

## Отзыв

на автореферат диссертации Валиева Марата Иозифовича  
**“Применение противотурбулентных присадок для транспортировки нефтей  
с высоким содержанием асфальтосмолопарафиновых веществ”,**  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.8.5 – Строительство и эксплуатация  
нефтегазопроводов, баз и хранилищ (технические науки)

Решение проблем обоснованного развития безаварийных и эффективных систем транспорта нефтей со специфическими изменениями фазовой структуры, особенностями поведения морфологических, теплофизических свойств их компонентного состава требуют разработки и оперативного внедрения в практику инженерных расчетов современных и универсальных методик оценок потерь энергии на трение и теплоотдачу при движении в нефте- и газопроводах в широком диапазоне параметров, определяющих течение и тепломассоперенос в гетерогенной углеводородной вязкой смеси. Стоит отметить, что почти все реальные течения таких сред турбулентные. Они трехмерны, неустойчивы в малом и часто сопровождаются сложными переходными процессами вихревой, тепловой и энтропийной природы, обусловленными пульсациями тепло-, гидро-, газодинамических и диффузионных величин. Хорошо известно, что для повышения эффективности их транспортировки широко используются методики, позволяющие существенно уменьшить сопротивление, турбулентное поверхностное трение путем применения противотурбулентных присадок (ПТП). Уникальная особенность явления к снижению сопротивления с помощью разбавленных растворов полимеров относит задачу о повышении эффективности транспорта нефтей по трубопроводам к числу важнейших для практики. В этом смысле тема диссертационной работы М.И. Валиева, связанная выяснением особенностей и закономерностей течения гетерогенной углеводородной смеси с высоким содержанием асфальтосмолопарафиновых веществ по трубопроводам при введении присадок *весьма актуальна* не только в прикладном, но и в фундаментальном смысле. Т.к. позволяет проникнуть в суть механизмов реламинаризации течения, развития неоднородной анизотропной турбулентной структуры в смесях с гидродинамической и молекулярной точек зрения. В настоящей диссертационной работе выполнено экспериментальное исследование, позволяющее *сформулировать методику* оценки влияния морфологии, температуры, состава АСПВ в нефти на эффективность ПТП. А также определить функциональные связи для гидравлического сопротивления с установлением характерного рабочего диапазона изменений определяющих критериев подобия. *Новизна* исследования касается экстенсификации процесса переноса импульса в сложном сдвиговом гетерогенном потоке, оценок влияния на сопротивление термодинамических процессов при изменении состава нефти. Из автореферата видно, что исследование проиллюстрировано большим количеством данных измерений, расчетов локальных и интегральных параметров динамической и диффузионной структур течения по длине опытного участка. Можно отметить, что представленные результаты составляют новое достижение в решении проблемы повышения эффективности транспортировки нефти при действии ПТП. Кроме того, результаты работы *широко представлены* в научных публикациях, детально обсуждались на ряде международных конференций, удостоены 2 патентов.

Однако, по автореферату имеются замечания, в частности:

1. Анализируя имеющиеся публикации по проблеме, автор отмечает (см. стр.7), что эффективность присадки в основном оценивается через функциональную связь вида  $DR=f$  (критерий Рейнольдса, напряжение сдвига, компонентный состав) (\*). Рецензент полагает, что в случае рассматриваемых нефтей, как сложных по морфологии, гидродинамическому и тепловому пространственным режимам течения с теплообменом, структуре и составу смеси желательны пояснения:

- 1.1. В исследовании речь идет только о ньютоновских системах? Нигде по тексту нет замечания, как автор определяет реологию объекта исследования – нефть - неньтоновскую смесь, задает критическое значение вихревого перехода в предполагаемой неньтоновской среде?
- 1.2. То же касается представления о напряжениях сдвига в сложном сдвиговом потоке ((как комбинации вязких и турбулентных?). В итоге, не ясно: какая модель отвечает морфологии нефти с АСПВ при демонстрации работоспособности защищаемой методики?
- 1.3. Т.к. в реологически сложном ламинарно-турбулентным неустойчивом потоке динамическая структура неоднородна и анизотропна (известный факт!), то также требуется уточнение автора: о каком напряжении сдвига идет речь в (\*)? Подразумевается, что в общей постановке должен анализироваться полный тензор напряжений или его индивидуальные компоненты в связи (\*)?
- 1.4. Хорошо известно (см., например, работы J.T. Kujo, L.S.G. Kovaszny, D.H. Fruman, M.P. Tulin est.), что введение полимерных добавок наряду с уменьшением турбулентного трения способно существенно замедлять процессы диффузии (молекулярной и турбулентной). Поэтому требуется обоснование автора о необходимости построения связи (\*) для реальных условий введения добавки с указанием допущений, не влияющих на точность прогноза процессов, но учитывающих, что для условий гидродинамически стабилизированного

течения полимерная добавка увеличивает толщину вязкого подслоя и уменьшает турбулентное трение. А это приводит к росту молекулярной диффузии инжектируемого раствора полимера не только в локальной области ввода, но и при развитии течения.

Указанные дополнения (п.1) позволяют автору обосновать необходимость построения методики со связью DR в редуцированном виде (\*), без использования новых масштабных вязко-упругих параметров и критериев, характеризующих изменение локальных свойств турбулентности (критерий Бингама ( $Bn$ ), критерий Дебора ( $De$ ), критерий Рейнольдса турбулентности ( $Re_t$ ), гравитационных сил (критерий Фруда ( $Fr$ )), фазовых эффектов в дисперсной системе (критерий Этвеша ( $Eu$ ), Вебера ( $We$ )). Заметим, что эти связи в диссертации сведены к формулировке через гидравлическое сопротивление при использовании ПТП и полно представлены в табл. 7 (стр. 20) *без уточнений*, каким конкретным условиям физического процесса сложного сдвигового течения они соответствуют (например, условиям установившегося по пространству и времени, изотермической гомогенной среды, ньютоновской реологии, отсутствие/наличия массовых сил и т.д.)

2. Стр.8, к характеристике результатов главы 2.

2.1. По рис.1 желательна пояснение автора: для какой реологии ПТП проведены исследования с использованием реометра? Указать формулировку  $Re$  и критический диапазон вихревого перехода в неньютоновской среде.

2.2. В петлевой конфигурации мобильной стендовой установки (см. рис.2) в измерительном участке напорной линии 8 (круглой цилиндрической трубе) проводится снятия показаний поля давления, температуры, касательного напряжения. Рецензент полагает, что могут быть полезны сведения о картине течения смеси, в условиях которой анализируются указанные параметры. Так, неясно: в каких режимах/условиях происходит течение вязкой среды (устойчивых/переходных пространственных процессов переноса импульса, тепла и массы в пристеночной зоне около криволинейной стенки; тепловой вынужденной/смешанной конвекции с фазовыми переходами), а также выполняются измерения термодинамических и вязкоупругих параметров ( $P, T, \tau_{ij}$ )? Не вполне ясно из текста: какой вид связи для динамической вязкости составляющих фаз/смеси  $\mu=f(T, P, C_i)$ , а также в реологической зависимости для напряжений со скоростями деформаций? В петлевой конфигурации измерительного участка в пограничном гидродинамическом слое должна быть заметна роль радиальной и азимутальной компонент вектора скорости составляющих фаз? при изменении диффузионной структуры потока в петле снимались интегральные средние (или среднемассовые) значения  $T, P, C_i$ ? Рецензент считает, что эти детали могут быть полезны при интерпретации результатов исследования и уяснения отличий результатов методики (по лабораторному стенду) и их отличий в изменении эффективности ПТП от соответствующих данных реального процесса течения смеси с ПТП в трубопроводе, о которых сообщает автор (см. стр.10).

3. Стр. 13, к характеристике результатов главы 3.

3.1. Из рис. 4 не вполне ясно: как влияет ламинаризация потока на изменение от времени эффективности присадки при течении нефтей с различным содержанием АСПВ? Так, можно допустить, что на этапе порядка 200с сильно уменьшилась турбулентная вязкость. Тогда, с какими механизмами процессов переноса импульса, массы, по мнению автора, связано дальнейшее изменение эффективности ПТП в рассматриваемых турбулентных режимах течения и тепло- и массопереноса в гетерогенной смеси (из рис. 4 видно относительно слабое снижение эффективности ПТП при  $t=400-1200с$ ). Исследовался ли этот вопрос более детально, например, как факт совместного влияния эффектов от нелинейных конвективно-диффузионных процессов переноса импульса, массы и процессов от молекулярной релаксации полимера в смеси? Ответ на вопросы (п.3) может быть полезен при разработке математической модели гидродинамики и тепломассообмена в ламинаризирующихся потоках с полимерными добавками во внутренних системах (трубах, каналах).

4. Стр. 18, к характеристике результатов главы 4.

Рецензент отмечает, что перспективным представляется анализ автором эффективности применения ПТП в смесях с АСПВ с выдачей критериальной связи для гидравлического сопротивления, но в условиях учета развития локальных свойств турбулентного течения, осложненного тепломассопереносом. Тогда, связь типа (5) можно было бы обобщить для включения не только изменений  $Re$ , концентрации ПТП, параметров, ответственных на свойства полимера, но и величин, сопровождающих введение добавок (скорость впрыска, вязко-упругие свойства растворов) и геометрию щелей для инъекции. Указанные параметры способны вносить существенные возмущения в турбулентный пристеночный поток и определять особенности изменений сопротивления. Поэтому функциональная связь (5) для  $\lambda$  должна быть более сложная, особенно в условиях переходных процессов при течении смесей со специфической реологией и движениями в смешанном режиме.

Таким образом, по мнению рецензента, соискателю на защите следует полнее сформулировать физическую картину анализируемого процесса, обосновать допущения и значения определяющих критериев подобия, при которых возможно обобщение результатов лабораторного стенда на реальный процесс и

подтвердить практическую ценность связей для гидравлического сопротивления в смесях с АСПВ. Однако, высказанные замечания не умаляют существа результатов диссертации. Судя по автореферату, автор имеет опыт и оригинальные идеи решения данных проблем, интересные для обсуждения и внедрения в практику.

В целом, анализ автореферата позволяет сделать вывод, что диссертационная работа Валиева М.И. является серьезным исследованием, отвечает требованиям п.9 “Положения о присуждении ученых степеней”, утвержденного Постановлением №842 Правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. (в редакции Постановления №335 Правительства РФ от 21.04.2016г., № 748 от 02.08.2016г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Валиев Марат Иозифович, заслуживает присуждения искомой степени по специальности 2.8.5 - “строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ (технические науки)

Сергей Николаевич Харламов,

профессор (по кафедре теоретической механики),  
доктор физико-математических наук  
(01.02.05 - механика жидкости, газа и плазмы),  
профессор отделения Нефтегазового дела  
Инженерной школы природных ресурсов  
Национального исследовательского  
Томского политехнического университета

Контактные данные:

Адрес: 634050, Томск, пр. Ленина, 30  
ФГАОУ ВО Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет  
Тел.: +7 913 104 58 57  
e-mail: kharsn@mail.ru

Подпись С.Н. Харламова удостоверяю  
Дата 14 05 24

И.о. ученого секретаря Томского  
политехнического университета



В.Д. Новикова