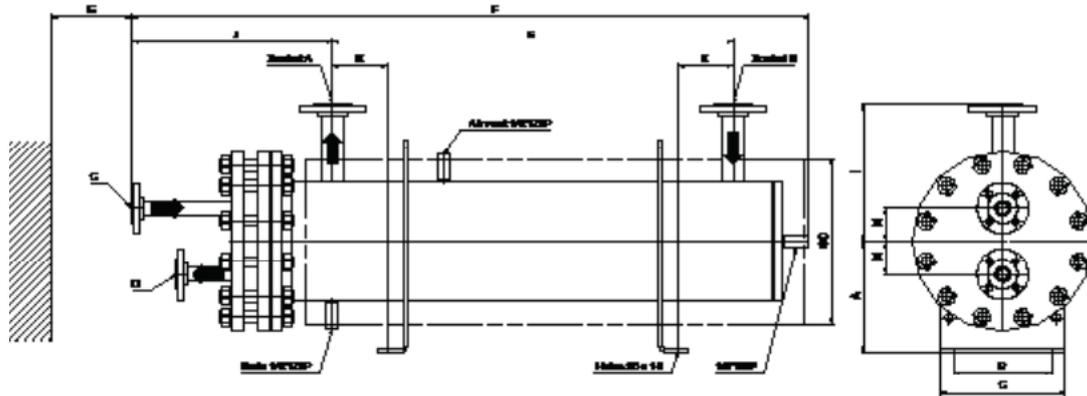


Рис. 4. Чертеж кожухотрубного теплообменника Aalborg MX.

Основные технические характеристики, выбранные для сравнения двух различных типов теплообменников: габаритные размеры, площадь

теплообмена, максимальная рабочая температура теплоносителя и максимальное рабочее давление, масса.

Таблица 1.

Основные технические характеристики теплообменников серии TL10B и Aalborg MX.

Теплообменник серии	TL10B	Aalborg MX
Рабочая среда	Вода	Вода
Габаритные размеры, мм	3245x510x1981	2700x500x885
Площадь теплообмена, м ²	51,5	64
Макс. рабочая температура, °С	180	212
Макс. рабочее давление, бар	25	30
Масса, кг	625	520

Теплообменники серии TL10B и Aalborg MX при одинаковой рабочей среде и примерно равной площади теплообмена имеют различные характеристики с отклонениями $\pm 15-20\%$. При этом кожухотрубный теплообменник выигрывает у пластинчатого теплообменника по всем показателям. Следовательно, можно заявить, что кожухотрубный теплообменник работает при больших рабочем давлении и температуре теплоносителя, при правильном размещении в здании занимает меньшую площадь и объем по сравнению с пластинчатым. Ко всему выше сказанному, пластинчатый теплообменник примерно равен по массе кожухотрубному теплообменнику.

Так почему же в России сложилось мнение о неоспоримом превосходстве пластинчатого теплообменника над кожухотрубным? Как мы выяснили ранее производство пластинчатых теплообменников на сегодняшний день расположено в Европе и Америке, как и 60 лет назад. В СССР и России более развита была технология производства кожухотрубных

теплообменников. Это связано с наличием у нас в стране больших запасов полезных ископаемых, что позволяет нам производить толстостенные кожухотрубные теплообменники, не задумываясь о расходах сырья. После развала СССР в Россию пришел «западный предприниматель» и заполнил российский рынок своими товарами. Нарушая антимонопольную политику, западные продавцы рекламировали свои теплообменные агрегаты, как самые передовые и технологичные, превосходящие имеющиеся у нас в стране кожухотрубные теплообменники. Как итог, наша страна стала зависимой от западной промышленности и продукции. Российские заводы по производству теплообменников были вынуждены закрыться или изменить род деятельности.

Таким образом, развитие кожухотрубных теплообменников, является актуальной задачей на сегодняшний день. Область их применения очень велика, так они могут быть маленькими и компактными для применения в бытовых или общественных системах микроклимата, либо большими и громоздкими для решения сложных

производственных задач и даже применяться на атомных электростанциях.

В качестве перспективных направлений развития кожухотрубных теплообменников выделяют: совершенствование турбулизаторов потока и образование из пучка ребристых труб геликоидной формы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байдакова, Я. С. Разновидности пластинчатых теплообменников / Я. С. Байдакова, А. П. Шабашов, К. А. Акулов // Нефтегазовый терминал : сборник научных статей международной научно-технической конференции, Тюмень, 20–25 мая 2016 года. Том Выпуск 11. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2016. – С. 11-13. – EDN XWKFFVX.
2. Большакова, К. И. Замена кожухотрубных теплообменников на пластинчатые как метод повышения эффективности систем теплоснабжения / К. И. Большакова // Проблемы развития технического потенциала и направления его повышения : сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Оренбург, 23 января 2019 года. – Оренбург: Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований", 2019. – С. 9-12. – EDN YUFSWL.
3. Веригин, А. Н. Влияние гидравлической неравномерности на тепловые характеристики кожухотрубных теплообменников / А. Н. Веригин, А. В. Лозинский, Н. А. Незамаев // Известия Санкт-

Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2011. – № 12(38). – С. 54-55. – EDN ONYIYL.

4. Емельянов, А. Л. Трубчато-пластинчатые теплообменники (производители и основные характеристики) / А. Л. Емельянов, Е. В. Кожевникова, Т. А. Лопаткина // Вестник Международной академии холода. – 2011. – № 2. – С. 19-28. – EDN NUCZOZ.

5. Садыкова, О. В. Сравнение пластинчатых и кожухотрубчатых теплообменников / О. В. Садыкова, Н. С. Пастухов // Аллея науки. – 2018. – Т. 7, № 11(27). – С. 306-312. – EDN YXBGYP.

6. Хафизов, А. Р. Экспериментальная оценка энергетической эффективности пластинчатого теплообменника в ЦТП / А. Р. Хафизов, Р. И. Фатхутдинов, Е. В. Бурдыгина // Современное состояние и перспективы развития научной мысли : сборник статей Международной научно-практической конференции : в 2х частях, Екатеринбург, 15 сентября 2016 года. Том Часть 2. – Екатеринбург: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна", 2016. – С. 57-60. – EDN WLCRFR.

7. Rakhimov, G. Increasing the efficiency of heat exchange by changing the construction of a shell and tube heat exchanger / G. Rakhimov // Universum: технические науки. – 2023. – No. 5-8(110). – P. 21-24. – DOI 10.32743/UniTech.2023.110.5.15452. – EDN NJHSSK.

УДК 626/627

ПОДХОДЫ К РАСЧЕТУ РАСХОДОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ: ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ

Зборовская М.И.

*Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева,
127434, Москва, Тимирязевская улица 49*

Фартуков В.А.

*Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева,
127434, Москва, Тимирязевская улица 49*

APPROACHES TO COST CALCULATION IN DESIGNING HYDRAULIC STRUCTURES: FROM THEORY TO PRACTICE

M.I. Zborovskaya

*Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
127434, Moscow, Timiryazevskaya Street 49*

V.A. Fartukov

*Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
127434, Moscow, Timiryazevskaya Street 49*

АННОТАЦИЯ

Статья рассматривает современные подходы к расчету расходов воды при проектировании гидросооружений, акцентируя внимание на влиянии климатических изменений и антропогенных факторов на гидрологические характеристики. В условиях изменения климата и увеличения человеческой активности авторы подчеркивают необходимость пересмотра методологии расчетов пропускной способности гидротехнических сооружений. Исследование основано на комплексном анализе исторических данных, метеорологических и географических факторов, а также вероятностных характеристик. В статье также обсуждаются методы обработки и анализа данных, включая статистический

и регрессионный анализ, что позволяет повысить точность прогнозов расходов воды. Рассматриваются практические приложения результатов, включая проектирование водохранилищ, управление водными ресурсами и оценку рисков затопления.

ABSTRACT

The article examines modern approaches to calculating water flow rates in the design of hydraulic structures, focusing on the impact of climate change and anthropogenic factors on hydrological characteristics. In the context of climate change and increased human activity, the authors emphasize the need to revise the methodology for calculating the capacity of hydraulic structures. The study is based on a comprehensive analysis of historical data, meteorological and geographical factors, and probabilistic characteristics. The article also discusses data processing and analysis methods, including statistical and regression analysis, which allows for increased accuracy of water flow forecasts. Practical applications of the results are considered, including reservoir design, water resources management, and flood risk assessment.

Ключевые слова: гидросооружения, расходы воды, климатические изменения, проектирование, гидрологические модели, статистический анализ, регрессионный анализ, управление водными ресурсами.

Keywords: hydraulic structures, water flow, climate change, design, hydrological models, statistical analysis, regression analysis, water resources management/

ВВЕДЕНИЕ

Расходы воды в реках как цель исследования

— это важный аспект исследований, связанных с оценкой водных ресурсов при расчётах гидротехнических сооружений, таких как плотины, дамбы, водохранилища и системы орошения.

Помимо влияния естественных изменений климата и климатической изменчивости нарушение стационарности и однородности рядов гидрологических характеристик все чаще имеет место за счет возрастающего влияния хозяйственной деятельности на водосборах и в руслах рек, а также за счет «антропогенного изменения» современного климата. Эти обстоятельства являются основным "катализатором" для разработки новой методологии расчетов пропускной способности гидротехнических сооружений в изменяющихся условиях, а также для возможного пересмотра взглядов на естественные колебания стока [1].

При проектировании плотин и других гидротехнических сооружений расчетные расходы воды в реках определяются *на основе комплексного подхода*, который включает в себя как исторические данные, так и современные методы анализа. Этот анализ позволяет оценить:

1. Среднегодовые и максимальные расходы: Определение средних значений и экстремальных значений (пиковых расходов) помогает в проектировании систем, которые смогут справляться с максимальными нагрузками.

2. Сезонные колебания: Важно учитывать, как расходы воды меняются в разные времена года, чтобы правильно спроектировать режим работы гидроузла.

3. Вероятностные характеристики: Анализ статистики расходов позволяет оценить вероятность различных сценариев, таких как наводнения или засухи.

4. Изменения климата: Долгосрочные данные помогают учитывать потенциальные изменения в гидрологическом режиме из-за климатических изменений. Использование данных за длительный период является важной частью проектирования плотин, так как это обеспечивает надежность и безопасность гидротехнических сооружений.

В предлагаемой концепции [1] значение расчетной гидрологической характеристики вне зависимости от стационарности однородной составляющей определяется на основе экстраполяции, т.е. с использованием методологии прогнозирования. При этом период экстраполяции соответствует срокам будущей эксплуатации проектируемого гидротехнического сооружения, которые зависят от класса его капитальности. Сроки эксплуатации, как показано, например, в работе (Рождественский А. В., 1977), составляют в среднем 200 лет для сооружений I класса капитальности, 100 лет для сооружений II класса капитальности, 33 года - для III-го, 20 лет - для IV-го и 10 лет - для временных гидротехнических сооружений V-го класса капитальности. В качестве экстраполируемой характеристики используется понятие такого расхода воды (или другой гидрологической характеристики), который гарантированно не должен быть превышен (или не должен быть меньше) за будущий период эксплуатации гидротехнического сооружения.

Согласно [1] пути дальнейшего развития исследований могут состоять в следующем: - установление пространственно-временных закономерностей характеристик циклических колебаний различных видов стока и факторов на основе моделирования большого количества многолетних временных рядов;

- оценка эффективности экстраполяции на период до 10-15 лет для различных характеристик стока и факторов, выполненная на большом объеме данных; оценка эффективности определения расчетных квантилей на основе большого количества примеров, включая косвенные факторы, палеорекострукции и т.д. с целью получения обобщений;

- создание основ общей теории колебаний стока совместно на внутригодовом и межгодовом интервалах времени и основ теории расчетов стока в изменяющихся природных условиях.

Основные этапы и методы, используемые для определения расчетных расходов воды:

1. исторические данные: Анализируются данные о расходах воды в реке за длительный период (обычно от 20 до 50 лет и более). Эти

данные могут включать в себя средние, максимальные и минимальные расходы, а также данные о паводках и засушливых периодах.

2. гидрографические исследования: Изучаются гидрографы рек, которые показывают изменения уровня воды и расхода в зависимости от времени. Это позволяет выявить сезонные и годовые колебания.

3. моделирование: С использованием гидрологических и гидравлических моделей проводят симуляции различных сценариев, включая изменения климата, использование водных ресурсов и антропогенные воздействия.

4. статистические методы: применяются статистические методы для оценки вероятностных характеристик расходов, таких как метод частотного анализа, который помогает определить вероятности достижения определенных уровней расходов.

5. метеорологические данные: анализируются данные об осадках, температуре и других метеорологических условиях, которые могут влиять на уровень воды в реке.

6. географические и геологические факторы: учитываются особенности бассейна реки, его площадь, уклон, тип почвы и растительность, которые могут влиять на сток.

7. современные технологии: используются спутниковые технологии и системы дистанционного зондирования для мониторинга состояния водоемов и уровня воды.

8. регулирование и управление водными ресурсами: учитываются существующие правила и нормы, касающиеся водопользования и охраны водных ресурсов.

Таким образом, расчетные расходы воды в реках при проектировании плотин определяются не только историческими данными, но и современными методами анализа и моделирования для более точной оценки рисков и потребности в водных ресурсах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Моделирование и статистические методы являются важными инструментами при изучении расходов рек, но они отличаются по своему подходу, целям и результатам. **Моделирование:**

1. цель: направлено на создание абстрактных или математических представлений реальных процессов. Оно позволяет предсказывать поведение системы в различных условиях, включая экстремальные события;

2. типы моделей: существуют различные типы моделей, такие как физические, математические, гидрологические и численные модели. Они могут учитывать множество факторов, включая атмосферные условия, геоморфологию, использование земель и др.;

3. динамика процессов: моделирование позволяет анализировать динамику изменений во времени, что особенно важно для понимания сложных систем, таких как реки, которые подвержены изменению условий;

4. сценарный анализ: Модели могут использоваться для проведения сценарного анализа, что позволяет исследовать, как изменения в одном или нескольких факторах (например, изменение климата или человеческое воздействие) повлияют на расходы реки.

Статистические методы:

1. цель: статистические методы направлены на анализ существующих данных для выявления закономерностей, трендов и зависимости. Они помогают в оценке вероятности различных событий на основе исторических данных;

2. обработка данных: статистические методы включают в себя такие техники, как регрессионный анализ, анализ временных рядов, корреляционный анализ и другие, которые позволяют обрабатывать и интерпретировать числовые данные;

3. оценка вероятностей: статистика помогает оценивать вероятности различных расходных событий (например, 100-летний паводок) на основе исторических данных, что важно для проектирования и управления водными ресурсами;

4. ограниченность: статистические методы зависят от доступности и качества исторических данных. Если данных недостаточно или они неполные, это может ограничить результаты анализа.

Моделирование и статистические методы дополняют друг друга. Например, статистические методы могут использоваться для калибровки и проверки моделей, в то время как модели могут помочь в интерпретации статистических данных и предсказании будущих условий. Выбор между ними зависит от конкретных целей исследования и доступных данных.

1. Сбор данных: первым шагом в гидрологических исследованиях является сбор данных о расходах воды:

- данные о расходах: регулярные измерения расходов воды на различных участках реки, которые могут быть собраны с помощью гидрологических станций;

- метеорологические данные: информация об осадках, температуре, снежном покрове и других климатических факторах, которые могут влиять на уровень воды в реке;

- географические данные: информация о бассейне реки, его характеристиках, таких как площадь, уклон, тип почвы и растительность.

Для точного определения расчетных расходов воды в реках при проектировании плотин используется **интегрированный подход**, который включает в себя несколько ключевых этапов и методов на практике:

регулярные измерения расходов воды:

- гидрологические станции: могут быть автоматическими и передавать данные в реальном времени. Измерения могут проводиться с помощью различных методов, например, с использованием ультразвуковых датчиков, уровнемеров или поплавковых систем. Данные включают информацию о паводках и засушливых периодах;

- периодические замеры: в дополнение к автоматизированным системам, могут проводиться периодические измерения вручную, особенно в местах, где автоматические системы не могут быть установлены;

- исторические данные: сбор данных о расходах может проводиться десятилетиями, что позволяет анализировать изменения в стоке реки во времени, выявлять тренды и аномалии.

Согласно [2] к настоящему моменту представления о главенствующей роли приходных составляющих в формировании слоя стока весеннего половодья частично утратили свою актуальность. В результате климатических изменений и антропогенного влияния на процессы формирования талого стока определяющими стали не приходные, а расходные факторы, обуславливающие его потери. В этих условиях бесспорно учет приходных составляющих должен также использоваться в составлении прогнозных зависимостей, но именно степень его влияния должна быть переоценена. На современном этапе при построении прогнозных уравнений необходимо максимально расширить перечень анализируемых показателей. Частные случаи прогнозов требуют тщательного и индивидуального подбора предикторов прогнозных уравнений, групповой анализ ограниченного перечня характеристик снижает качество зависимостей. Следует так же рассматривать различные временные отрезки для их расчета.

Метеорологические данные: сбор информации о погоде, включая климатические факторы: осадки, температуру, влажность и другие. Может осуществляться через метеорологические станции, спутниковые данные или метеорологические модели.

- Осадки: данные о количестве и распределении осадков (дождь, снег) имеют ключевое значение, поскольку они напрямую влияют на уровень воды в реке. Этот анализ может включать как общие данные по региону, так и локальные измерения.

- Температура: Температура воздуха влияет на уровень снеготаяния и испарения, что также может сказываться на расходах воды в реке. Например, высокие температуры весной могут привести к более быстрому таянию снега.

- Снежный покров: Объем и продолжительность снежного покрова также важны, поскольку снег служит естественным резервуаром воды, который постепенно отдает влагу в виде стока при таянии.

- Ветер, влажность и другие климатические условия могут также влиять на динамику водного баланса в бассейне реки.

Географические и геологические данные: проведение географических и геологических исследований для получения информации о характеристиках речного бассейна (площадь, уклон, тип почвы и растительность). Это может включать полевые исследования,

картографирование, а также использование геоинформационных систем (ГИС).

Характеристики бассейна реки:

- площадь бассейна: Площадь, которую охватывает речной бассейн, влияет на объем стока. Большие бассейны могут собирать больше осадков и иметь больший расход воды.

- уклон: Уклон бассейна влияет на скорость стока воды. Более крутые уклоны способствуют более быстрому стоку, что может привести к более высоким расходам во время паводков.

- тип почвы: Разные типы почвы имеют разные способности к удержанию влаги. Например, песчаные почвы пропускают воду быстрее, чем глинистые, которые могут удерживать влагу дольше.

- растительность: Растительность может влиять на испарение и задержку стока. Леса, например, могут замедлять сток воды и увеличивать впитывание, тогда как открытые участки могут способствовать более быстрому стоку.

- геологические особенности: Наличие подземных вод, горных образований и других геологических факторов также может влиять на уровень и расход воды.

Для точного определения расчетных расходов воды в реках при проектировании плотин важно интегрировать данные из всех этих источников. Это помогает создать полное представление о гидрологическом режиме реки и позволяет учитывать различные факторы, влияющие на уровень воды и сток, что в свою очередь способствует более эффективному и безопасному проектированию гидротехнических сооружений.

2. Анализ и обработка данных

Обработка данных: - данные о расходах, осадках и других факторах обрабатываются с использованием статистических методов и программного обеспечения для анализа временных рядов. Это позволяет выявить тренды, сезонные колебания и аномалии.

Статистический анализ: - используются методы частотного анализа для определения вероятностных характеристик расходов воды, таких как максимальные и минимальные значения, возвращаемость паводков и другие параметры.

3. Моделирование

Гидрологические модели: - создание гидрологических моделей, которые могут учитывать различные сценарии, такие как изменение климата, антропогенные воздействия и различные режимы водопользования. Модели могут быть физическими (основанными на уравнениях гидродинамики) или статистическими.

Гидравлические модели: - применение гидравлических моделей для анализа поведения воды в речной системе, включая влияние плотин, дамб и других гидротехнических сооружений. Эти модели помогают прогнозировать, как изменения в расходе воды повлияют на уровень и скорость течения.

4. Интеграция данных

Геоинформационные системы (ГИС): - использование ГИС для интеграции всех собранных данных в единую платформу, позволяющую визуализировать и анализировать взаимосвязи между различными факторами. ГИС может помочь в пространственном анализе и моделировании стока.

Создание интегрированной базы данных: - формирование базы данных, которая объединяет гидрологические, метеорологические и географические данные. Это позволяет проводить комплексный анализ и оценку рисков.

5. Оценка рисков и проектирование

Оценка рисков: - проведение оценки рисков, связанных с возможными паводками, засухами и другими изменениями в гидрологическом режиме. Это важно для обеспечения безопасности проектируемых плотин и других гидротехнических сооружений.

Проектирование: - на основе интегрированных данных и моделей разрабатываются проектные решения для плотин, включая их высоту, тип и расположение. Учитываются также требования по безопасности, экологии и устойчивому развитию.

Таким образом, интеграция данных из различных источников и использование современных методов анализа и моделирования позволяют создать полное представление о гидрологическом режиме реки. Это способствует более эффективному и безопасному проектированию гидротехнических сооружений, минимизируя риски и обеспечивая устойчивое управление водными ресурсами.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ максимальных и минимальных расходов

Максимальные расходы — это наибольшее количество воды, которое проходит через определенную точку реки за заданный период времени (например, за сутки). Для их определения используются следующие методы:

- Статистический анализ: проведение статистического анализа данных о расходах с целью идентификации экстремальных значений. Это может включать построение графиков, такие как гистограммы, и использование методов описательной статистики.

- Методы наименьших квадратов: для экстраполяции данных можно использовать регрессионный анализ, чтобы предсказать максимальные расходы на основе исторических данных.

- Методы частотного анализа: частотный анализ позволяет оценить вероятность достижения определенного уровня максимальных расходов в заданный период времени.

Минимальные расходы: — это наименьшее количество воды, проходящее через точку реки за заданный период времени. Анализ минимальных расходов также включает:

- Статистический анализ: Выявление минимальных значений из исторических данных, использование методов описательной статистики.

- Критерии частоты появления: Определение вероятности, с которой минимальные расходы будут достигнуты в определенный период (например, раз в 10 лет, раз в 50 лет и т.д.). Распределение вероятностей: применение различных распределений (например, нормальное, логнормальное, Гумбеля и другие) для моделирования и оценки частоты появления расходов.

- Кривые частоты: Построение кривых частоты для визуализации вероятностей достижения различных уровней расходов. Это может помочь в оценке рисков затопления и проектировании защитных сооружений.

Расчетные расходы. После анализа максимальных и минимальных расходов, а также их частоты появления, можно рассчитать расчетные расходы, которые будут использоваться для проектирования:

- проектные расходы: На основе анализа выбираются расчетные расходы, которые учитывают максимальные значения, а также запас для безопасности. Эти значения могут использоваться для проектирования гидротехнических сооружений.

- сезонные и месячные расходы: Расчетные расходы могут также учитывать сезонные колебания, основанные на метеорологических данных и исторических наблюдениях.

Применение результатов: - проектирование водохранилищ и дамб: определение размеров и характеристик конструкций для обеспечения безопасности и надежности; - управление водными ресурсами: оценка доступных водных ресурсов для орошения, водоснабжения и других нужд; - оценка рисков затопления: прогнозирование и управление рисками, связанными с высокими расходами и наводнениями.

Расчетные расходы, основанные на гидрологических исследованиях, играют ключевую роль в управлении водными ресурсами и проектировании гидротехнических объектов. Понимание методов анализа максимальных и минимальных расходов, а также частоты их появления позволяет эффективно планировать и управлять водными ресурсами, минимизируя риски и обеспечивая устойчивое использование водных ресурсов.

Корреляция расчётных расходов через водосброс с существующими климатическими расходами и изменениями расходов в связи с потеплением климата является важной задачей в гидрологии и проектировании водных сооружений.

Согласно [3] ... вопросы учета климатической адаптации ГЭС, обеспечивающей приемлемый уровень их безопасности, сводятся к трем задачам:

- 1 Статистическая оценка величин половодий и дождевых паводков редкой повторяемости с учетом изменения климата за последние 25–30 лет;

2 Проектирование достаточной пропускной способности ГТС [4] и выбор оптимальных режимов предполоводной сработки в период крупных паводков и наводнений, обеспечивающих необходимый уровень экологической безопасности ГЭС на основе требований современных технических регламентов;

3 Эффективный контроль за выполнением «Правил использования водных ресурсов водохранилищ ГЭС» и утвержденных рабочих графиков сработки водной массы в верхнем бьефе, содержащихся в «Правилах технической эксплуатации и благоустройства водохранилищ ГЭС», где вопросы климатической адаптации ГЭС учтены [3].

Климатическая адаптация существующих ГЭС базируется на неукоснительном соблюдении технических регламентов, определяющих безопасность зданий и сооружений, в том числе безопасность ГТС, и имеющих статус нормативно-правовых актов прямого действия.

Для анализа корреляции между расчётными расходами через водосброс и климатическими расходами можно использовать несколько методов и подходов.

Статистический анализ [5]. 1. **Корреляционный анализ** с целью оценить силу и направление связи между двумя переменными. Используем коэффициент корреляции Пирсона для оценки линейной зависимости между двумя переменными. Этот метод подходит для данных, имеющих нормальное распределение. Для данных, которые не соответствуют нормальному распределению, можно использовать коэффициент корреляции Спирмена, который рассчитывает ранговую корреляцию.

Процедура: Готовим данные в виде таблицы, где одна колонка будет представлять расчётные расходы, а другая — климатические расходы. Рассчитываем коэффициент корреляции с помощью статистического пакета (например, R, Python с библиотеками Pandas и Scipy, Excel и т.д.). Оцениваем полученный коэффициент: значения близкие к 1 или -1 указывают на сильную корреляцию, значения около 0 — на слабую.

Применение: Используется для оценки взаимосвязи между переменными без предположений о причинно-следственных связях.

Ограничения: Корреляция не подразумевает причинность. То есть, даже если две переменные коррелируют, это не означает, что одна вызывает изменение другой.

2. **Регрессионный анализ.** Цель: оценить зависимость одной переменной (зависимой) от другой (независимой) и сделать прогнозы.

Линейная регрессия: постройте линейную регрессионную модель для оценки зависимости расчётных расходов от климатических факторов. Это позволит определить, насколько изменения в климатических расходах влияют на расчётные расходы через водосброс.

Процедура: Определим зависимую переменную (расчётные расходы) и независимую переменную (климатические расходы). Строим модель линейной регрессии и оцениваем её параметры (угловой коэффициент и свободный член).

Проверяем значимость модели с помощью анализа дисперсии (ANOVA) (от английского "Analysis of Variance") и выполняем тестирования гипотез.

Анализ дисперсии ANOVA — это статистический метод, используемый для сравнения средних значений трёх и более групп, чтобы определить, существуют ли статистически значимые различия между ними. Этот метод позволяет оценить, в какой степени изменения в зависимой переменной могут быть объяснены изменениями в независимых переменных.

Итог: корреляционный анализ помогает выявить и описать взаимосвязь между переменными, тогда как регрессионный анализ позволяет количественно оценить эту зависимость и делать прогнозы.

3. **Моделирование.** Гидрологические модели: используем гидрологические модели (например, SWAT, HEC-HMS), которые могут учитывать влияние климатических условий на водный баланс и расчётные расходы. Эти модели позволяют проводить сценарный анализ и оценивать влияние различных климатических изменений на водосброс.

4. **Прогнозирование** будущих расходов: на основе собранных данных и проведенного анализа можно использовать методы прогнозирования (например, временные ряды, модели машинного обучения) для оценки будущих расходов через водосброс в условиях изменения климата.

Комплексный подход к анализу корреляции между расчётными и климатическими расходами, включая сбор данных, статистический анализ, визуализацию и моделирование, позволит получить более полное представление о взаимосвязи этих факторов и поможет в принятии обоснованных решений при проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений [6-9].

Пример. Анализ корреляции расходов через водосброс и климатических расходов. Предположим, у нас есть данные о расчётных расходах через водосброс и среднемесячных осадках за 12 месяцев- таблица 1.

Таблица 1.

Данные о расчётных расходах через водосброс и среднемесячных осадках за 12 месяцев.

Месяц	Расчётные расходы (м ³ /с)	Осадки (мм)
Январь	20	50
Февраль	18	40
Март	25	60
Апрель	30	80
Май	35	100
Июнь	40	120
Июль	45	150
Август	50	130
Сентябрь	40	90
Октябрь	30	70
Ноябрь	25	60
Декабрь	22	55

2. Статистический анализ

2.1. Корреляционный анализ. Рассмотрим подробнее расчет коэффициента корреляции Пирсона.

Коэффициент корреляции Пирсона (r) — это статистическая мера, которая показывает степень линейной зависимости между двумя переменными. Значения r могут варьироваться от -1 до 1 : $r = 1$: полная положительная линейная зависимость; $r = -1$: полная отрицательная линейная зависимость; $r = 0$: отсутствие линейной зависимости.

Рассчитаем коэффициент корреляции между расчётными расходами и осадками. Для этого, например, используем Python с библиотекой Pandas и рассчитаем коэффициент корреляции Пирсона – `pearsonr` (рис. 1а) и p -значение (рис. 1б). P -значение показывает, насколько значима полученная корреляция (при $p < 0.05$ мы можем считать корреляцию статистически значимой).

Регрессионный анализ - если коэффициент корреляции указывает на наличие связи, можно построить линейную регрессионную модель. Определяем зависимую и независимую переменные; добавляем константу для регрессии; строим модель и выводим результаты.

Пример расчета в Python (рис. 1)

Шаги для расчета: 1. Собираем данные: Сначала соберем данные в виде двух списков (или массивов) – таблица 1.

В Python можно использовать библиотеку `scipy`, чтобы упростить этот процесс и в итоге код корректно рассчитывает коэффициент корреляции Пирсона и p -значение для заданных данных о расчётных расходах и осадках. В этом коде:

1. Импорт библиотек: импортируем необходимые библиотеки `numpy` и `pearsonr` из `scipy.stats`. `Numpy` используется для работы с массивами, а `pearsonr` — для вычисления коэффициента корреляции.

2. Данные: Создаём два массива расчётные расходы и осадки, которые содержат наши данные.

3. Расчет корреляции: Используя функцию `pearsonr`, передаём два массива и получаем два значения: коэффициент корреляции (`corr`) и p -значение (`p_value`).

Интерпретация результатов: код выдаёт коэффициент корреляции, который показывает степень линейной зависимости между расчётными расходами и осадками, а также p -значение, которое помогает оценить статистическую значимость этой зависимости.

Если, например, коэффициент корреляции равен 0.85 , это указывает на сильную положительную корреляцию между расчётными расходами и осадками; если p -значение меньше 0.05 , это означает, что корреляция статистически значима.

Коэффициент корреляции и линейный регрессионный анализ являются мощными инструментами для анализа взаимосвязей между переменными. Корреляция показывает, есть ли связь, а регрессионный анализ помогает понять, как именно одна переменная влияет на другую и позволяет делать предсказания.

В этом примере мы проанализировали взаимосвязь между расчётными расходами через водосброс и климатическими расходами (осадками). Такой подход позволяет получить ценные данные для проектирования и эксплуатации гидротехнических сооружений, учитывая изменения климата и их влияние на водные ресурсы.

ВЫВОДЫ

1. Комплексный подход к расчету расходов: Проектирование гидросооружений требует учета не только исторических данных о расходах воды, но и современных методов анализа, таких как статистические методы, моделирование, а также оценка климатических изменений и антропогенного воздействия.

2. Интеграция данных: Использование геоинформационных систем (ГИС) и создание интегрированных баз данных позволяют комплексно анализировать взаимосвязи между различными факторами, влияющими на гидрологический режим.

3. Оценка рисков: Проведение оценки рисков, связанных с паводками и засухами, является критически важным для обеспечения безопасности проектируемых гидротехнических сооружений и эффективного управления водными ресурсами.

4. Методы анализа расходов: Применение статистических методов, частотного анализа и моделирования позволяет точно определить максимальные и минимальные расходы, а также вероятность их появления, что обеспечивает надежность проектных решений.

5. Климатическая адаптация: Учет климатических изменений и адаптация проектирования гидросооружений к этим изменениям являются необходимыми для обеспечения долгосрочной безопасности и устойчивости водных ресурсов.

Важность обеспечения пропускной способности водосбросов подчеркивает необходимость использования многофакторного подхода в гидрологии для достижения эффективного и безопасного проектирования гидросооружений в условиях изменяющегося климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лобанов В.А. Расчёты речного стока в неоднородных и нестационарных условиях. - Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.т.н. СПб, 1998. - 59 с.

2. Формирование весеннего стока рек ЕТР: основные факторы и способы их учета. Переоценка с учетом современных условий на примере рек бассейна Дона // Н.А. Варенцова, М.Б. Киреева, М.А. Харламов, М.И. Варенцов, Н.Л. Фролова, Е.С. Павлишников. 2021г.

<https://method.meteorf.ru/publ/tr/tr384/htm/05.htm>
DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2022-2-117-146>

3. Шапхаев, С. Г. Учет климатических факторов для проектируемых и существующих

плотинных ГЭС. Статья на сайте ЭКОДЕЛО https://ecodelo.org/18003-chet_klimaticheskikh_faktorov_dlya_proektiruemykh_i_sushchestvuyushchikh_plotinnykh_ges-okhra

4. И. В. Войтов. Методика расчета пропускной способности открытых береговых водосбросов для обеспечения экологической безопасности при катастрофических половодьях и паводках. / Труды БГТУ, 2017, серия 2, № 1, с. 114–119

5. Математика. Элементы математической статистики. Корреляционно-регрессионный анализ: Методические указания для выполнения расчетных / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: Л.В. Бакеева, Е.В. Пастухова, СПб, 2019 42 с.

6. Python, корреляция и регрессия: часть 1. 18 мая 2021. <https://habr.com/ru/articles/557998/>

7. Чибирова М. Э. Анализ данных и регрессионное моделирование с применением языков программирования Python и R / Научные записки молодых исследователей № 2/2019, с. 37-45. <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-dannyh-i-regressionnoe-modelirovanie-s-primeneniem-yazykov-programmirovaniya-python-i-r>

8. Воробьев Э.И. Статистическое моделирование и анализ данных с применением языка программирования Python: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017, с. 94.

9. Nick McCullum. A Guide to Python Correlation Statistics with NumPy, SciPy, & Pandas. September 19th, 2020. <https://www.nickmccullum.com/python-correlation-statistics/>

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМООТНОШЕНИЯМИ С КЛИЕНТАМИ В ФИНАНСОВОМ СЕКТОРЕ: ВЛИЯНИЕ НА ОПТИМИЗАЦИЮ ПРОЦЕССОВ И УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С КЛИЕНТАМИ

Павлов Артем Валерьевич
AMBR at Global Expert Of Development LLC
Голливуд, Флорида, США

IMPLEMENTATION OF CUSTOMER RELATIONSHIP MANAGEMENT SYSTEMS IN THE FINANCIAL SECTOR: IMPACT ON OPTIMIZING PROCESSES AND IMPROVING THE QUALITY OF CUSTOMER INTERACTION

Pavlov Artem
AMBR at Global Expert Of Development LLC
Hollywood, Florida, USA

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.124.2119](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.124.2119)

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена исследованию роли систем управления взаимоотношениями с клиентами (CRM) в финансовом секторе, где конкурентное давление, требования к качеству обслуживания требуют инновационных подходов к управлению клиентским опытом. Цель работы заключается в оценке влияния внедрения CRM на оптимизацию внутренних процессов, улучшение эффективности взаимодействия с клиентами, рост их лояльности. Используемая методология включает анализ опыта банков, страховых компаний, рассматривающих CRM как стратегический инструмент для достижения конкурентных преимуществ. Также были использованы научные статьи, а также материалы, которые находятся в открытом доступе, что позволяет полноценно рассмотреть выбранную тему. Исследуются этапы внедрения систем, факторы, влияющие на результат, такие, как например: использование данных для

прогнозирования клиентских потребностей, автоматизация процессов. Также внимание уделяется рискам, связанным с безопасностью данных, возможностью возникновения сопротивления со стороны сотрудников.

Результаты демонстрируют, что интеграция CRM позволяет компаниям повысить эффективность, обеспечить персонализированное обслуживание. Что в свою очередь способствует упрочнению отношений с клиентами, созданию доверительных связей. Статья представляет интерес для менеджеров банков, страховых компаний, специалистов по цифровой трансформации, исследователей, изучающих современные подходы к управлению клиентскими отношениями.

ABSTRACT

The article is devoted to the study of the role of customer relationship management (CRM) systems in the financial sector, where competitive pressure and service quality requirements require innovative approaches to managing customer experience. The purpose of the work is to assess the impact of CRM implementation on optimizing internal processes, improving the effectiveness of interaction with customers, and increasing their loyalty. The methodology used includes an analysis of the experience of banks and insurance companies that consider CRM as a strategic tool to achieve competitive advantages. The stages of CRM implementation, factors influencing the result, including the use of data to predict customer needs, and reducing transaction costs through process automation are being investigated. Attention is also paid to risks, limitations related to data security, and employee resistance.

The results show that CRM integration allows companies to increase operational efficiency and provide personalized service. This helps to deepen relationships with customers and create trusting relationships. In conclusion, it is emphasized that the introduction of CRM in the financial sector requires planning and adaptation, but with the right approach, CRM systems become a tool for achieving growth and improving customer experience. The article is of interest to managers of banks, insurance companies, specialists in digital transformation, researchers studying modern approaches to managing client relationships.

Ключевые слова: CRM-системы, банковский сектор, страхование, оптимизация процессов, взаимодействие с клиентами, клиентский опыт, автоматизация, лояльность, персонализация.

Keywords: CRM systems, banking sector, insurance, process optimization, customer interaction, customer experience, automation, loyalty, personalization.

Введение

Финансовый сектор, включающий банковские, страховые организации, сталкивается с потребностью в модернизации, оптимизации процессов взаимодействия с клиентами. Уровень конкуренции, динамично меняющиеся потребности потребителей стимулируют финансовые учреждения к внедрению инновационных технологий для обеспечения качественного обслуживания. Одно из решений, поддерживающих развитие клиент-ориентированных стратегий, — системы управления взаимоотношениями с клиентами (CRM), которые позволяют автоматизировать, структурировать данные, что улучшает взаимодействие с клиентами, создаёт условия для персонализированного обслуживания.

CRM-системы имеют значение в финансовом секторе, так как обеспечивают интеграцию данных, автоматизацию рутинных операций, анализ клиентского поведения, что влияет на уровень персонализации, скорость отклика на запросы клиентов. Использование CRM-технологий позволяет не только обеспечивать качественное обслуживание, но и способствует построению долгосрочных отношений с клиентами, укреплению их лояльности, предотвращению оттока. Данный аспект имеет значение в банковской, страховой отраслях, где качество обслуживания, доверие клиентов являются факторами конкурентоспособности.

Актуальность темы обусловлена необходимостью цифровой трансформации финансовых учреждений, что влияет на

эффективность внутренних процессов, операционные риски. В условиях цифровизации CRM-системы становятся необходимым инструментом для финансовых организаций, стремящихся к построению устойчивых отношений с клиентами, оптимизации бизнес-процессов. Анализ успешных примеров внедрения CRM в банковском секторе, страховании позволяет выявить факторы успеха, типичные трудности, с которыми сталкиваются организации в процессе адаптации данных систем.

Цель работы заключается в исследовании влияния внедрения систем управления взаимоотношениями с клиентами в финансовом секторе на оптимизацию бизнес-процессов, качество взаимодействия с клиентами.

Материалы и методы

Для исследования влияния внедрения систем управления взаимоотношениями с клиентами (CRM) в финансовом секторе были использованы различные методы: анализ, синтез, систематизация данных. Петрова Л. А., Кузнецова Т. Е. [1] рассматривают цифровую трансформацию как элемент модернизации банковского сектора, что позволяет улучшать обслуживание клиентов, оптимизировать процессы внутри организации.

Современные подходы к управлению качеством через CRM-системы доказывают свою продуктивность в здравоохранении. Исследование Pham-Singer H. et al. [2] показало, что внедрение CRM способствует улучшению взаимодействия с пациентами, упрощая процедуры контроля качества, что подтверждает гибкость этих технологий в различных сферах.

В банковском секторе использование машинного обучения для CRM даёт положительные результаты. Исследование Dash G., Nayak B. [3] демонстрирует, что анализ клиентских данных с его помощью помогает банкам точнее прогнозировать поведение клиентов, улучшать персонализацию услуг, повышая их удовлетворенность.

Для успешного выполнения CRM-проектов в малом и среднем бизнесе требуется учитывать специфические факторы. Hamida A. et al. [4] выделяют важные аспекты, как вовлечённость руководства, адаптацию к потребностям организации, что влияет на результаты проектов в этом секторе.

Kajwang B. [5] отмечает, что цифровые CRM-практики улучшают производительность компаний, способствуя лояльности клиентов, облегчая их общение с представителями страховых компаний.

Особую актуальность в банковской сфере имеет улучшение клиентского опыта через электронные CRM. Kumar P., Mokha A. K., Pattnaik S. C. [6] утверждают, что интеграция E-CRM повышает удовлетворенность клиентов за счёт персонализированных, удобных сервисов.

Abdullah F. A. [7] сосредотачивается на совершенствовании CRM для телекоммуникационных компаний, описывая пример Zain Telecom [7]. Исследование доказывает, что адаптация платформы CRM к особенностям конкретной компании способствует продуктивному взаимодействию с клиентами, влияя на их лояльность.

Связь между управлением знаниями, CRM и инновационной способностью компаний становится всё важнее. Migdadi M. M. [8] рассматривает управление знаниями как элемент, усиливающий CRM и способствующий инновационному развитию благодаря накоплению и анализу клиентских данных.

Использование CRM-инструментов для укрепления связей с клиентами является приоритетом для финансовых организаций. Материал «Customer Relationship Management Systems» [9] на сайте Diversedaily указывает, что современные CRM-инструменты помогают банкам укреплять связи с клиентами, создавая долгосрочные доверительные отношения.

Результаты и обсуждения

Эффективное управление клиентскими отношениями становится ключевым фактором развития бизнеса, поскольку удовлетворение потребностей клиентов напрямую влияет на показатели компании. Исследования показывают, что улучшение клиентского опыта способствует росту лояльности, снижает отток клиентов, создавая основу для стабильного роста. Компании, ориентированные на долговременное развитие, уделяют особое внимание укреплению доверительных отношений с клиентами.

CRM-системы представляют собой функциональный инструмент, упрощающий

структурирование, анализ данных о клиентах, что способствует обоснованному принятию решений. Систематизация данных, их удобная доступность ускоряют процесс управления информацией, делая его более прозрачным, тем самым позволяя сосредоточиться на стратегических задачах.

Кроме того, такие системы влияют на эффективность работы с лидами. Например, интеграция с сервисами, как Surveypal или Salesforce, позволяет автоматически добавлять новые лиды в базу данных, инициировать персонализированные действия в зависимости от их особенностей. Что в свою очередь сокращает время реакции на запросы, помогает команде продаж точно выстраивать взаимодействие с потенциальными клиентами [7].

Одна из функций CRM является интеграция ключевой информации о клиентах, включая контактные данные, историю покупок, обращения в поддержку. Совокупность этих данных помогает компании понимать потребности клиентов, предиктивно на них реагировать, что увеличивает удовлетворенность. Включение данных об ожиданиях, предпочтениях (так называемый Voice of the Customer) формирует более полное представление о целевой аудитории, улучшая уровень обслуживания.

Наконец, системы помогают совершенствовать продукты, услуги компании. Сбор, анализ обратной связи от клиентов позволяют выявить их ожидания, адаптировать продукт или услугу под запросы, что способствует точному удовлетворению потребностей аудитории, укреплению позиций компании.

В качестве примера, рассмотрим проведенный анализ годового отчета иракского отделения компании Zain, который показывает сокращение клиентской базы в период 2014-2015 годов, за которым последовал стабилизирующийся рост. Схожая динамика наблюдается, в выручке: после снижения в 2015-2016 годах доходы начали расти в 2017-2018 годах. Однако в 2020 году доходы упали на 12% по сравнению с предыдущим годом из-за негативного влияния пандемии на финансовую устойчивость компании. Оценка эффективности компании требует учета её рыночной доли в сравнении с основными конкурентами, которая увеличилась с 39% в 2015 году до 52% в 2020 году. Этот рост подтверждает успешное развитие CRM-системы, направленной на привлечение, удержание клиентов. Увеличение клиентской базы на 3% в 2019-2020 годах, несмотря на пандемию, свидетельствует об успешности компании в этом направлении. Однако, несмотря на рост клиентской базы, расширение рыночной доли, выручка не демонстрирует столь значительного увеличения, что указывает на высокие операционные затраты, влияющие на рентабельность. Пересмотр стратегий управления затратами может помочь укрепить финансовую эффективность. На данный момент компания предлагает разнообразные услуги, адаптированные к потребностям клиентов, что положительно отражается на их лояльности.

Исследования подтверждают, что запросы клиентов эволюционировали, что повысило спрос на удобные коммуникационные решения. Недоработки в реализации CRM-проектов приводят к финансовым потерям, ставят под угрозу инвестиции. В случае с Zain наблюдаются значительные успехи в реализации CRM-проектов, что позволяет компании занимать сильные позиции на региональном рынке телекоммуникаций, несмотря на политическую нестабильность, усиление конкуренции, рост налоговой нагрузки на мобильные услуги.

Несмотря на перечисленные вызовы, компании удалось сохранить рыночные позиции благодаря программам поддержки клиентов, активным мерам в управлении клиентскими отношениями. Анализ подтверждает, что внедрение CRM-систем дает компаниям важные конкурентные преимущества. В дальнейшем рекомендуется усилить акцент на долгосрочные клиентские связи, социальные CRM-инициативы, способные оптимизировать затраты, повысить конкурентоспособность Zain Iraq. CRM сталкивается с рядом технологических барьеров, которые будут описаны в таблице 1.

Таблица 1

Проблемы, связанных с данными, человеческими факторами и процессными сложностями при внедрении CRM в банках [8]

Категория	Проблема	Описание
Сбор и управление данными	Фрагментация данных	Данные хранятся в различных системах, что затрудняет их организацию и систематизацию.
	Устаревшие системы	Исторические данные часто не стандартизированы, что усложняет их интеграцию.
	Низкое качество данных	Большие объемы информации требуют очистки и заполнения пропусков, что требует дополнительных ресурсов.
	Недостаточная компетентность в управлении данными	Недостаток знаний у сотрудников препятствует эффективному использованию данных для принятия решений.
Человеческие факторы	Недостаток знаний для анализа данных	Сотрудникам не хватает знаний для эффективного анализа данных, что затрудняет применение CRM.
	Отсутствие мотивации к использованию CRM-системы	Недостаточная мотивация сотрудников использовать CRM снижает эффективность внедрения.
	Неадекватные критерии оценки эффективности	Отсутствие четких критериев оценки результатов затрудняет измерение успешности использования CRM.
	Ограниченные полномочия при принятии решений	Сотрудникам недостаточно полномочий для оперативного решения вопросов, что затрудняет ориентацию на клиента.
Процессные сложности	Недостаточное обучение и развитие навыков	Отсутствие подготовки в ИТ, маркетинге и аналитике затрудняет использование CRM-системы.
	Трансформация культуры	Внедрение CRM требует изменения корпоративной культуры, пересмотра миссии и ценностей компании.
	Устранение изолированности отделов	Для успешного внедрения CRM необходимо наладить взаимодействие и интеграцию между различными отделами компании.
	Изменение организационной структуры	Переход на клиент-ориентированную модель требует изменений в организационной структуре, устранения ролевых конфликтов и снижения сопротивления изменениям.
	Необходимость гибкости	Иерархические структуры компании должны стать более гибкими, что требует поддержки и вовлеченности руководства для адаптации к клиент-ориентированному подходу.

По данным исследования IBM Institute for Business Value, успех CRM можно повысить до 80% при использовании правильной бизнес-

методологии [9]. В таблице 2 описаны стратегические модели для эффективного внедрения CRM в банковской сфере.

Таблица 2

Стратегические модели для эффективного внедрения CRM в банковской сфере [8].

Элемент модели	Описание
Признание CRM как стратегической инициативы	Должна рассматриваться как долгосрочная стратегия, основанная на миссии организации, ориентированная на клиента, а не просто как IT-проект или вспомогательная система.
Поддержка со стороны высшего руководства	Активное участие, поддержка высшего руководства необходимы для успешного внедрения CRM, так как менеджмент оказывает влияние на распределение ресурсов и определение приоритетов.
Реорганизация структуры и практик	Переход на клиент-ориентированную модель требует изменений в структуре компании, переключения фокуса с продуктов на нужды клиента, что помогает лучше адаптировать услуги под требования рынка.
Трансформация культуры	Вовлечение всех сотрудников в процесс управления отношениями с клиентами способствует формированию клиент-ориентированной культуры.
Эффективная коммуникация и координация	Координация действий, многоканальная интеграция (например, объединение данных из отделов маркетинга, продаж, обслуживания) позволяют получить единое представление о клиенте, улучшить качество обслуживания.
Мотивация сотрудников	Сотрудники должны осознавать важность CRM для компании, своей работы, что повышает их мотивацию к принятию, использованию системы, а также к улучшению взаимодействия с клиентами.
Обучение и развитие компетенций	Обучение должно включать философию CRM, ключевые бизнес-процессы, навыки работы с клиентами, чтобы сотрудники могли эффективно взаимодействовать с клиентами, использовать возможности CRM на практике.

В итоге использование CRM помогает финансовым организациям преодолеть трудности в поддержании связи между банком и клиентом, что повышает их лояльность, удовлетворённость. Далее рассмотрим примеры нескольких банков, успешно реализовавших CRM-проекты:

Bank of America. Реализовал масштабную CRM-инициативу, чтобы персонализировать клиентский опыт, улучшить обслуживание. Банк объединил клиентские данные из разных каналов в единую платформу, создав целостное представление о каждом клиенте. Это позволило банку предвосхищать потребности клиентов, предоставлять персонализированные коммуникации. Преодолев сложности с интеграцией данных, обучением сотрудников, банк добился значительного повышения удовлетворённости клиентов, роста их лояльности.

HSBC. Данный банк столкнулся с задачей управления разнообразной клиентской базой по всему миру. Внедрив CRM-систему с алгоритмами аналитики, машинного обучения, сумел сегментировать клиентов, прогнозировать их финансовые потребности, что позволило предлагать целевые продукты. Препятствиями стали глобальная координация, соблюдение стандартов безопасности данных, но результаты впечатляющие: HSBC отметил увеличение перекрёстных продаж, укрепление клиентской лояльности.

Wells Fargo. Опыт подчёркивает важность управления данными. Банк консолидировал разрозненные источники данных на единой платформе CRM, что обеспечило персонализированный опыт для клиентов.

Основными вызовами стали точность, согласованность данных, но благодаря тщательной очистке, проверке информации банк повысил эффективность обслуживания, удовлетворённость клиентов.

Эти примеры иллюстрируют потенциал CRM-систем для трансформации взаимодействий в банковской сфере. Преодолевая трудности, используя современные технологии, банки существенно улучшают клиентский опыт, повышают качество обслуживания, а также увеличивают общую эффективность [9].

Технологические инновации и изменяющиеся ожидания клиентов продолжают формировать будущее CRM в банковской сфере. Ключевые тенденции включают:

1. Интеграцию искусственного интеллекта, машинного обучения. Эти технологии позволяют банкам анализировать огромные объёмы данных, предсказывать поведение клиентов, персонализировать взаимодействия. Алгоритмы выявляют скрытые тенденции, помогая улучшать обслуживание, повышать операционную эффективность.

2. Прогнозную аналитику. Использование исторических данных помогает банкам предсказывать поведение клиентов, например, вероятность дефолта или инвестиционные предпочтения. Это позволяет проактивно взаимодействовать с клиентами, укрепляя лояльность.

3. Совершенствование мобильных CRM-решений. С ростом популярности мобильного банкинга клиенты ожидают бесшовного, безопасного доступа к финансовым услугам.

Мобильные CRM-инструменты предлагают в режиме реального времени уведомления, доступ к услугам, что улучшает удобство для клиентов, помогает банкам понимать их предпочтения.

Банки, активно внедряющие эти инновации, будут лучше подготовлены к удовлетворению потребностей клиентов, обеспечивая устойчивый

рост, конкурентные преимущества в условиях цифровизации [9]. Далее в таблице 3 будут описаны преимущества и недостатки внедрения систем управления взаимоотношениями с клиентами (CRM) в финансовом секторе, с акцентом на влияние на оптимизацию процессов и улучшение качества взаимодействия с клиентами.

Таблица 3

Преимущества и недостатки внедрения систем управления взаимоотношениями с клиентами (CRM) в финансовом секторе, с акцентом на влияние на оптимизацию процессов и улучшение качества взаимодействия с клиентами [9].

Аспект	Преимущества	Недостатки
Оптимизация процессов	CRM позволяет автоматизировать рутинные операции и улучшить координацию между отделами, что снижает время обслуживания и повышает эффективность бизнес-процессов.	Внедрение CRM требует значительных затрат на адаптацию процессов и интеграцию с существующими системами, что может временно замедлить работу компании.
Улучшение качества взаимодействия с клиентами	CRM-система предоставляет полную информацию о клиенте, включая историю взаимодействий, предпочтения и потребности, что позволяет персонализировать подход и повысить удовлетворенность клиента.	В случае некачественного внедрения или недообучения персонала система может давать неверные данные, что приведет к неудовлетворенности клиента.
Повышение уровня аналитики, прогнозирования	CRM собирает, анализирует данные о поведении, потребностях клиентов, что позволяет делать более точные прогнозы, принимать обоснованные решения.	Требуется опытный аналитический персонал, современные технологии для обработки данных, что требует дополнительных инвестиций, обучения сотрудников.
Повышение лояльности клиентов	Персонализированное взаимодействие и улучшенное качество обслуживания укрепляют доверие, лояльность клиентов, что увеличивает их вероятность продолжить сотрудничество с банком.	При недостаточном уровне защиты данных риск утечки информации о клиентах приводит к потере доверия.
Снижение операционных затрат	Автоматизация процессов позволяет снизить затраты на обслуживание клиентов, сократить потребность в ресурсах, что повышает общую рентабельность.	Высокие первоначальные затраты на внедрение и настройку CRM, включая закупку ПО, интеграцию, обучение и последующее обслуживание.
Улучшение многоканального обслуживания	CRM позволяет объединить данные о клиенте из различных каналов (онлайн, мобильные приложения, офисы), создавая целостное представление и повышая качество обслуживания.	В случае недостаточной интеграции между каналами возможны проблемы с доступностью информации, что приведет к неэффективному обслуживанию и неудобствам для клиентов.
Поддержка стратегического развития	CRM помогает выявить ценные сегменты клиентов и направить усилия на удержание и развитие этих клиентов, что способствует стратегическому росту компании.	Требуется вовлеченность высшего руководства и регулярный контроль за эффективностью CRM, что может стать дополнительной нагрузкой для управления.

Для финансовых организаций внедрение CRM-систем является стратегическим шагом к укреплению позиций на рынке. Современные CRM-платформы поддерживают всесторонний анализ данных, оптимизацию процессов и формирование устойчивых моделей взаимодействия. Однако успешное внедрение требует высокого уровня цифровой зрелости, надёжной информационной безопасности и

постоянного совершенствования процессов. В долгосрочной перспективе CRM оказывает прямое влияние на конкурентоспособность, способность к адаптации и удовлетворение ожиданий клиентов, минимизируя операционные риски и улучшая качество обслуживания.

Заключение

Внедрение систем управления взаимоотношениями с клиентами (CRM) в финансовом секторе представляет собой шаг на пути к повышению операционной эффективности, укреплению долгосрочных отношений с клиентами. Проведённое исследование показало, что CRM-системы, интегрированные в бизнес-процессы банковских, страховых компаний, способствуют улучшению качества обслуживания, создают условия для персонализированного подхода, что укрепляет лояльность клиентов, уменьшает риск их оттока. Использование таких технологий позволяет финансовым организациям автоматизировать рутинные процессы, сокращать ошибки, анализировать данные для точного прогнозирования потребностей клиентов.

Анализ кейсов внедрения CRM выявил факторы, влияющие на эффективность данных систем: настройка функций CRM под конкретные задачи организации, качественная подготовка персонала, интеграция системы с другими цифровыми платформами. Вместе с тем были выявлены типичные барьеры, такие как необходимость соблюдения стандартов безопасности данных, возможное сопротивление сотрудников новым технологиям.

В итоге результаты исследования подтверждают, что CRM-системы являются стратегическим активом для финансовых учреждений, стремящихся укреплять конкурентные позиции, улучшать взаимодействие с клиентами. Эти системы позволяют финансовым компаниям адаптироваться к изменяющимся условиям рынка, совершенствовать внутренние процессы, отвечать на потребности клиентов.

Литература

1.Петрова Л. А., Кузнецова Т. Е. Цифровизация банковской системы: цифровая

трансформация среды и бизнес-процессов //Финансовый журнал. 2020. Т. 12. №. 3. С. 91-101.

2.Pham-Singer H. et al. Using a customer relationship management system to manage a quality improvement intervention //American Journal of Medical Quality. 2021. Т. 36. №. 4. С. 247-254.

3.Dash G., Nayak B. An empirical study for customer relationship management in banking sector using machine learning techniques //International Journal of Computer Applications in Technology. 2022. Т. 68. №. 3. С. 286-291.

4.Hamida A. et al. Key success factors for customer relationship management (CRM) projects within SMEs //Emirati Journal of Business, Economics and Social Studies. 2022. Т. 1. №. 2. С. 73-85.

5.Kajwang B. Effect of digital customer relationship practices on performance of insurance sector //International Journal of Strategic Marketing Practice. 2022. Т. 4. №. 1. С. 1-11.

6.Kumar P., Mokha A. K., Pattnaik S. C. Electronic customer relationship management (E-CRM), customer experience and customer satisfaction: evidence from the banking industry //Benchmarking: An International Journal. 2022. Т. 29. №. 2. С. 551-572.

7.Abdullah F. A. Improving Customer Relationship Management (CRM) system development for Zain Telecom Company //Форум молодых ученых. 2021. №. 6 (58). С. 8-12.

8.Migdadi M. M. Knowledge management, customer relationship management and innovation capabilities //Journal of Business & Industrial Marketing. 2021. Т. 36. №. 1. С. 111-124.

9.Customer Relationship Management Systems: Implementing Tools to Strengthen Bank-Customer Interactions . [Электронный ресурс]. URL: <https://diversedaily.com/customer-relationship-management-systems-implementing-tools-to-strengthen-bank-customer-interactions/> (дата обращения: 27.10.2024).

УДК 621.315

**РАСЧЁТ УРОВНЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СИГНАЛА ПРИ ОТРАЖЕНИИ И
ПРЕЛОМЛЕНИИ НА ГРАНИЦЕ ДВУХ СРЕД**

Перфильев А.А.*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
г. Москва***CALCULATION OF THE ELECTROMAGNETIC SIGNAL LEVEL DURING REFLECTION AND
REFRACTION AT THE BOUNDARY BETWEEN TWO MEDIUMS****Perfilev A.A.***National Research University of Electronic Technology
Moscow***АННОТАЦИЯ**

В данной статье рассматривается методология расчета изменения уровня сигнала, вызванного отражением и преломлением волн, в соответствии с рекомендациями МСЭ-R P.2040-3. Актуальность темы обуславливается необходимостью оценки влияния отражения и затухания сигналов в современных телекоммуникационных системах, где качество связи напрямую зависит от воздействия различных факторов при взаимодействии с окружающей средой.

ABSTRACT

This article discusses the methodology for calculating signal level changes caused by reflection or wave transmission, in accordance with the ITU-R P.2040-3 recommendations. The relevance of the topic is determined by the need to evaluate the contributions of reflection and signal attenuation in modern telecommunications systems, where the quality of communication directly depends on the influence of various factors during interaction with the environment.

Ключевые слова: отражение сигнала, затухание сигнала, МСЭ-R P.1238, распространение радиоволн
Keywords: signal reflection, signal attenuation, ITU-R P.1238, radio wave propagation.

Введение

Моделирование распространения электромагнитного сигнала внутри зданий необходимо для обеспечения качественного и стабильного беспроводного соединения. Ограждающие конструкции зданий и мебель являются препятствием для распространения радиоволн, что приводит к затуханию и переотражению сигнала, а также его неоднородному распределению внутри зоны обслуживания точек доступа [1]. Моделирование позволяет точно оценить, как различные материалы и конструкции влияют на уровень сигнала, что в свою очередь помогает определить оптимальное размещение приёмных и передающих устройств в пространстве [2].

Подобный подход позволяет выявить возможные проблемы с зоной покрытия и качеством связи еще на этапе проектирования, что позволяет заранее разработать компенсирующие методы.

Одним из методов моделирования распространения электромагнитных сигналов внутри зданий является метод запуска лучей [3]. Данный метод использует геометрическую оптику для описания распространения сигнала. Из геометрического места расположения передатчика выпускаются лучи, описывающие электромагнитные волны. Данные лучи взаимодействуют со средой распространения сигнала. В результате образуется карта распространения электромагнитного поля в

пространстве. Для описания взаимодействия электромагнитных волн с препятствиями при использовании метода запуска лучей необходимо иметь 3D-модель среды распространения сигнала. Среда распространения состоит из физических объектов, из которых состоит здание. Для корректного использования методов трассировки лучей необходимо знать какие процессы происходят на границе двух сред. В большинстве случаев взаимодействие описывается четырьмя физическими явлениями:

- Дифракция;
- Отражение;
- Затухание;
- Рассеивание [4].

Методика расчёта изменений амплитуды сигнала на границе двух сред

Найти прямыми измерениями изменение амплитуды сигнала из-за отражения и затухания электромагнитной волны при взаимодействии с физической преградой является нетривиальной задачей, поскольку измерения подвержены влиянию внешних факторов, таких как многолучевое распространение сигнала, интерференция сигналов и шумы от других источников. Эти эффекты значительно искажают данные, полученные в процессе измерений, что затрудняет точную оценку свойств исследуемых объектов. Кроме того, необходимо учитывать геометрию исследуемого объекта и характеристики используемых антенн, что также усложняет задачу.

В рекомендации МСЭ-R P.2040.3 указан аналитический алгоритм расчёта значений изменения амплитуды сигнала из-за отражения и затухания для большинства строительных материалов [5].

Наиболее часто встречаемым случаем взаимодействия волны на границе двух сред является частный случай: воздух-однослойная плита фиксированного размера (стена). Математический аппарат для данного случая описан следующими формулами.

$$\eta_r = \eta_r' + j \cdot \eta_r'' \tag{1}$$

$$\eta_r'' = \frac{\sigma}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot f} \tag{2}$$

где: η_r' - действительная часть относительной диэлектрической проницаемости материала, от поверхности которого отражается сигнал;

η_r'' - мнимая часть относительной диэлектрической проницаемости материала, от поверхности которого отражается сигнал;

σ - проводимость материала, от поверхности которого отражается сигнал (См/м);

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ - электрическая постоянная вакуума (Ф·м⁻¹);

f - частота падающего сигнала (Гц).

$$\eta_r' = a \cdot f_{ГГц}^b, \tag{3}$$

$$\sigma = c \cdot f_{ГГц}^d, \tag{4}$$

где: a, b, c, d – табличные параметры (таблица 1), которые зависят от материала исследуемого объекта.

Таблица 1

Значения параметров для основных стройматериалов [5].

Материал	a	b	c	d	f (ГГц)
Гипсокартон	2,73	0	0,0085	0,9395	1-100
Дерево	1,99	0	0,0047	1,0718	0,001-100
Стекло	6,31	0	0,0036	1,3394	1-100
ДСП	2,58	0	0,0217	0,7800	1-100
Металл	1	0	10 ⁷	0	1-100
Бетон	5,24	0	0,0462	0,7822	1-100

Взаимодействие волны на границе двух сред описывается на основе формул Френеля [6]. На рисунке 1 показаны два вида поляризации падающей волны. Если вектор падающего электрического поля E_i перпендикулярен плоскости падения, то это поперечная электрическая поляризация (ТЕ). Если вектор падающего электрического поля E_i параллелен

плоскости падения, то это поперечная магнитная поляризация (ТМ).

Коэффициенты отражения и затухания электрического поля определяются как отношения отраженного и переданного (преломленного) векторов соответственно к соответствующему вектору падающей волны, которые имеют место на границе раздела сред.

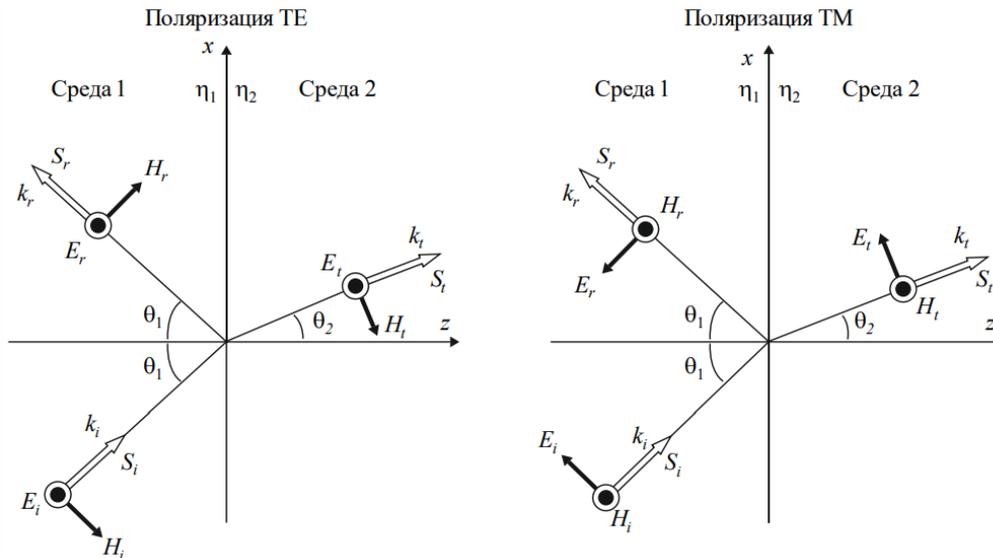


Рисунок 1 – Отражение и преломление плоских волн на плоской границе раздела

В ходе данной работы будет рассматриваться коэффициент отражения и затухания находятся ТЕ-поляризация. Если среда 1 – воздух, то по следующим формулам:

$$R_{eTE} = \frac{\cos \theta - \sqrt{\eta - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{\eta - \sin^2 \theta}} \quad (5)$$

$$T_{eTE} = \frac{2 \cdot \cos \theta}{\cos \theta + \sqrt{\eta - \sin^2 \theta}} \quad (6)$$

где: θ - угол падения луча на границу раздела сред от нормали. воздух, а другая является однослойной плитой с фиксированной толщиной d м. В таком случае формулы 5-6 приобретают следующий вид:

Внутри помещений преломление обычно происходит на границе двух сред, где одна среда –

$$R = \frac{R_{eTE} \cdot (1 - e^{-j2q})}{1 - R_{eTE}^2 \cdot e^{-j2q}} \quad (7)$$

$$T = \frac{(1 - R_{eTE}^2) \cdot e^{-j2q}}{1 - R_{eTE}^2 \cdot e^{-j2q}} \quad (8)$$

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \cdot \sqrt{\eta - \sin^2 \theta} \quad (9)$$

где: d - толщина материала (м);

λ - длина волны (м);

θ - угол падения луча на границу раздела сред от нормали.

Изменение уровня сигнала в децибелах, вызванное отражением электромагнитной волны вычисляется по формуле 10.

$$A = 20 \cdot \log_{10} R, \text{дБ} \quad (10)$$

Для преломленной волны в формуле 10 коэффициент R нужно заменить на T .

На рисунке 2а изображена зависимость изменения амплитуды сигнала от толщины плиты. В качестве материала был выбран кирпич, угол падения волны составляет 45° , частота падающего сигнала составляет 2.4 ГГц.

На рисунке 2б изображена зависимость изменения амплитуды сигнала от толщины плиты. В качестве материала был выбран гипсокартон, угол падения волны составляет 85° , частота падающего сигнала составляет 2.4 ГГц.

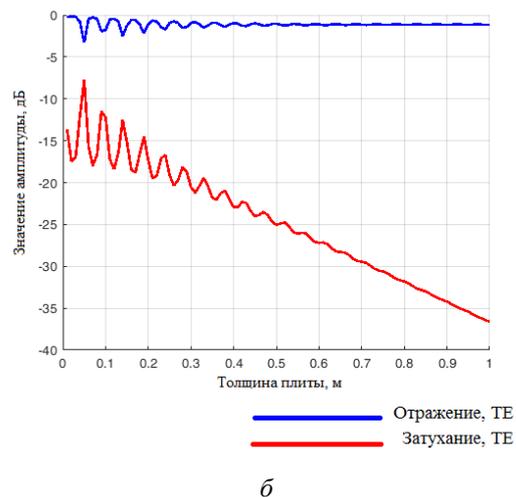
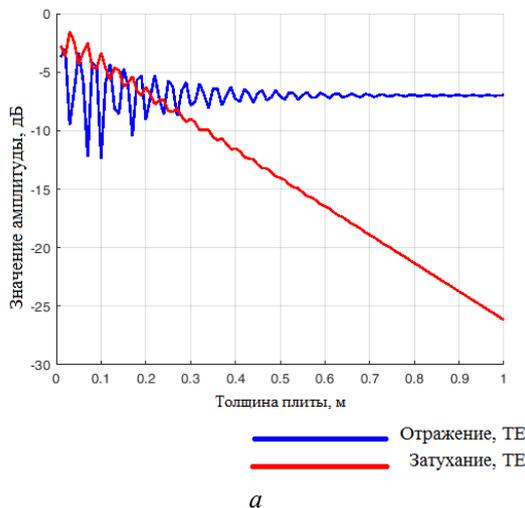


Рисунок 2 – зависимость амплитуды сигнала от толщины плиты на частоте 2.4 ГГц а) кирпич, б) гипсокартон.

Изменение амплитуды вследствие отражения сходится к значению R_{eTE} из формулы 3 при росте толщины плиты для всех углов падения θ и используемых стройматериалов. При невозможности с достоверной точностью измерить значение толщины d ограждающих конструкций итоговый разброс потенциальных значений изменения амплитуды сигнала увеличивается. К примеру, из рисунка 2а при длине волны

падающего на препятствие сигнала 2.4 ГГц разброс значений для толщины стены из кирпичей от 7 см до 8 см имеет разброс от -12.3 дБ до -4.2 дБ соответственно. Следовательно, при оценке изменения амплитуды сигнала из-за отражения волн предпочтительнее использовать значение R_{eTE} , если невозможно с достаточной точностью измерить толщину физической преграды. Увеличение угла падения ведёт к увеличению

коэффициента отражения, амплитуда отражённого сигнала тоже увеличивается, поскольку все больше энергии отражается, а не преломляется в другой среде.

Изменение амплитуды вследствие передачи сигнала через стену зависит от толщины данной стены. В общем случае, с увеличением толщины диэлектрических материалов наблюдается линейное увеличение значения амплитуды затухания. Следовательно, чем толще препятствие, тем больше энергии сигнала поглощается при прохождении преломленного сигнала через стену. Увеличение угла падения ведет к уменьшению коэффициента затухания, амплитуда преломленного сигнала уменьшается.

Заключение

Стандарт МСЭ-R P.2040 был разработан Международным союзом электросвязи с целью предоставления рекомендаций по моделированию и оценке изменения амплитуды сигналов при прохождении через физические препятствия, чей размер значительно превышает длину волны. Теоретическое описание различных стройматериалов значительно упрощает расчёт изменения уровней сигнала из-за отражения и перехода в другую среду в зависимости от толщины материала, частоты и угла падения сигнала.

Главное преимущество данной методики заключается в её универсальности. Для получения численных значений коэффициентов не требуется специальная измерительная площадка и контрольно-измерительное оборудование.

Список литературы

1. Geng Y. Joint scatterer localization and material identification using radio access technology / Y. Geng [и др.] // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. – 2022.
2. Jakobus, U. Recent Advances of FEKO and WinProp / Y. Geng [и др.] // 2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting. – 2018.
3. Ahmed Y. A Primer on Ray-Tracing: Shooting and Bouncing Ray Method / Y. Ahmed, J. Reed // TechRxiv. – 2023.
4. Rappaport. T.S. Wireless Communications: Principles and Practice / T.S. Rappaport. – New York City, 1995. – 640 с.
5. Рекомендация МСЭ-R P.2040-3. Влияние строительных материалов и структур на распространение радиоволн на частотах выше приблизительно 100 МГц // Ассамблея радиосвязи МСЭ-R. – 2023. – 27 с.

Евразийский Союз Ученых.

Серия: технические и физико-математические науки

Ежемесячный научный журнал

№ 09 (124)/2024 Том 1

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Макаровский Денис Анатольевич

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Штерензон Вера Анатольевна

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

Синьковский Антон Владимирович

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

Штерензон Владимир Александрович

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

Зыков Сергей Арленович

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

Дронсейко Виталий Витальевич

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Художник: Валегин Арсений Петрович
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:
198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая, д. 44, к. 1, литера А
E-mail: info@euroasia-science.ru ;
www.euroasia-science.ru

Учредитель и издатель ООО «Логика+»
Тираж 1000 экз.