

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.050.01
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ДИНАМИКИ ГЕОСФЕР
ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.А. САДОВСКОГО РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24 декабря 2019 г. № 4/19
о присуждении Буденному Семену Андреевичу, гражданину РФ, ученой
степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Численное моделирование многостадийного гидроразрыва пласта в горизонтальной скважине» по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых» принята к защите 22 октября 2019 г., протокол № 3/19, диссертационным советом Д 002.050.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук (ИДГ РАН), по адресу: 119334, г. Москва, Ленинский проспект, д. 38, корп. 1 (приказы № 1925-621 от 08.09.2009, 105/нк от 11.04.2012, 92/нк от 18.02.2013, 33/нк от 24.01.2017).

Соискатель Буденный Семен Андреевич 1990 года рождения в 2014 году окончил магистратуру Новосибирского национального исследовательского государственного университета, в 2018 году окончил аспирантуру Московского физико-технического института (национальный исследовательский университет), в настоящий момент работает руководителем департамента цифровых технологий в индустрии ООО «Инжиниринговый центр МФТИ» и руководителем исследовательской группы в Национальном исследовательском университете Московского физико-технического института. Диссертация выполнена на кафедре прикладной механики Национального исследовательского университета Московского физико-технического института.

Научный руководитель – доктор технических наук, Хасанов Марс Магнавиевич, профессор, директор по науке ПАО «Газпром нефть».

Официальные оппоненты:

Осипцов Андрей Александрович, доктор физико-математических наук, доцент, руководитель лаборатории моделирования многофазных систем Центра добычи углеводородов Сколковского института науки и технологий;

Пушкарёв Павел Юрьевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры геофизических методов исследования земной коры геологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»;

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН) в своем положительном заключении, подписанным Тихоцким Сергеем Андреевичем, директором ИФЗ РАН, доктором физ.-мат. наук, отметила актуальность и несомненную прикладную значимость полученных результатов. При этом был высказан ряд замечаний к работе:

- в работе отсутствует исследование чувствительности результатов моделирования к погрешностям в исходных данных: профилям упругих свойств, напряжений, трещиностойкости;
- в работе отсутствует прямая верификация большинства результатов: нет сравнений результатов численного моделирования ни с результатами других опубликованных работ, ни с полевыми наблюдениями;
- в работе отсутствуют результаты сравнения эффективности применения реализованного численного алгоритма с применением других симуляторов ГРП.

Тем не менее, ведущая организация указала, что диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским

диссертациям, а ее автор Буденный С.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Соискатель имеет 8 научных работ по теме диссертации, из них 5 опубликовано в рецензируемых изданиях, входящих или приравненных к изданиям перечня ВАК. Наиболее важные из них:

1. Budennyu, S.A. An Enhanced Pseudo-3D Model of Hydraulic Fracture in Multi-Layered Formation // SPE Annual Technical Conference and Exhibition. — Society of Petroleum Engineers, October 9—1, 2017, San Antonio, United States. Conference paper. — San Antonio, 2017.
2. Bochkarev, A.V. Optimization of multi-stage hydraulic fracturing design in conditions of Bazhenov formation / S.A. Budennyu, R.N. Nikitin, D.A. Mitrushkin, A.A. Erofeev, V.V. Zhukov // Oil Industry Journal, 2017(03), 50-53.
3. Bochkarev, A.V. Pseudo-3D Hydraulic Fracture Model with Complex Mechanism of Proppant Transport and Tip Screen Out / S.A. Budennyu, R.N. Nikitin, D.A. Mitrushkin // XV European Conference on the Mathematics of Oil Recovery. — European Association of Geoscientists and Engineers, August 29 — September 1, 2016, Amsterdam, Netherlands. Conference paper. — Amsterdam, 2016.
4. Буденный, С.А. Моделирование многостадийного гидроразрыва пласта в низкопроницаемых неоднородных коллекторах баженовской свиты / А.В. Бочкарев, Р.Н. Никитин, А.А. Ерофеев, Д.А. Митрушкин, Б.В. Васекин, Д.Д. Филиппов, В.А. Кузнецов, В.О. Демо, И.А. Карпов // Совместный семинар EAGE/SPE 2017: "Наука о сланцах, проблемы разведки и разработки". — 10-11 апреля, 2017, Москва. Сборник тезисов.
5. Andrianova, A. Application of Machine Learning for Oilfield Data Quality Improvement / Simonov, M., Perets, D., Margarit, A., Serebryakova, D., Bogdanov, Y., Budennyu, S., Volkov, N., Tsanda, A., Bukharev, A. // SPE

Russian Petroleum Technology Conference. – Society of Petroleum Engineers, 2018.

Соискатель имеет также 6 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ:

1. №2018612491, Пользовательский интерфейс программы для моделирования и анализа многостадийного гидроразрыва пласта в условиях залежей баженовской свиты, дата регистрации: 16.02.2018;
2. №2018612499, Программа для моделирования роста псевдотрехмерной трещины при гидроразрыве пласта в многослойной литологии с учетом вязкостной диссипации энергии при вертикальном росте в условиях залежей баженовской свиты, дата регистрации: 19.02.2018;
3. №2018612319, Программа для моделирования формирования сети псевдотрехмерных трещин с учетом их взаимодействия и интерференции при многостадийном гидроразрыве пласта в многослойной литологии в условиях залежей трещиноватых коллекторов, дата регистрации: 15.02.2018;
4. №2016663638, Программа для ЭВМ с алгоритмами численного моделирования роста псевдотрехмерной трещины в трехслойной симметричной литологии, дата регистрации: 10.01.2017;
5. №2016662894, Программа для ЭВМ SET-FRAC, дата регистрации: 25.11.2016;
6. №2016662418, Программа для моделирования роста псевдотрехмерных трещин в многослойной литологии и их интерференции при многостадийном гидроразрыве пласта в условиях залежей баженовской свиты, дата регистрации: 20.12.2016.

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов. Все отзывы положительные. Во всех отзывах отмечается актуальность и прикладная значимость проведенных исследований.

Отзывы без замечаний прислали: к.ф.-м.н. Кузнецов К.М. (геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова), к.ф.-м.н. Савенков

Е.Б. (Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук»), д.ф.-м.н. А.В. Колдоба (Национальный исследовательский университет Московский физико-технический институт).

В отзыве д.т.н., заведующего кафедрой «Геофизические методы исследований» УГНТУ В.М. Лобанкова (Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет») отмечено, что положения, выносимые на защиту, сформулированы не в виде научных утверждений автора, а повторяют формулировки научной новизны выполненных исследований; подходы, модели, методики, программы могут быть новыми, но бесполезными и не решать актуальной научной проблемы. Также отмечено, что автор создал и использует улучшенную математическую модель пористого пласта с горизонтальной скважиной и образования трещин, возникающих в результате его гидроразрыва, однако в автореферате ничего не сказано о степени адекватности выбранной модели реальным геологическим объектам.

В отзыве д.ф.-м.н., главного научного сотрудника лаборатории проблем тепломассопереноса Института теплофизики СО РАН С.И. Лежнина отмечено, что оперировать континуальными уравнениями для перемещения проппанта на начальной стадии раскрытия трещины не является корректным, было желательно проведение верификации авторской модели на каких-либо дискретных моделях, основанных на движении взаимодействующих частиц проппанта в сплошной среде.

В отзыве к.ф.-м.н., старшего научного сотрудника ИНГГ СО РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука) С.В. Яскевича отмечено, что, несмотря на название темы диссертации, большая часть исследования посвящена расчету изолированных трещин. Также С.В.

Яскевич отметил слабую корреляцию между выбранной специальностью 25.00.10 и проведенным научным исследованием.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что:

доктор геолого-минералогических наук П.Ю. Пушкарев является известным геофизиком, специалистом в области геофизических исследований, имеет большой опыт в реализации численных алгоритмов в приложении к геофизическим задачам. Он является автором и соавтором более чем 80 научных статей, 9 книг, 10 патентов.

доктор физико-математических наук А.А. Осипцов является известным ученым, специалистом в области технологий гидроразрыва пласта, процессов тепломассопереноса мульти-фазных систем. Он является автором и соавтором более 30 научных статей.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН) является одной из ведущих научных организаций России, выполняющей фундаментальные исследования и прикладные разработки в области технологий обработки и интерпретации геофизических данных, технологий интенсификации добычи, ведет научные исследования по теме гидроазрыва пласта.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: представлена численная псевдотрёхмерная модель роста одной или нескольких трещин ГРП в неоднородном геологическом разрезе с учётом массопереноса смеси жидкости и проппанта в стволе скважины, а также интерференции трещин за счет индуцированного напряжения. На основе предложенной модели создан алгоритм, позволяющий проводить моделирование МГРП в горизонтальной скважине для произвольного режима закачки на устье скважины, различных типов проппанта и жидкостей, геомеханического разреза с произвольным количеством слоёв, а также пространственного профиля скважины с

произвольным количеством стадий МГРП и точек инициации трещин в каждой из них. Рассмотрено несколько задач, для решения которых использовался сформулированный алгоритм: рост трещины в трехслойной слоистой модели); учет вязкостной диссипации при росте трещины в многослойной среде; кратко рассмотрено концевое экранирование проппанта; представлен результат расчета для конкретного геологического разреза и условий закачки; продемонстрированы результаты моделирования взаимного влияния трещин МГРП друг на друга.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

проведено комплексирование существующих моделей, описывающих различные физические процессы, имеющие место при развитии трещин МГРП. Отдельное внимание уделено вязкостной диссипации энергии при росте трещины, росту трещины в слоистой среде, взаимодействию трещин между собой и искривлению их траекторий. Несмотря на то, что по каждому из этих вопросов существует достаточное количество публикаций, рассмотрение всех задач в комплексе позволяет говорить о научной новизне и теоретической значимости рассматриваемого исследования.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработанные модели и алгоритмы реализованы в виде комплекса прикладного программного обеспечения, пригодного для решения задач планирования оптимального дизайна гидроразрыва пласта в горизонтальных скважинах;

на базе разработанных алгоритмов проведена оптимизация многостадийного ГРП для скважин, вскрывающих пласты Баженовской свиты.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

результаты, представленные в диссертационной работе, получены при решении уравнений неразрывности фаз и сохранения моментов импульса, а также с использованием эмпирических замыкающих соотношений, наиболее

часто встречающихся в научной литературе. Численные решения проверены на сохранение материального баланса. Верификация численного решения проведена путем сравнения с результатами, полученными в статьях сторонних авторов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке конкретных задач исследования, разработке численных алгоритмов моделирования процессов разрушения породы, процессов переноса смеси неньютоновской жидкости степенной реологии и проппанта в каналах трещины ГРП, проведении численных экспериментов и анализе получаемых результатов, обзоре литературы по тематике исследования, подготовке публикаций по выполненной работе, выступлении на научно-исследовательских конференциях.

Диссертационный совет отмечает наличие у соискателя всего одной работы в высокорейтинговом рецензируемом журнале. Однако, помимо 5 публикаций в рецензируемых изданиях, у соискателя имеется 6 зарегистрированных программ для ЭВМ, которые согласно п. 13 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (утв. Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. N 842) приравниваются к статьям в журналах, входящих в перечень изданий ВАК.

В ходе заседания диссертационного совета соискателем были даны исчерпывающие ответы на замечания, высказанные оппонентами и ведущей организацией.

Диссертация С.А. Буденного является актуальным законченным научным исследованием, вносящим существенный вклад в развитие математических методов моделирования многостадийного гидроразрыва пласта в горизонтальной скважине. Личный вклад соискателя в проведение исследований является существенным. Работа обладает научной новизной, практической и фундаментальной значимостью и удовлетворяет требованиям ВАК к кандидатским диссертациям.

При проведении тайного голосования из 25 утвержденных членов

На заседании 24 декабря 2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Буденному С.А. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

вета Д002.050.01

В.В. Адушкин

25.12.19

го совета Д002.050.01

Е.А. Виноградов