

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертационную работу Литвиновой Виктории Андреевны
на тему: «Методы исследования гидrolитосферного месторождения
Кавказских Минеральных Вод с учетом неопределенностей»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и
обработка информации, статистика.

1. Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Литвиновой Виктории Андреевны, посвященная разработке методов исследования гидrolитосферного месторождения Кавказских Минеральных Вод с учетом неопределенностей, является безусловно актуальной как в научном, так и в прикладном аспектах. Регион Кавказских Минеральных Вод представляет собой уникальную особо охраняемую эколого-курортную территорию федерального значения, где минеральные подземные воды являются основой лечебно-оздоровительного потенциала и экономического благосостояния всего Северо-Кавказского федерального округа. В последние годы наблюдается устойчивый рост туристического потока в регион, что многократно усиливает антропогенную нагрузку на систему водозабора и создает реальную угрозу истощения и ухудшения бальнеологических свойств минеральных вод «Нарзан», составляющих основу кисловодского курорта. Как справедливо отмечает автор во введении, объемы добычи гидроминерального сырья выросли более чем в два раза, однако наращивание мощностей зачастую происходит без должного научного обоснования допустимых режимов эксплуатации, что может привести к необратимым последствиям для гидроминеральной базы региона. Вместе с тем, проведенный автором анализ научной литературы показывает, что существующие классические гидродинамические модели и методы управления скважинами ориентированы преимущественно на учет только сезонных и детерминированных факторов, тогда как реальный процесс эксплуатации месторождения сталкивается с множеством случайных и неопределенных факторов, включая анизотропию фильтрационных свойств пласта, погрешности измерений, технические сбои, изменения уровня осадков и загрязнений, а также неконтролируемые техногенные воздействия. Исключение этих факторов на этапе статистической обработки, как это делается во многих существующих подходах, делает невозможным точное долгосрочное прогнозирование дебита и повышает риски преждевременного износа скважин и потери их эксплуатационной стабильности. Следовательно, возникает острая научная необходимость в создании принципиально новых методов системного анализа и управления, способных эффективно работать в условиях стохастической неопределенности и учитывать пространственную неоднородность фильтрационных параметров гидrolитосферной системы. Особую значимость этому придает тот факт, что на основании многомерного корреляционно-регрессионного анализа, выполненного в работе, было

ОТЗЫВ

ВХ. № 9- 475 от 04.05.20
А В В С

установлено, что среди всех факторов, влияющих на снижение добычи, ключевым является именно неоптимальное количество скважин, при этом выбор их числа на практике часто определяется текущими потребностями или финансовыми возможностями без учета сложного гидравлического взаимодействия между скважинами, зависящего от их пространственного расположения и анизотропии коэффициентов фильтрации. Кроме того, тема работы напрямую коррелирует с реализацией государственной политики в области рационального недропользования и сохранения природных лечебных ресурсов, что закреплено в соответствующих федеральных законах и стратегиях развития Северо-Кавказского федерального округа. Таким образом, актуальность работы обусловлена практической остротой проблемы сохранения уникальных минеральных вод КМВ в условиях растущей нагрузки и научной необходимостью разработки методов, учитывающих случайную природу множества гидрогеологических факторов, что в совокупности делает выбранное направление исследования своевременным, а поставленные в диссертации цели и задачи полностью обоснованными.

2. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их новизна

Научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертационной работе Литвиновой Виктории Андреевны, обладают высокой степенью обоснованности и достоверности, что подтверждается корректным использованием апробированных методов теоретического и экспериментального исследования. Достоверность полученных результатов обеспечивается, во-первых, применением строгого математического аппарата теории управления распределенными системами, методов математической статистики и гидродинамики, включая аппарат дифференциальных уравнений в частных производных, конечно-разностные методы аппроксимации, частотные методы анализа устойчивости и матричные методы решения систем линейных уравнений. Во-вторых, все разработанные математические модели и вычислительные алгоритмы прошли процедуру верификации путем сопоставления расчетных данных с результатами натурных опытно-фильтрационных работ, проведенных на Северном фланге Центрального участка Кисловодского месторождения минеральных вод, при этом расхождение статических коэффициентов передачи и временных задержек между моделью и реальными данными не превышает допустимых значений, что свидетельствует об адекватности предложенного математического аппарата. В-третьих, достоверность подтверждается использованием репрезентативного объема исходных данных, включающего многолетнюю статистику добычи, результаты гидрогеологических наблюдений и экспериментальных исследований, что позволило обеспечить статистическую значимость полученных выводов и оценок параметров модели. Обоснованность научных положений достигается также четкой постановкой задач исследования, последовательным изложением методологии решения каждой из них и логической непротиворечивостью

полученных результатов, а также их согласованностью с известными теоретическими положениями гидрогеологии и теории управления.

Научная новизна диссертационного исследования не вызывает сомнений и заключается в разработке комплекса оригинальных методов и моделей, ранее не представленных в научной литературе. Автором впервые предложена специализированная структура модифицированного распределенного звена, учитывающая вариации фильтрационных параметров по пространственным координатам x и y , что позволяет адекватно моделировать анизотропию фильтрационных свойств реальных геологических пластов, в отличие от известных аналогов, ориентированных на изотропные среды. Разработан оригинальный метод идентификации параметров данного звена на основе данных опытно-фильтрационных работ, что обеспечивает переход от теоретических построений к экспериментально обоснованным расчетам. Впервые для гидролитосферных объектов решена задача синтеза распределенного регулятора для системы управления дебитом группы добывающих скважин, при этом передаточная функция регулятора построена с использованием обобщенных координат и пространственных мод, что позволило провести анализ устойчивости замкнутой системы на основе частотных критериев. Новым является также метод оптимизации числа и пространственного расположения добывающих скважин, базирующийся на матричном уравнении гидравлического взаимодействия с учетом анизотропии коэффициентов фильтрации, который позволяет количественно оценивать влияние взаимного расположения скважин на суммарный дебит и экономическую эффективность эксплуатации. Разработанная процедура верификации дискретных моделей гидролитосферных процессов, основанная на сопоставлении статических и динамических характеристик с результатами опытно-фильтрационных работ, также представляет собой оригинальное решение. Предложенный подход к формированию пространственных мод входных воздействий с использованием дискретного набора добывающих скважин в качестве исполнительных элементов является новым для задач управления объектами с распределенными параметрами, где управляющие воздействия принципиально не могут быть непрерывными по пространству. Совокупность представленных в работе новых научных результатов соответствует паспорту специальности 2.3.1 по пунктам 1, 3, 11 и 17 и вносит существенный вклад в развитие теории системного анализа и управления распределенными системами применительно к гидрогеологическим объектам, при этом основные результаты опубликованы в достаточном количестве рецензируемых научных изданий, включая журналы из перечня ВАК и международной базы Scopus, что подтверждает их признание научным сообществом.

3. Теоретическая и практическая значимость диссертации

Научная значимость диссертационного исследования Литвиновой Виктории Андреевны заключается в развитии теоретических основ

системного анализа и управления распределенными объектами применительно к гидролитосферным процессам, характеризующимся пространственной неоднородностью и стохастической неопределенностью. Автором разработана структура модифицированного распределенного звена, обобщающая известные подходы к аппроксимации гидравлического взаимодействия скважин и позволяющая описывать как статические, так и динамические характеристики системы с учетом анизотропии коэффициентов фильтрации по пространственным координатам, что существенно расширяет возможности моделирования реальных геологических структур по сравнению с существующими изотропными моделями. Предложенный оригинальный метод идентификации параметров данного звена на основе данных опытно-фильтрационных работ создает теоретическую основу для параметризации распределенных объектов, недоступных для прямых измерений, и обеспечивает переход от умозрительных построений к экспериментально обоснованным расчетам. В работе развит частотный метод синтеза распределенных регуляторов применительно к системам управления дебитом группы добывающих скважин, что дополняет теорию управления распределенными системами новыми подходами к анализу устойчивости замкнутых систем с использованием пространственных мод и обобщенных координат, а также позволяет преодолеть ограничения, связанные с дискретным характером управляющих воздействий. Разработанный матричный аппарат для описания гидравлического взаимодействия скважин с учетом их пространственного расположения и анизотропии фильтрационных свойств представляет собой теоретическую базу для решения задач оптимизации не только числа, но и пространственной конфигурации добывающих скважин, что существенно расширяет возможности системного анализа применительно к гидрогеологическим объектам. Таким образом, совокупность полученных научных результатов вносит существенный вклад в развитие методологии системного анализа и управления распределенными системами применительно к задачам рационального недропользования.

Практическая значимость полученных результатов подтверждена актом о внедрении в ООО «Нарзан-гидроресурсы» и заключается в создании инструментов, позволяющих повысить эффективность эксплуатации Кисловодского месторождения минеральных вод. Разработанная и верифицированная дискретная математическая модель гидролитосферного процесса может использоваться в качестве виртуального полигона для тестирования различных сценариев управления режимами эксплуатации скважин без проведения дорогостоящих и рискованных натурных экспериментов, что существенно снижает материальные затраты и экологические риски. Предложенный метод оптимизации числа и расположения скважин позволяет определять экономически обоснованное количество эксплуатационных скважин, максимизирующее прибыль за длительный период при соблюдении жестких ограничений на понижение уровня подземных вод, что непосредственно влияет на инвестиционную

привлекательность и экологическую безопасность предприятия. Синтезированный в работе распределенный регулятор обеспечивает автоматическую стабилизацию дебита группы скважин при изменяющихся внешних условиях и возмущениях, что повышает надежность и устойчивость системы водозабора в целом и позволяет предотвращать преждевременный износ скважин. Разработанная методика определения параметров модифицированного аппроксимирующего звена на основе данных опытно-фильтрационных работ может быть адаптирована и применена не только на Кисловодском месторождении, но и на других участках региона Кавказских Минеральных Вод, а также на аналогичных месторождениях в других курортных зонах, где ведется промышленная добыча минеральных вод. Практическая ценность работы также состоит в том, что она предоставляет специалистам-недропользователям конкретные алгоритмы и методики для обоснованного проектирования и эксплуатации систем добычи гидроминерального сырья, обеспечивающие баланс между экономической эффективностью и сохранением уникальных природных ресурсов, что особенно важно для особо охраняемых курортных территорий федерального значения.

4. Анализ структуры диссертации, публикаций и личного участия

Следует отметить, что диссертационная работа выполнена на достаточно высоком профессиональном уровне и является завершенным научным исследованием. Поставленные в ней задачи являются актуальными, а их решение своевременным. Общий объем работы составляет 126 страниц машинописного текста, 13 таблицы, 57 рисунков. Структура исследования соответствует содержанию и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемых сокращений, списка литературы из 108 наименований и 6 приложений.

Список основных работ, опубликованных по теме выполненной работы, свидетельствует о личном вкладе автора в получение основных результатов, выносимых на защиту. Результаты диссертационного исследования опубликованы в 5 работах в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК России (в том числе 3 работы, индексируемые в международных базах данных). Получен 1 патент на изобретение. Результаты обсуждались на 9 международных и всероссийских конференциях и получили одобрение ведущих специалистов.

Автореферат и публикации автора соответствуют основному содержанию диссертационной работы.

5. Общая характеристика исследования

Диссертационное исследование обладает логически выстроенной композицией, внутренней целостностью, выполнено с корректным использованием научной терминологии. Содержание работы характеризуется достаточной степенью детализации, полнотой и последовательностью изложения, что обеспечивает наглядное представление решения

поставленных задач и достижение научных результатов. В главах диссертации изложено полное описание проведённого исследования. Характер и уровень представления результатов свидетельствуют о наличии исследовательской методологии и завершённости работы. Библиографический список насчитывает свыше 100 публикаций отечественных и зарубежных авторов.

Во введении автором обоснована актуальность повышения эффективности и рационального использования гидроминеральных месторождений. Также представлены научная новизна и практическая значимость результатов, указаны средства обеспечения достоверности полученных результатов, приведены положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации, реализации и внедрении результатов работы, сведения о публикациях. Приведены сведения об объеме и структуре работы.

В первой главе осуществлен анализ организационной структуры предприятия ООО «Нарзан-гидроресурсы» с учетом управленческих уровней, ключевых элементов управления и возлагаемых задач. Представлен краткий обзор истории основания предприятия, направлений деятельности и значения организации для регионального развития. Кроме того, приведены сведения о физико-географических особенностях территории, климате, природных ресурсах и геолого-экологической обстановке региона, что формирует контекст исследования.

Во второй главе представлен обзор литературы, патентов и материалов по добыче гидроминерального сырья. Рассматриваются методы гидравлического взаимодействия между скважинами с моделированием коэффициентов и графиков, выявляются ключевые факторы эффективности и безопасности, а также оценивается точность моделей.

Третья глава посвящена проектированию распределённой системы управления дебитом скважин для стабилизации добычи. Выполнена аппроксимация характеристик объекта для формирования точных моделей. Приведена схема размещения скважин и оценено влияние их географического положения на дебит, что помогает определить функции элементов и предложить рекомендации по управлению.

Четвертая глава описывает решение задачи оптимизации количества скважин на месторождении для повышения экономической эффективности добычи. Применяются математические модели для определения оптимального числа и размещения скважин с учётом технологических, экономических и экологических факторов. Полученные результаты позволяют сформулировать рекомендации по эффективному использованию ресурсов и росту прибыли.

Содержание каждой главы обобщено в выводах. В заключении сформулированы основные результаты и выводы по диссертационной работе.

Приложения содержат сведения о свидетельстве о государственной регистрации 1 патента, также представлен акты о внедрении результатов в промышленную организацию.

6. Замечания и вопросы по диссертационной работе и автореферату

Несмотря на высокий научный уровень и практическую значимость выполненного исследования, в процессе ознакомления с диссертацией и авторефератом возник ряд замечаний и вопросов, требующих пояснений соискателя:

1. В работе не в полной мере раскрыт механизм адаптации разработанной модели при изменении внешних условий, таких как значительные сезонные колебания уровня осадков, что особенно важно для региона Кавказских Минеральных Вод, где, как показано в диссертации, годовая норма осадков имеет устойчивый тренд к увеличению на 2,8 мм в год. Хотя автором проведен многомерный корреляционно-регрессионный анализ и фактор случайных воздействий учтен на этапе статистической обработки, в динамической модели управления отсутствует описание процедуры автоматической подстройки параметров модифицированного звена в реальном времени. Следовало бы пояснить, каким образом предполагается обновлять параметры модели по мере накопления новых данных эксплуатации и изменения гидрогеологических условий.

2. Вызывает вопрос выбор скважины 107Д в качестве основной возмущающей для построения общей модели месторождения, поскольку на схеме, представленной на рисунке 1.6, указаны и другие скважины. Следовало бы более подробно обосновать репрезентативность именно этой скважины с точки зрения ее гидравлической связи с контрольными точками и влияния на общий режим добычи всего месторождения.

3. В разделе 3.3 автором рассмотрена методика определения параметров аппроксимирующего звена для трех пространственных координат с учетом вертикальной фильтрации, однако в основном решении задачи оптимизации числа скважин и синтеза регулятора используется только двумерная модель. Следовало бы четко указать критерии, при которых допустимо ограничение двумерной моделью, а в каких случаях учет вертикальной составляющей становится обязательным, особенно при рассмотрении двух валанжинских пластов с различными фильтрационными характеристиками.

4. В тексте диссертации и автореферата встречаются отдельные технические погрешности, связанные с некорректным отображением части формул и математических выражений, что в ряде случаев затрудняет полное восприятие выкладок, однако это не носит принципиального характера.

5. В автореферате, по сравнению с диссертацией, недостаточно полно отражена процедура верификации дискретной модели, хотя этот этап является критически важным для обоснования достоверности результатов.

Все указанные замечания являются дискуссионными или рекомендательными, они не снижают общей высокой оценки диссертационного исследования и не ставят под сомнение достоверность полученных результатов и обоснованность защищаемых положений

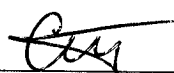
7. Заключение

Диссертационная работа Литвиновой В.А. выполнена на высоком научном уровне и является законченной научно-квалификационной работой.

Диссертационная работа Литвиновой Виктории Андреевны на тему «Методы исследования гидrolитосферного месторождения Кавказских Минеральных Вод с учетом неопределенностей» соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор Литвинова Виктория Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

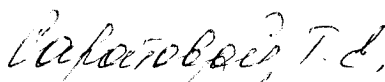
Я Саратова Татьяна Евгеньевна, даю свое согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,
д.т.н., доцент, Федеральное
государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования «МИРЭА –
Российский технологический
университет», заведующий
кафедрой прикладной математики

 Т.Е. Саратова

«01» 09 2026 года

Подпись руки


УДОСТОВЕРЯЮ:

Начальник Управления М.М. Буханова



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»

Контактные данные: 119454, г. Москва, пр. Вернадского, д. 78

E-mail: saratova@mirea.ru, +7 (499) 215 65-65