

ОТЗЫВ

**на автореферат диссертационной работы Осипцова Андрея Александровича
«Модели механики многофазных сред для технологии гидроразрыва пласта»,
представленной на соискание учёной степени
доктора физико-математических наук
по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы**

В настоящее время операции гидроразрыва пласта (ГРП) проектируются при помощи симуляторов на основе математических моделей, описывающих сопряжённые процессы роста трещины и многофазного течения внутри трещины ГРП. Предсказанная таким образом геометрия трещины далее используется в симуляторах пластовых течений для планирования добычи углеводородов и оценки интегрального эффекта повышения нефтеотдачи пластов. Следует отметить, что разработанные к настоящему времени модели многофазных течений, используемые в симуляторах гидроразрыва пластов, зачастую весьма упрощены и базируются на эвристически постулированных одномерных моделях эффективной среды, не учитывающих ряд важных физических факторов, в частности, двухскоростные эффекты межфазного проскальзывания, предел текучести суспензии, поперечной миграции частиц на масштабе ширины трещины, влияние несферичности частиц проппанта на фильтрацию углеводородов в плотной упаковке гранулированного материала в закрытой трещине, газожидкостные снарядные режимы течения в скважине при её запуске в эксплуатацию после проведения операции ГРП. В результате применение технологии ГРП нередко заканчивается переходом скважины на нештатный режим работы и её остановкой вследствие возникновения негативных явлений, не предусмотренных при дизайне и проектировании с помощью симуляторов.

Учитывая необходимость развития отечественных моделей для количественного описания процессов, протекающих при осуществлении операций ГРП, многофазных течений в трещине, актуально создание моделей, востребованных при создании отечественных симуляторов для проектирования операций гидроразрыва пласта, на что и направлена работа диссертанта.

Целью работы являлось построение и исследование многомасштабных гидродинамических моделей многофазных течений на всех стадиях реализации технологий ГРП.

Результатом диссертационных исследований является построение семейства многоконтинуальных моделей, позволяющих описывать многофазные течения на различных стадиях реализации технологий ГРП, включая течение суспензии по трещинам, поперечную миграцию и осаждение частиц в трещине, фильтрацию углеводородов в закрытой

трещине по направлению к скважине и газожидкостные течения в скважине после проведения операций гидроразрыва пласта.

Автором разработана новая квазидвумерная двухконтинуальная модель течения суспензии в трещине ГРП, построенная с учётом гравитационного осаждения отдельных частиц и гравитационной конвекции суспензии в целом, неньютоновских свойств суспензии (предела текучести), последовательной закачки нескольких различных жидкостей и суспензий в трещину с развитием неустойчивости на интерфейсе. Предложена многомасштабная модель миграции частиц при течении разрежённой суспензии в трещине ГРП, включающая формулу для боковой силы на одиночную частицу, осаждающуюся при течении жидкости в трещине, модель миграции частиц на начальном участке плоского канала на стадии формирования профиля Пуазейля и модель миграции осаждающихся частиц в развитом течении Пуазейля в плоском канале. Представлено обобщение квазидвумерной модели течения суспензии в трещине ГРП, учитывающей неоднородность поперечного профиля концентрации частиц, формирующегося в результате миграции частиц от стенок канала.

Разработана трёхконтинуальная модель фильтрации суспензии в пористой среде, учитывающая осаждение частиц в порах и мобилизацию частиц, приводящих к повреждению или восстановлению проницаемости и пористости пласта.

Представлена новая зависимость безразмерной проницаемости пласта от его пористости для упаковки несферических частиц проппанта, полученная на основании трёхмерных расчётов течения вязкой несжимаемой жидкости в поровом пространстве с использованием решёточных уравнений Больцмана, позволяющая описывать экспериментальные данные в широком диапазоне определяющих параметров.

Приведена комбинированная квазиодномерная модель для многофазных газожидкостных течений в длинных скважинах и трубопроводах, в основу которой положено совместное применение многоконтинуального подхода и упрощённой модели дрейфа при различных условиях замыкания, а также анализ гиперболичности полученных моделей.

На основании численного и асимптотического исследований ряда течений показано, что разработанные модели позволяют качественно и количественно описывать процессы транспорта суспензии в трещине ГРП, фильтрацию углеводородов в закрытой трещине, заполненной гранулированным материалом, газожидкостные течения в скважине после проведения операций гидроразрыва пласта.

Практическая ценность диссертационной работы заключается в том, что полученные результаты использованы при создании новых вариантов технологий ГРП и развитии коммерческих симуляторов компании Шлюмберже. Разработанные модели транспорта

проппанта в трещине ГРП могут быть использованы при создании отечественных симуляторов роста трещины гидроразрыва пласта.

В то же время, в качестве замечаний хотелось бы отметить следующее.

1. В первой главе, посвященной анализу литературы по проблемам механики многофазных сред при ГРП, автор большое внимание уделяет формулировке нерешённых проблем, таких как разработка гидродинамических моделей течения суспензий в трещине; построение моделей миграции частиц проппанта в трещине; изучение фильтрации жидкости в трещине, заполненной проппантом; построение моделей газожидкостного течения в скважине после ГРП. И в тоже время не упоминается о такой важной и не решённой на сегодняшний день проблеме, как моделирование течений различных типов геля (с проппантом и без него, прошитого и непрошитого) по стволу скважины, с целью расчёта гидравлических потерь при транспортировке геля и геля с проппантом в трещину в процессе ГРП. Например, добавление проппанта в гель логически наводит на мысль о том, что потери давления на гидравлическое трение при течении смеси по НКТ должны возрасти, а экспериментальные замеры показывают обратное – потери давления на трение снижаются. Малоизученность физики подобных явлений приводит к тому, что исследователи вынуждены писать различные (для разных типов жидкости гидроразрыва) эмпирические корреляции.

2. Соискатель в автореферате отмечает, что «существующие модели многофазных течений, внедренные в симуляторы гидроразрыва, зачастую избыточно упрощены...». В тоже время во второй главе рассматривается нестационарное ламинарное течение суспензии на основе **ньютоновской** жидкости в вертикальной трещине гидроразрыва. В качестве граничных условий задано **условие не проникания** на стенках трещины. При такой **упрощенной** постановке задачи можно говорить только о качественных результатах по расчёту переноса и оседания частиц суспензии.

3. В третьей главе предложена модель миграции частиц при течении суспензии в трещине ГРП. С практической точки зрения было бы интересно оценить влияние на перенос и оседание частиц распределённого (локального) оттока жидкости через стенки трещины.

4. В качестве научной новизны автор отмечает разработку «комбинированной квазиодномерной модели для многофазных газожидкостных течений в длинных скважинах и трубопроводах...». Почему соискатель называет одномерную нестационарную модель квазиодномерной из материалов автореферата непонятно. Также в автореферате, на мой взгляд, недостаточно данных, чтобы понять, в чем состоит комбинированный подход мо-

дели дрейфа и многожидкостной модели, особенно для случая окологоризонтальной скважины.

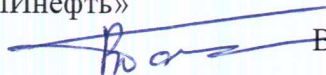
Указанные замечания не принципиальны и не снижают ценности диссертационной работы.

В целом же считаю, что диссертация Осипцова Андрея Александровича соответствует критериям, установленным Постановлением Правительства РФ от 21 апреля 2016 года № 335 ВАК Министерства образования и науки РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание доктора физико-математических наук. В ней изложены научно обоснованные разработки, имеющие существенное значение для нефтедобывающей отрасли страны в области совершенствования построения многомасштабных гидродинамических моделей многофазных течений на всех стадиях реализации технологий проведения операций гидроразрыва пласта, направленных на интенсификацию добычи нефти.

Автор заслуживает присуждения искомой учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Зам. директора ООО «РН-УфаниПИНефть»

д. физ.-мат. н., профессор



Виталий Анварович Байков

Байков Виталий Анварович,

зам. генерального директора ООО «РН-УфаниПИНефть»,

доктор физико-математических наук по специальности 01.01.03

«Математическая физика», профессор.

450103, Уфа, ул. Бехтерева, 3/1, каб. 307.

тел. 8-(347)-293-60-10, доп. 25-01.

Электронный адрес: baikov@ufanipi.ru

Подпись В.А. Байкова заверяю:

Л. специалист отдела по персоналу:



Байкова