

## Отзыв научного руководителя

о работе Пещеренко Александры Борисовны по кандидатской диссертации  
«Быстрые расчётные модели сложной механики гидроразрыва и кислотной обработки пласта»,  
представленной к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.06.09 «Геофизика»

Современные технологии добычи нефти и газа требуют создания сложных вычислительных моделей, описывающих нелинейные связанные фильтрационно-геомеханические процессы в подземных условиях. Без точных физико-математических моделей, дополненных измерениями свойств горной породы, спрогнозировать и интерпретировать полевые операции бывает сложно. Это особенно касается таких задач, как распространение трещины гидравлического разрыва пласта (ГРП) и обработка призабойной зоны (ОПЗ) коллектора, где гидродинамика течения нагнетаемой жидкости нелинейно связана с механикой отклика горной породы, содержащей трещины.

Большинство моделей и симуляторов интенсификации добычи сегодня предлагают вычислительно ресурсоёмкие программы с численным решением задачи, которое занимает большое время. Если для академических исследований подобные программы оказываются удовлетворительными, то в индустрии такие решения не всегда приемлемы. Низкая скорость расчёта мешает, например, проводить большое количество вычислений для значительного числа трещин или делать многофакторный анализ чувствительности за ограниченное у инженеров и операторов время. Таким образом, необходима не только работа по усложнению моделей, чтобы приблизить их к наблюдаемым лабораторным и полевым измерениям, но и создание новых, более быстрых численных алгоритмов решения тех же задач. Хотя их создание происходит не без значительного упрощения и большей погрешности вычислений, они являются востребованными. Они не только удобны в работе, но и открывают новые возможности для создания уникальных цифровых решений на их основе, которые нельзя представить с медленно работающими программами.

Этой важной цели и следует диссертационная работа Александры Пещеренко. Она создала несколько вычислительно эффективных моделей для решения задач о ГРП и кислотной ОПЗ, которые потребовали все 4 года аспирантуры.

Диссертантка в своей работе сделала ряд новых достижений, таких как алгоритм решения задачи о распространении трещины ГРП, давший колоссальное ускорение по скорости в сотни-тысячи раз по сравнению с существующими численными сеточными аналогами, при этом сохранив точность расчёта длины и высоты трещины в диапазоне 10 %. В работе отмечены новые интересные закономерности роста трещины ГРП, например, асимметричный рост крыльев при

сильном контрасте коэффициента утечек, а также резкие прорывы трещины по высоте и длине при близком расположении её к трещинам, созданным прежде, особенно продольным. В работе предложен новый способ сдерживания прорастания трещины ГРП высоту в любых желательных пределах за счёт бурения параллельной скважины, который был запатентован. Численными экспериментами показано, насколько сильно отклонения в геометрии скважин и поддержка в них давления влияют на «захват» распространяющейся трещины соседней скважиной. Диссертантка построила новую сопряжённую геомеханико-химическую модель обработки карбонатных коллекторов с многочисленными естественными трещинами. Эта работа уникальна, потому что до сих пор такой вид сопряжения механики разрушения и активации естественных трещин с химической реакцией выедания их стенок никем не был разработан и исследован. Эта сопряжённая модель позволила обнаружить чувствительность забойного давления к параметрам породы и закачки, её связь с распространением зоны стимуляции в породе и продуктивностью пласта. Наконец, Александра с интересом детально изучила развитие области перепродавки в малой околоперфорационной области трещины ГРП, которую можно было сделать лишь на основе численного симулятора ГРП с высоким пространственным разрешением. Это исследование выяснило роль смены вязкости закачиваемых жидкостей и других параметров закачки на развитие неустойчивости Саффмана-Тейлора в околоскважинной области.

Александра с успехом доказала достоверность созданных ею моделей и полученных результатов путём сравнения с точными аналитическими решениями для трещин ГРП. Сверка моделей проводилась и с коммерческими симуляторами ГРП, и с полевыми измерениями на основе акустического и температурного каротажей. Не меньшие усилия диссертантка приложила и к проверке точности решения нелинейной задачи о закачке жидкости под давлением в трещиноватый пласт. Богатый спектр различных сравнений с аналитическими и численными решениями не оставляет сомневаться в корректности разработанных моделей.

Практическая значимость полученных в диссертации результатов довольно ясна и не требует доказательств, поскольку все главы диссертации были инициированы потребностью нефтесервисной компании ООО «Технологическая компания Шлюмберже», где работает аспирантка. На основе её моделей созданы новый программный плагин в комплексе Petrel (модель Razor) и облачный сервис для моделирования трещиноватого пласта (модель ImpliStim). Сегодня эти модели применяются по всему миру (например, в России, Великобритании, на Ближнем Востоке).

Хочется отметить и положительные личные качества Александры, старательность и усердие, неравнодушие к поставленным задачам. Её кропотливая работа над аналитическими выкладками и отладкой программного кода, работа с литературой, программами Wolfram Mathematica и MATLAB — всё это помогло сделать такую большую работу в ограниченное

аспирантурой время. Особенно приятно отметить прилежание диссертантки к написанию научных статей на английском языке, высококачественному оформлению своих публикаций и большому числу выступлений на научных семинарах и конференциях.

Суммируя вышесказанное, считаю, что диссертация представляет законченную научную работу, соответствующую требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Научный руководитель  
к. ф.-м. н., инженер по научным вычислениям,  
ООО «Технологическая компания Шлюмберже»

Дмитрий Арефьевич Чупраков  
31 марта 2023 г.

Подпись заверяю

Список  
управления  
Решетарь Я.В.