

## ОТЗЫВ

научного консультанта доктора физико-математических наук, профессора  
Черного Сергея Григорьевича

на диссертационную работу Лапина Василий Николаевича  
«Моделирование распространения трещин, нагруженных давлением вязкой  
жидкости», представленную на соискание учёной степени доктора физико-  
математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое  
моделирование, численные методы и комплексы программ»

Научное руководство Лапиным Василием Николаевичем я начал в 1999 году, во время его обучения на механико-математическом факультете Новосибирского Государственного Университета (ММФ НГУ). В 2006 г. под моим руководством он защитил диссертацию «Численное моделирование течений несжимаемой жидкости в аэрогидродинамических установках» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Последние 17 лет научная деятельность Лапина В.Н. была связана с разработкой математических моделей распространения трещин гидроразрыва пласта и других процессов, протекающих в окрестности нефтяных скважин. В 2005-2014 г. он принимал непосредственное участие в выполнении научно-исследовательских работ по договорам Института Вычислительных Технологий СО РАН с ООО «Технологическая компания Шлюмберже», в 2014-2016 г. – являлся одним из основных исполнителей по гранту РФФИ 14-11-00234 «Разработка методов оптимального решения трехмерной задачи зарождения и распространения трещины от полости в упругой среде под воздействием закачиваемой в неё вязкой жидкости». Научную деятельность Лапин В.Н. сочетает с преподавательской – читает курс лекций по дисциплине «Математическое моделирование» студентам ММФ НГУ, ведет семинары и практические занятия. Под его руководством подготовлено более 15 бакалаврских выпускных работ и магистерских диссертаций. Исследования Лапина В.Н. отличаются аккуратностью и пристальным вниманием к каждому шагу технологии математического моделирования – от построения математической модели до ее реализации в виде программы ЭВМ и анализа результатов вычислительного эксперимента.

Диссертационная работа Лапина В.Н. «Моделирование распространения трещин, нагруженных давлением вязкой жидкости» посвящена разработке инструментария (математической модели и численного метода, реализованных в виде программы ЭВМ) для описания эволюции трещин гидроразрыва пласта в окрестности скважин и применению этого инструментария для выявления закономерностей и

особенностей процессов, которые определяют такое распространение. Главным результатом работы является полная трехмерная модель криволинейной трещины, в основе которой лежат разработанные соискателем новые составляющие

- 1) численный метод, позволяющий одновременно решать дифференциальные уравнения движения жидкости и интегральное уравнение для описания деформации породы, записанные в области трещины, которая является частью двумерной поверхности со свободными границами;
- 2) неявный глобальный критерий распространения трещины, позволяющий описывать, в том числе, трещины с негладкой траекторией, обусловленной анизотропностью напряженного состояния, которое характеризуется существенным значением третьей моды напряжений и вызывает кручение фронта трещины;
- 3) численная модель жидкости Гершеля-Балкли, разработанная для расчета распределения давления при движении жидкости сложной реологии в трещине.

На основе полной трехмерной модели построена иерархия моделей, каждая из которых получена из исходной на основе упрощающих предположений о форме трещины (фиксированная поверхность трещины, круговая форма фронта и т.д.). Как исходная полная трехмерная модель, так и упрощенные модели были применены для решения практических задач и получения новых знаний о процессах распространения трещин в окрестности скважины и рамках применимости моделей для описания таких процессов.

Практическая значимость диссертационной работы Лапина В.Н. обусловлена возможностью использования ее результатов при усовершенствовании и создании новых технологий гидроразрыва пласта, направленных на интенсификацию добычи из все более трудно извлекаемых коллекторов. Разработанная им полная трехмерная модель распространения трещин позволяет учитывать анизотропность напряженного состояния коллектора, сложную геометрию трещины в окрестности скважины и сложную реологию жидкости, используемой для операции гидроразрыва. Соискателем выявлены области применимости простой ньютоновской модели жидкости для описания движения в трещине жидкости сложной реологии (степенной, псевдопластической, Гершеля-Балкли), что позволяет в дальнейшем облегчить разработку новых моделей распространения трещин в прискважинной области и повысить их вычислительную эффективность. Важное практическое значение имеет также выявленный и описанный в диссертационной работе эффект пережатия трещины и результаты анализа условий его образования. Это пережатие вызывается искривлением

