

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной и
инновационной работе

ФГБОУ ВО «УГНТУ»,

д.т.н., профессор

Ибрагимов И.Г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» на диссертационную работу **Шевелева Александра Павловича** на тему:

«Комплексная методология моделирования процессов теплопереноса в приложении к задачам подземной гидромеханики», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника

Работа выполнена в ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет».

Научный консультант – доктор физико-математических наук, профессор Федоров К.М.

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Одним из национальных приоритетов экономического развития Российской Федерации на ближайшие десятилетия является повышение эффективности топливно-энергетического комплекса. Пути реализации этой программы включают разведку новых месторождений нефти и газа, добычу трудноизвлекаемых запасов и повышение нефтеотдачи месторождений, находящихся в завершающей стадии разработки. Успешное решение задач извлечения трудноизвлекаемых запасов и повышения нефтеотдачи

месторождений невозможно без этапа предварительного физико-математического моделирования процессов многокомпонентной многофазной неизотермической фильтрации в пористых средах.

На практике широкое распространение получил подход использования стандартных решений уравнений фильтрации, реализованный в специализированных программных комплексах, таких как tНавигатор, РН-КИМ, Техсхема, Schlumberger Eclipse и Petrel, Roxar Tempest MORE, CMG STARS и т.д. Тем не менее, большой спектр современных вызовов топливно-энергетического комплекса России требует решения нестандартных задач, выходящих за рамки возможностей коммерческих гидродинамических симуляторов. Наряду с этим, отличительной спецификой задач подземной гидромеханики является высокая неопределенность входных данных о моделируемом объекте. Это обуславливает высокую актуальность разработки новых подходов к моделированию процессов тепломассопереноса в приложении к задачам подземной гидромеханики.

В основе разработки и развития таких подходов лежит физико-математическое моделирование теплофизических и гидродинамических процессов в пористой среде и формулировка методологии и методов, учитывающих индивидуальные характеристики исследуемых объектов. Как правило, характерные размеры моделируемой области составляют десятки и сотни километров, а количество скважин превышает сотни и тысячи штук. Подробное многомерное описание процесса в таких условиях потребует неоправданно высокого времени расчетов и не позволит оперативно решать возникающие задачи, а прогнозы могут потерять свою актуальность. Тенденцией решения указанного недостатка является снижение размерности моделей и введение физически обоснованных допущений. Все вышесказанное делает создание комплексной методологии моделирования процессов тепломассопереноса в приложении к задачам подземной гидромеханики актуальным.

2. Цель работы

Моделирование процессов тепломассопереноса при интенсификации притока флюида в задачах подземной гидромеханики.

3. Обоснованность и достоверность результатов диссертационных исследований

Обоснованность результатов диссертационных исследований соответствуют общепринятой в рамках научной специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника. Результаты, полученные в ходе диссертационных исследований, имеют высокую степень достоверности, поскольку используется фундаментальная система уравнений многокомпонентной многофазной неизотермической фильтрации, для решения которой применяются классические аналитические и численные методы решения прямых и обратных задач. На основе критериального анализа обосновываются допущения, применяемые при моделировании процессов тепломассопереноса в пористых средах. Дополнительно достоверность результатов подтверждается валидацией математических моделей интенсификации процесса извлечения флюида из насыщенной пористой среды с использованием данных натуральных и промысловых экспериментов с высокой точностью. Применение разработанной комплексной методологии опубликовано в ряде ведущих высокорейтинговых рецензируемых профильных научных журналах России и мира. Материалы диссертационных исследований успешно представлены на передовых российских и международных отраслевых конференциях. Все это свидетельствует о достаточной апробации проведенных исследований.

4. Научная новизна результатов диссертационных исследований, полученных автором

Первая глава диссертационной работы посвящена разработке комплексной методологии моделирования процессов тепломассопереноса в приложении к задачам подземной гидромеханики (комплексной методологии) и ее применению для моделирования процесса пароциклического дренажа. Показано, что теплофизически наиболее эффективным методом интенсификации притока нефти является пароциклическое воздействие на пористую среду, насыщенную высоковязкой нефтью, а в качестве теплоносителя наиболее эффективно использование пара или пароводяной смеси, поскольку теплота, выделяемая в процессе фазового перехода первого рода, почти на порядок превосходит количество теплоты, вносимой с горячей водой. На основе анализа физических процессов, протекающих в пористой среде, выделены основные этапы процесса пароциклического дренажа.

В рамках разработанной автором комплексной методологии введены физически оправданные допущения, выделена симметрия задачи и осуществлен переход в осесимметричную систему координат. С использованием комплексной методологии сформулирована интегральная физико-математическая модель пароциклического воздействия, описывающая основные стадии процесса, определяются оптимальные управляющие параметры для каждой его стадии. Положительной стороной работы является валидация результатов расчетов с использованием разработанной модели путем сопоставления с данными промыслового опыта реализации пароциклического воздействия на российских и зарубежных месторождениях высоковязкой нефти. Показано, что форма паровой камеры, для одного и того же объема пара, незначительно влияет на процесс притока нефти к добывающей скважине, а ее рост ограничен достижением баланса подводимого и теряемого тепла.

Во второй главе диссертационной работы приводится разработанная автором на основе комплексной методологии интегральная физико-математическая модель парогравитационного дренажа, состоящая из законов сохранения массы воды, пара и нефти и закона сохранения энергии, учитывающая результаты экспериментов Чанга и Батлера, позволяющих

упрощенно смоделировать паровую камеру в виде призмы треугольного сечения. На основе подробного анализа основных стадий процесса парогравитационного дренажа сформулированы ключевые теплофизические принципы, характеризующие каждую стадию. Установлено, что моделирование такого процесса в рамках интегрального подхода позволяет описать процессы тепломассопереноса без детального рассмотрения разнонаправленных потоков тепла и массы фаз. Сформулированы и в рамках критериального анализа обоснованы основные допущения, вводимые в рамках интегрального подхода.

Особо следует отметить, что в работе введены безразмерные переменные и комплексы и указан их физический смысл. Справедливо отмечено, что параметром, ограничивающим применимость парогравитационного дренажа для месторождений высоковязкой нефти, как и других тепловых методов интенсификации притока нефти, является паронефтяное отношение. Сформулированы критерии, определяющие условия перехода между основными стадиями процесса.

На основе разработанной автором модели рассчитана динамика основных показателей эффективности процесса парогравитационного дренажа, такие как доля воды в добываемом флюиде, коэффициент охвата пласта тепловым воздействием, доля извлекаемого флюида и паронефтяное отношение.

В рамках комплексного подхода, проведена валидация разработанной модели путем сопоставления расчетных значений указанных параметров эффективности с экспериментальными данными Чанга и Батлера и промысловыми данными по ряду зарубежных месторождений. Установлено, что определение оптимального расстояния между соседними парами скважин позволяет повысить прогнозируемую долю извлекаемого флюида на 7% по сравнению с вариантом, реализованным на месторождении Fengcheng (КНР). Показано, что существует критический расход пара, при котором происходит формирование паровой камеры, а стабилизация ее размеров обусловлена достижением баланса нагнетаемого с паром и теряемого из паровой камеры тепла.

Третья глава диссертационной работы посвящена формулировке критериального метода анализа моделей тепломассопереноса высоковязких флюидов и вязкопластичных жидкостей для процессов, связанных с интенсификацией притока углеводородов в пласте, сопровождающихся закачкой значительно менее вязкого агента, чем нефть. В работе автором при моделировании процесса тепломассопереноса в пористой среде учтено наличие гравитационных сил при поршневом и непоршневом режимах вытеснения нефти водой. В рамках комплексной методологии автором проведено обезразмеривание законов фильтрации, записанных для двухфазного потока. Сформулирован безразмерный критерий устойчивости как предельно допустимая скорость, соответствующая максимальному градиенту давления, при котором процесс вытеснения нефти водой еще является устойчивым. В результате численных расчетов автором показано, что значение критической скорости обусловлено превышением гидродинамических сил над гравитационными на порядок.

В работе движение высоковязкой нефти со сложной реологией в пористой среде смоделировано по закону Дарси с предельным градиентом давления, а распределение давления, обуславливающее это движение, рассчитывается с использованием уравнения пьезопроводности. Автором проведено обезразмеривание этого уравнения с учетом осевой симметрии задачи и в безразмерном пространстве получены аналитические решения для распределения давления. Особо следует отметить, что в работе осуществлено сравнение решений задачи о притоке нефти к добывающей скважине ньютоновской и вязкопластичной жидкостей, показывающее, что в начале процесса притока неньютоновской жидкости к скважине влиянием предельного градиента можно пренебречь. Автором установлено безразмерное критическое время, определяющее применимость классических законов фильтрации для описания движения неньютоновской жидкости на ранних этапах процесса фильтрации, и получена корреляционная зависимость этого времени от

безразмерного предельного градиента давления, имеющая билогарифмический вид.

В четвертой главе диссертационной работы рассматривается вопрос оптимизации процесса вытеснения нефти смесью воды и газа для повышения точности прогнозов объема извлеченного флюида, для чего разработан алгоритм анализа этого процесса в специальном фазовом пространстве усредненных насыщенностей фаз в пласте. Автором детально показано, что использование различных моделей относительных фазовых проницаемостей (ОФП) для описания процесса трехфазной фильтрации приводит к неопределенности прогнозов скоростей фильтрации фаз в пористой среде.

В работе область неопределенности ОФП, полученных по моделям Стоуна I и Стоуна II, определена как область, в которой значения ОФП, рассчитанные по разным корреляциям, могут расходиться более, чем на 10%. Для ее анализа автором на основе разработанного алгоритма осуществлен переход в специальное фазовое пространство Гиббса-Розебома. В таком пространстве проведено построение изоперм как линий равных ОФП в случаях гидрофильной и гидрофобной пористой среды, что позволило определить область повышенной неопределенности ОФП. Установлено, что для выбора оптимального соотношения воды и газа в вытесняющем потоке необходимо проводить многофазное многокомпонентное неизотермическое моделирование процесса водогазового воздействия. Показано, что такие расчеты можно провести с использованием коммерческих гидродинамических симуляторов, однако для этого необходимо задавать термодинамические параметры компонентов и моделировать их фазовое состояние.

Для определения оптимального соотношения воды и газа сформулировано понятие траектории решения системы уравнений многофазной многокомпонентной фильтрации в специальном фазовом пространстве как линии в этом пространстве, соответствующей динамике усредненных насыщенностей фаз в пласте для выбранного соотношения воды и газа. Оптимальное соотношение выбрано автором таким образом, чтобы траектория

решения проходила область повышенной неопределенности ОФП в наиболее узкой части. Показано, что использование разработанного алгоритма позволяет минимизировать неопределенность получаемых решений уравнений многокомпонентной многофазной фильтрации.

Пятая глава диссертационной работы посвящена разработке метода разделения многомасштабной задачи тепломассопереноса при выравнивании фильтрационных потоков в слоисто-неоднородной пористой среде на составляющие для получения аналитических решений в локальной области и определения эффективных параметров этого процесса. Проанализированы механизмы снижения фильтрационно-емкостных свойств пористой среды, связанные с адсорбцией и удерживанием, причем процесс адсорбции описан изотермами Генри-Ленгмюра.

Предложенный автором метод определения параметров адсорбции, удерживания и недоступного порового объема в изотермическом приближении из экспериментов по фильтрации оторочки полимера позволяет более точно определить указанные параметры, поскольку не требует разрушения образца пористой среды. Проведена валидация метода путем сопоставления расчетного недоступного порового объема с данными лабораторных исследований зарубежных авторов. В результате расчетов показано, что недоступный поровый объем может достигать 30% от всего порового объема образца горной породы.

В работе процесс выравнивания фильтрационных потоков описан моделью глубокого проникновения реагента в пористую среду, записанную для слоисто-неоднородной системы. Введено и рассчитано интегральное дополнительное гидродинамическое сопротивление за счет удерживания реагента в пористой среде. Показано, что в ходе моделируемого процесса можно выделить локальную и внешнюю области, причем в локальной области и происходит преимущественное удерживание реагента. В работе определены размеры локальной области и осуществлена сшивка решений разномасштабных задач.

Проведено обезразмеривание системы уравнений, составляющих физико-математическую модель. Такая процедура позволила автору ввести критерии эффективности выравнивания фильтрационных потоков: коэффициент выравнивания фильтрационных потоков, коэффициент снижения расхода воды и коэффициент перераспределения потоков, характеризующие положительный и отрицательный эффект от воздействия. С использованием введенных критериев определен оптимальный объем закачки реагента в пласт.

Шестая глава диссертационной работы посвящена созданию физико-математической модели кольматирования техногенной трещины, учитывающей баланс закачиваемой воды и ее оттока из трещины в пласт в виде краевого условия для определения давления на конце трещины. Установлено, что в рамках существующих моделей описание процесса тепломассопереноса многофазного флюида по трещине с учетом массообмена с пластом является затруднительным. Для описания такого процесса, автором сформулированы физически обоснованные допущения и на их основе разработана физико-математическая модель кольматирования техногенной трещины с использованием суспензии, состоящая из законов сохранения массы фаз и законов сохранения импульса внутреннего и внешнего потоков. Отличительной чертой разработанной модели является использование краевого условия для определения давления на конце трещины из баланса расходов несущей фазы, нагнетаемой в трещину и утекающей в пласт через ее боковые границы.

В результате процедуры обезразмеривания выделен безразмерный комплекс, характеризующий особенности массообмена трещины с пластом. Автором решены две задачи: движение суспензии по техногенной трещине и блокирование трещины дисперсными частицами. Получено аналитическое решение задачи о распределении давления в техногенной трещине с учетом оттока несущей фазы в пористую среду. На основе численных решений рассчитаны распределения концентрации дисперсных частиц в техногенной трещине в различные моменты времени для двух режимов массообмена трещины с пластом. Решение задачи о блокировании техногенной трещины

дисперсными частицами осуществлено путем решения уравнения сохранения массы этих частиц, записанного на разрыве. Получена динамика сокращения эффективных размеров техногенной трещины и проведена валидация физико-математической модели этого процесса путем сопоставления полученной расчетным путем динамики с соответствующими промысловыми данными.

Показано, что для высокопроницаемых пористых сред возможен режим фильтрации, при котором несущая фаза утекает в пласт в начале трещины, в то время как пластовый флюид притекает в трещину ближе к ее концу. Установлено, что вначале суспензия достигает конца техногенной трещины, двигаясь с замедлением, а затем формируется отраженная волна в виде разрыва, на котором и происходит блокирование трещины. Скорость этого разрыва замедляется, что показывает проблематичность полного блокирования трещины.

Основные выводы, обладающие научной и практической значимостью, по мнению специалистов ведущей организации, следующие:

- на основе аналитических и численных решений при моделировании процессов пароциклического и парогравитационного дренажей установлено, что интегральный подход к описанию процессов тепломассопереноса позволяет выделить характерные стадии процессов и сформулировать критерии перехода между этими стадиями;
- с использованием многокомпонентного трехфазного моделирования процесса вытеснения нефти смесью воды и газа установлено существование эффективного соотношения флюидов в нагнетаемой смеси, позволяющего минимизировать неопределенность получаемых решений на основе алгоритма анализа процесса в специальном фазовом пространстве усреднённых насыщенных фаз в пористой среде;
- получено решение обратной задачи по определению параметров адсорбции, удерживания и недоступного порового объема при фильтрации оторочки полимера в пористой среде с использованием изотерм Генри—Ленгмюра, согласующееся с экспериментальными данными.

5. Значимость результатов диссертационных исследований автора для развития науки

Исследования, проведенные в диссертационной работе, имеют следующее научное применение:

- разработанная модель пароциклического дренажа пористых сред, насыщенных высоковязкой нефтью, применима для описания этого процесса на слабоизученных месторождениях или для оценки применимости данного процесса;
- на основе процедуры асимптотического анализа разработанной автором интегральной модели парогравитационного дренажа получены аналитические решения, позволившие установить существование критических расходов пара, необходимых для инициации процесса и начала интерференции паровых камер;
- полученные решения обратных задач по определению параметров адсорбции-удерживания и недоступного порового объема при фильтрации оторочки полимера через образец пористой среды обеспечивает оценку этих параметров без его разрушения;
- разработана физико-математическая модель проникновения реагента в слоисто-неоднородную пористую среду, позволившая установить существование оптимального объема закачанного реагента, при котором наблюдается максимальный эффект выравнивания скоростей фильтрации флюидов при минимальном снижении расхода;
- полученные аналитические и численные решения задачи кольматирования техногенных трещин обеспечивают возможность решать проблемы предотвращения прорыва воды в зону дренирования добывающих скважин.

6. Значимость результатов диссертационных исследований автора для производства

Исследования, проведенные в диссертационной работе, имеют следующее практическое применение:

- интегральный подход к описанию процессов тепломассопереноса при парогравитационном дренаже позволяет оптимизировать расстояние между скважинами для повышения объема извлекаемого флюида;
- сформулированная в работе комплексная методология дает возможность оценивать необходимость применения выбранных методов интенсификации притока нефти для пористых сред со сверхнизкой проницаемостью, насыщенных флюидами со сложной реологией;
- созданный алгоритм анализа процессов тепломассопереноса применительно к задачам вытеснения нефти при водогазовом воздействии позволяет прогнозировать эффективное соотношение воды и газа;
- предложенный метод решения многомасштабных задач тепломассопереноса в процессе выравнивания фильтрационных потоков за счет закачки реагента в пористую среду позволяет повысить эффективность малообъемных закачек физико-химических реагентов.

7. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты исследований, проведенных автором диссертации, могут быть использованы в академических научных и научно-исследовательских организациях: Институт теплофизики имени С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, Институт теоретической и прикладной механики имени С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, Отделение наук о Земле и нефтегазовых технологий Академии наук Республики Башкортостан при проведении исследований процессов тепломассопереноса в пористых средах в условиях высокой неопределенности входных параметров, например, при исследовании многофазной фильтрации для тепловых и физико-химических методов интенсификации потоков флюидов в пористых средах. Рекомендуется также использование результатов

диссертационных исследований, выполненных автором, в таких организациях нефтегазовой отрасли, как АО «Институт геологии и разработки горючих ископаемых», ООО «РН-БашНИПИнефть», ООО «Тюменский нефтяной научный центр», ПАО «Татнефть», ПАО «ЛУКОЙЛ» для прогнозирования и проектирования тепловых и физико-химических методов увеличения нефтеотдачи в качестве расчётного модуля для гидродинамических симуляторов. Результаты исследования также могут быть использованы в образовательном процессе при подготовке магистров и аспирантов по направлениям подготовки, связанным с физикой, теплофизикой, механикой жидкости, газа и плазмы в таких высших учебных заведениях, как Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфимский университет науки и технологий, Тюменский государственный университет, Тюменский индустриальный университет. В дальнейшем работа может быть продолжена в виде учета образования низкопроницаемого слоя вблизи стенок техногенной трещины при ее блокировании суспензией; модификации разработанной физико-математической модели выравнивания фильтрационных потоков в слоисто-неоднородной пористой среде, подразумевающей использование предварительно формируемых (Preformed Particle Gels – PPG) и термотропных гелей. Рекомендуется получение патента по разработанной комплексной методологии.

8. Список литературы

Приведенный в работе список литературы содержит 297 источников, состоит из фундаментальных и современных работ в области моделирования тепломассопереноса в пористых средах, включает необходимое количество отечественных и зарубежных материалов. По теме диссертационных исследований опубликовано 58 научных работ в ведущих российских и

международных отраслевых журналах, входящих в базы данных ВАК, RSCI, Web of Science, Scopus, что не вызывает сомнений в квалификации автора и качестве проведенных исследований.

9. Апробация работы

Результаты диссертационной работы прошли достаточную апробацию и обсуждались на 15 международных профильных конференциях, в частности, на SPE Russian Petroleum Technology Conference (г. Москва, 2010, 2017–2021 гг.), ThEOR (г. Богота, Колумбия, 2021 г., г. Баку, Азербайджан, 2022 г.), Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа» (г. Уфа, 2021–2023 гг.), а также на 10 российских отраслевых конференциях, среди которых следует выделить «Цифровые технологии в добыче углеводородов: цифровая независимость» (г. Уфа, 2023), «Многофазные системы: модели, эксперимент, приложения», (г. Уфа, 2020), «Математическое моделирование и компьютерные технологии в процессах разработки месторождений нефти и газа» (г. Москва, 2021 и 2022 гг.), «Нефть и газ: Технологии и инновации» (г. Тюмень, 2019 г.). Результаты исследований опубликованы в открытой печати, имеется 29 статей в изданиях, входящих в международные базы данных (Web of Science, Scopus), 9 статей в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора наук, 4 статьи в изданиях, индексируемых базой данных Russian Science Citation Index. Имеется 8 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ.

10. Соответствие паспорту специальности

Основные положения, выносимые на защиту, соответствуют пункту 1 – Фундаментальные, теоретические и экспериментальные исследования молекулярных и макросвойств веществ в твёрдом, жидком и газообразном состоянии для более глубокого понимания явлений, протекающих при

тепловых процессах и агрегатных изменениях в физических системах (физико-математические науки), пункту 2 – исследование и разработка рекомендаций по повышению качества и улучшению теплофизических свойств веществ в жидком, твёрдом (кристаллическом и аморфном) состояниях для последующего использования в народном хозяйстве (физико-математические науки), пункту 6 – теория подобия теплофизических процессов (физико-математические науки), пункту 8 – Численное и натурное моделирование теплофизических процессов в природе, технике и эксперименте, расчёт и проектирование нового теплотехнического оборудования (физико-математические науки) паспорта научной специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

11. Замечания по диссертационной работе

1. Определенный интерес представляет сравнение эффективности применения пароциклического и парогравитационного дренажа на одном и том же объекте разработки на основе модельных расчетов, однако такое сравнение не приводится в исследованиях.
2. В работе приведена валидация физико-математической модели парогравитационного дренажа по зарубежным месторождениям, однако отсутствует валидация модели по данным российских месторождений.
3. Из текста диссертации остается непонятным, возможно ли применение для слабоизученных месторождений разработанного алгоритма, построенного в результате анализа усредненных насыщенных фаз в пласте в специальном фазовом пространстве, позволяющего минимизировать неопределенность решения задачи о вытеснении нефти смесью воды и газа.
4. Недостаточно акцентировано сравнение оптимального объема закачки суспензии на основе бентонитовой глины и мела, определенного в результате применения метода решения многомасштабной задачи выравнивания фильтрационных потоков, с данными промысловых исследований.

5. Из текста диссертации остается неясным, применима ли разработанная физико-математическая модель блокирования трещины автоГРП для расчета закачки других реагентов в трещину, кроме суспензии.

Приведенные замечания не снижают общего положительного впечатления о диссертационной работе А.П. Шевелева «Комплексная методология моделирования процессов тепломассопереноса в приложении к задачам подземной гидромеханики».

12. Заключение по диссертационной работе

Автореферат написан качественным научным языком и в полной мере отражает основные положения диссертационной работы. Диссертационное исследование Александра Павловича Шевелева, представленное на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, является законченным и представляет собой цельную научную работу. Полученные в работе результаты физически не противоречивы и обоснованы, обладают научной новизной, имеют несомненную теоретическую и практическую значимость. Результаты исследований могут быть применимы для проектирования разработки месторождений с трудно извлекаемыми запасами и объектов, находящихся на поздней стадии разработки.

Докторская диссертация содержит ряд физико-математических моделей, методов и решений уравнений тепломассопереноса в пористой среде при реализации различных процессов интенсификации притока нефти. Именно по результатам решений формулируются основные выводы из проведенного исследования.

Диссертационная работа А.П. Шевелева «Комплексная методология моделирования процессов тепломассопереноса в приложении к задачам подземной гидромеханики» полностью соответствует требованиям пунктов 9-11, 13 и 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, **Александр Павлович Шевелев**, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-

