



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

ул. Профессора Попова, д.5, литера Ф, Санкт-Петербург, 197022
Телефон: (812) 234-46-51; факс: (812) 346-27-58; e-mail: info@etu.ru; <https://etu.ru>
ОКПО 02068539; ОГРН 1027806875381; ИНН/КПП 7813045402/781301001

02.09.2026

№ 100302 /0019

На №

от

УТВЕРЖДАЮ



Проректор по научной и
инновационной деятельности СПбГЭТУ
«ЛЭТИ» И.Т.Н.

А. А. Семенов

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования

«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)»

на диссертационную работу Литвиновой Виктории Андреевны
«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

Актуальность темы диссертации

Актуальность диссертационного исследования Литвиновой Виктории Андреевны, посвященного разработке методов исследования гидrolитосферного месторождения Кавказских Минеральных Вод с учетом неопределенностей, не вызывает сомнений и обусловлена комплексом взаимосвязанных факторов. Регион Кавказских Минеральных Вод является уникальной особо охраняемой эколого-курортной территорией федерального значения, где подземные воды выступают не просто природным ресурсом, а основой лечебно-оздоровительного потенциала и экономического благосостояния всего Северо-Кавказского федерального округа. В последние годы наблюдается устойчивый рост туристического потока и интенсивное освоение территорий, что многократно усиливает антропогенную нагрузку на систему водозабора и создает реальную угрозу истощения и ухудшения бальнеологических свойств знаменитых минеральных вод «Нарзан», составляющих основу кисловодского курорта. Как справедливо отмечает автор во введении и первой главе работы, 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

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-474 от 04.09.26
АУ УС

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 гидролитосферной системы. Особую значимость этому придает тот факт, что на основании многомерного корреляционно-регрессионного анализа, выполненного в работе, было 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.

Научная новизна диссертации

Научная новизна диссертационного исследования Литвиновой Виктории Андреевны заключается в разработке комплекса оригинальных методов и моделей, направленных на решение проблемы повышения эффективности управления гидролитосферными процессами в условиях пространственной неоднородности и стохастической неопределенности. Впервые предложена и обоснована специализированная структура модифицированного распределенного звена, предназначенная для аппроксимации статических и динамических характеристик гидролитосферной системы, которая, в отличие от известных аналогов, учитывает вариации фильтрационных параметров по пространственным координатам x и y , что позволяет адекватно моделировать анизотропию фильтрационных свойств реальных геологических пластов. Автором разработан оригинальный метод идентификации параметров данного модифицированного звена на основе данных опытно-фильтрационных работ, что обеспечивает переход от умозрительных теоретических построений к экспериментально обоснованным расчетам и существенно повышает достоверность моделирования. В работе впервые 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 распределенной системы на основе частотных критериев и подтвердить ее работоспособность. Научная новизна также заключается в разработке метода определения оптимального числа и пространственного расположения добывающих скважин, базирующегося на матричном уравнении гидравлического взаимодействия

с учетом анизотропии коэффициентов фильтрации по пространственным координатам, что позволило количественно оценивать влияние взаимного расположения скважин на суммарный дебит и экономическую эффективность эксплуатации месторождения. Существенным элементом новизны является предложенная процедура верификации дискретных моделей гидролитосферных процессов, основанная на сопоставлении статических и динамических характеристик с результатами опытно-фильтрационных работ, что обеспечивает адекватность разработанного математического аппарата реальным физическим процессам. Кроме того, автором впервые для гидролитосферных объектов выполнена аппроксимация динамических характеристик с использованием передаточных функций, учитывающих не только пространственное распределение параметров, но и временные задержки сигналов, что позволило корректно описывать фазовые сдвиги между входными воздействиями и выходными сигналами системы. Предложенный в работе подход к формированию пространственных мод входных воздействий с использованием дискретного набора добывающих скважин в качестве исполнительных элементов представляет собой оригинальное решение задачи модального управления для объектов, где управляющие воздействия принципиально не могут быть непрерывными по пространству. Разработанная в диссертации методология определения параметров аппроксимирующих звеньев при изменении коэффициентов фильтрации по трем пространственным координатам расширяет область применения предложенных методов на более сложные гидрогеологические структуры с вертикальной неоднородностью. Таким образом, совокупность полученных научных результатов представляет собой существенный вклад в развитие теории системного анализа и управления распределенными системами применительно к гидрогеологическим объектам, а разработанные методы и модели создают теоретическую основу для решения широкого класса задач оптимизации эксплуатации месторождений минеральных вод в условиях неопределенности и пространственной неоднородности.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в диссертации Литвиновой В.А. обусловлена предоставленным объемом данных по методам управления процессами добычи гидроминерального сырья, применением современных апробированных методов исследований, сходимостью данных моделирования с результатами опытно-фильтрационных работ.

Обоснованность научных результатов также обеспечивается анализом широкого круга литературных источников, связанных с темой диссертационной работы и отражающих результаты исследований российских и зарубежных ученых.

Результаты работы внедрены в деятельность предприятия ООО «Нарзан-Гидроресурсы», что подтверждено соответствующим документом, гарантирующим надежность итоговых предложений и их реальную применимость.

Научные результаты и их ценность

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу и содержит ряд новых научных результатов и положений. Основные научные результаты представлены далее в виде следующих положений:

- Разработана концептуальная и математическая модель системы управления технологическим процессом эксплуатации добывающих скважин, основанная на научных

принципах. Модель интегрирует входные, внутренние и управляющие параметры, учитывает факторы неопределенности и существенно повышает точность описания и прогнозирования гидролитосферных процессов, включая сезонную динамику.

- Предложен и апробирован новый методический подход, основным элементом которого является модифицированное аппроксимирующее распределенное звено. Представленный подход учитывает вариации фильтрационных параметров по пространственным координатам и позволяет эффективно аппроксимировать статические, так и динамические характеристики гидролитосферной системы.

- В рамках исследования выполнен синтез распределенного регулятора для системы управления группой скважин, а также проведён анализ устойчивости замкнутой системы, результаты которого подтверждают её работоспособность и надёжность.

- Решена задача оптимизации количества добывающих скважин и повышения прибыли на рассматриваемом месторождении.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая значимость результатов диссертационного исследования Литвиновой Виктории Андреевны заключается в развитии методологии системного анализа и управления распределенными объектами применительно к гидролитосферным процессам, характеризующимся пространственной неоднородностью и стохастической неопределенностью. Автором разработана структура модифицированного распределенного звена, которая обобщает известные подходы к аппроксимации гидравлического взаимодействия скважин и позволяет описывать как статические, так и динамические характеристики системы с учетом анизотропии коэффициентов фильтрации по пространственным координатам. Предложенный метод параметризации данного звена на основе данных опытно-фильтрационных работ создает теоретическую основу для идентификации распределенных объектов, недоступных для прямых измерений. Кроме того, 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. 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.

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. 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. 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. Таким образом, практическая ценность работы 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.

Рекомендации по использованию результатов работы

Настоящее исследование расширяет рамки моделирования производственных структур и анализа их динамики. Предложенные результаты позволяют существенно повысить точность прогнозирования развития предприятий и обоснованность управленческих решений.

Представленный в работе методологический аппарат формирует устойчивую теоретическую базу для развития систем управления и может служить основой для последующих научных исследований в данной области.

Замечания и вопросы по работе

Диссертация характеризуется целостной логической структурой: изложение выстроено в последовательности, которая согласуется с выводами автора, обеспечивая сбалансированную и обоснованную аргументацию.

Несмотря на высокий научный уровень диссертации, необходимо отметить следующие замечания:

1. **Адаптация модели к изменениям неопределенностей.** В работе учтены случайные факторы (x_4) на этапе корреляционного анализа, однако не описана процедура автоматической подстройки (адаптации) параметров модифицированного звена при изменении внешних условий (например, сезонное изменение уровня осадков или антропогенная нагрузка). Желательно было бы пояснить, каким образом предполагается обновлять параметры модели в процессе длительной эксплуатации.

2. **Обоснование использования модели 107Д.** В работе в качестве основной возмущающей скважины используется номер 107Д. Следовало бы более подробно обосновать репрезентативность именно этой скважины для построения общей модели всего месторождения, учитывая, что на схеме (рисунок 1.6) указаны и другие скважины.

3. **Границы применимости.** В разделе 3.3 рассмотрена методика для трех пространственных координат (x , y , z). Однако в основном решении задачи оптимизации рассматриваются только две координаты (x , y). Следовало бы четко указать, при каких условиях возможно ограничение двумерной моделью, а когда учет вертикальной фильтрации (z) становится обязательным (например, для разных валанжинских пластов).

4. **Экономическая модель.** В расчетах доходности (формула 2.21) заложена фиксированная цена на 1 м³ сырья (300 руб. за 1000 м³ или 0,3 руб./м³). Не совсем понятно, учитывается ли сезонное колебание цен и спроса на курортную продукцию, что могло бы повлиять на вывод об оптимальном числе скважин в долгосрочной перспективе.

Указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

Заключение по диссертации

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 гидролитосферного 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.

Отзыв подготовил Кораблев Юрий Анатольевич, кандидат технических наук (специальность 2.3.3.: Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами), заместитель заведующего кафедрой автоматики и процессов управления по учебной работе.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и утвержден на заседании кафедры автоматики и процессов управления 01.09.2026 г., протокол № 5.

Присутствовало на заседании 32 человека.

Результаты голосования: «за» - 32, «против» - нет, «воздержались» – нет.

Председатель:
Заведующий кафедрой автоматики и
процессов управления
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
д.т.н., доцент

 М.Ю. Шестопалов

Секретарь:
Заместитель заведующего кафедрой
автоматики и процессов управления по
учебной работе СПбГЭТУ «ЛЭТИ» к.т.н.,
доцент

 Ю.А. Кораблев

Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электро-технический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Контактные данные:

197022, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, дом 5, литера Ф.

Адрес электронной почты: info@etu.ru ,

Телефон: +7 (812)234-46-51