

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу **Абдусалымова Артема Вячеславовича**
«Формирование композиции противотурбулентной присадки и её физико-химические и реологические свойства», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия

Рассматриваемая диссертационная работа Абдусалымова Артема Вячеславовича дополняет и обобщает комплекс исследований, направленных на углубление теоретических представлений о влиянии растворенных макромолекул полимеров на скорость турбулентного течения. Основное внимание в работе уделено проблеме, связанной с температурным фактором, обуславливающим различную противотурбулентную эффективность полимерных добавок в широком интервале температур, и влиянию термодинамического качества растворителя на величину эффекта снижения гидродинамического сопротивления в многокомпонентных средах, каковыми являются нефть и её промышленные фракции (бензин, керосин и т.д.). Основываясь на проведенных теоретических исследованиях и лабораторных экспериментах, предложен способ формирования из концентрированного раствора полимера противотурбулентной присадки суспензионной формы, которая востребована нынешней производственной практикой. Ознакомление с диссертацией и авторефератом позволило оценить работу Абдусалымова А.В. по следующим позициям

Актуальность темы. Повышение энергоэффективности производственных процессов является в настоящее время доминирующим направлением исследований, в том числе и при разработке новых технологий трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. Одним из способов энергосбережения является использование при перекачке нефти противотурбулентных добавок на основе полимеров. В связи с тем, что основные районы добычи нефти в Российской Федерации находятся в удаленных и труднодоступных местах северных широт, то доставка туда противотурбулентных присадок в виде концентрированных растворов с малым содержанием в них сверхвысокомолекулярного полимера (менее 10 мас.%) является экономически затратным мероприятием. Поэтому перевод истинного раствора полимера в коллоидную форму, содержащую более высокую долю (30 мас.%) гидродинамически активного вещества, несомненно, является актуальной задачей.

Способность макромолекул снижать уровень турбулентности в потоке жидкости имеет не только практическое значение, но представляет и теоретический интерес. Поэтому актуальной задачей является поиск адекватных представлений о турбулентном течении полимерных растворов, основанных на понимании физико-химических аспектов явления снижения гидродинамического сопротивления, чему в диссертации также уделено достойное внимание.

Научная новизна работы А.В. Абдусалымова заключается в получении ранее неизвестных данных, которые не противоречат опубликованным результатам других исследователей, а информативно дополняют их и в некоторых случаях углубляют уже сложившиеся представления о явлении снижения гидродинамического сопротивления. Наиболее значимые новые теоретические и экспериментальные результаты можно ранжировать в порядке представления их в диссертации:

- теоретическим путем получена формула (в автореферате формула 2), связывающая величину эффекта снижения гидродинамического сопротивления (DR , %) с величиной приращения объёмного расхода (ΔQ , м³/с). Наличие выявленной функциональной зависимости $DR = f(\Delta Q)$ позволяет аналитически оценивать влияние различных

гидродинамических параметров течения и физико-химических характеристик полимерных растворов на величину энергосбережения;

- впервые экспериментально показано, что при понижении температуры раствора полимера противотурбулентная эффективность макромолекул возрастает, что сопровождается уменьшением величины «оптимальной» концентрации ($C_{опт.}$), необходимой для достижения максимального эффекта снижения гидродинамического сопротивления (DR_{MAX});

- экспериментальными исследованиями подтверждено влияние физико-химической природы жидкости на объём макромолекулярного клубка с иммобилизованным растворителем, что при смене растворителя сопровождается изменением приращения объёмного расхода и, в конечном случае, приводит к изменению величины эффекта снижения сопротивления;

- дано новое теоретическое объяснение наблюдаемому уменьшению величины эффекта Томса при длительном пребывании полимерного раствора в турбулентном режиме течения или при многократном прохождении раствора через местные гидравлические сопротивления в трубопроводах. В предложенной трактовке снижение противотурбулентной эффективности разбавленных растворов является следствием распутывания цепей макромолекул, что сопровождается уменьшением объёмов изначально существующих надмолекулярных ассоциатов до размеров индивидуальных клубков макромолекул;

- установлены физико-химические условия формирования стабильной суспензии полимера из истинного раствора высокомолекулярного полигексена при осаждении его из многокомпонентной смеси, а также сформирована присадка суспензионной консистенции, не уступающая по противотурбулентной эффективности импортным аналогам.

Практическая значимость полученных результатов вытекает из поставленной цели, а именно, разработки нового способа формирования присадки и исследования её физико-химических и противотурбулентных свойств. В литературном обзоре диссертации подробно описаны несколько известных способов получения противотурбулентных присадок суспензионной формы, основными из которых являются: криогенное диспергирование полимерного тела, полученного блочной полимеризацией, и получение мелкодисперсной суспензии полимера непосредственно на стадии полимеризации гексена в среде перфторированных алканов. Оба эти способа имеют свои достоинства и недостатки, к которым можно отнести необходимость использования специфического оборудования и многостадийность процессов, а также дороговизна используемых реагентов. Способ формирования присадки, разработанный диссертантом и подтвержденный патентом РФ, заключающийся в проведении на первом этапе полимеризации гексена в промышленном реакторе по хорошо известной технологии синтеза поли- α -олефинов, легко может быть реализован на практике. На втором этапе полученный после синтеза концентрированный раствор полимера без удаления растворителя сразу переводится в суспензионную консистенцию путем добавления слабополярного спирта и ингредиентов-стабилизаторов для полимерной дисперсии. Достоинством присадки коллоидной формы с дисперсионной средой на основе гексанола кроме её высокой противотурбулентной эффективности является ещё и то, что она имеет низкую температуру застывания (ниже минус 40 °С), что делает технологичным её применение в арктических условиях. Другим достоинством этой присадки является то, что полимер в ней имеет высокую дисперсность, а потому она быстро растворяется и может быть с технологическим эффектом применена в нефтепроводах небольшой протяженности.

Достоверность результатов и выводов. Научные результаты проведенного исследования диссертантом опубликованы в 5 статьях из списка ВАК и в 12 материалах докладов на международных и российских конференциях. Выдвинутые идеи и положения диссертации не противоречат теоретическим законам физической химии и базируются на естественнонаучной практике.

Экспериментальные исследования выполнены на современном и сертифицированном научном оборудовании с использованием аттестованных методик и согласуются с опубликованными экспериментальными данными отечественных и зарубежных ученых. Результаты исследований воспроизводимы и подтверждены статистической обработкой экспериментальных данных. Сделанные выводы корректны, теоретически и экспериментально обоснованы.

Общая оценка диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и трех приложений. В приложениях представлены результаты экспериментальных исследований, которые позволяют заинтересованным исследователям провести критическую и корректную оценку сделанных выводов не только на качественном, но и на количественном уровне. Диссертация изложена на 177 страницах и содержит список литературных источников из 133 наименований, 78 рисунков (13 рисунков в приложении) и 87 таблиц (65 таблиц в приложениях). Работа описана грамотным языком, четко и логично изложена.

Во введении обоснована актуальность работы, отражены цель и научные задачи работы, сформулирована научная новизна полученных результатов исследования и практическая значимость.

В первой главе приведен литературный обзор известного (опубликованного в российской и международной печати) экспериментального материала по явлению снижения гидродинамического сопротивления и его теоретическое осмысление. Проведен анализ влияния различных физико-химических характеристик растворов полимеров на величину эффекта Томса. Описаны многочисленные примеры практического применения полимеров для интенсификации турбулентного течения водных и углеводородных растворов, а также рассмотрены различные технологии получения противотурбулентных присадок. На основе проведенного анализа литературных источников сформулирована цель и основные этапы исследования.

Вторая глава включает в себя характеристику объектов исследования и описание использованных физико-химических и гидродинамических методов исследования. Поскольку в подавляющем большинстве публикаций, посвященных эффекту Томса, в основном описаны результаты исследования противотурбулентной эффективности водорастворимых полимеров, то достоинством этой главы является выбор в качестве основных объектов исследования нефтерастворимых полимеров и растворителей углеводородной природы. В заключительной части главы была сформулирована логичная методология, которой строго придерживался автор диссертации при выполнении работы.

В третьей главе представлены результаты исследования А.В. Абдусалымова, посвященные изучению влияния различных физико-химических параметров на величину эффекта СГДС, а именно: температуры и термодинамического качества растворителя, а также химической природы полимеров, молекулярной массы различных образцов и объемов их макромолекулярных клубков с иммобилизованным растворителем. Автор диссертации впервые экспериментально подтверждено, что при понижении температуры

противотурбулентная эффективность растворенных полимеров возрастает, а также обоснована новая трактовка экспериментально наблюдаемого факта уменьшения противотурбулентной эффективности полимерных растворов при их многократном прохождении через местные гидравлические сопротивления в трубопроводах. Предложенная трактовка в отличие от известных и традиционных представлений объясняет снижение эффективности добавок в турбулентном потоке при малом напряжении сдвига не столько деструкцией полимерных цепей и уменьшением их молекулярной массы, а деградацией полимерных растворов, которая сопровождается распадом надмолекулярных ассоциатов, состоящих из нескольких взаимно переплетенных макромолекулярных цепей.

В четвертой главе описаны противотурбулентные присадки растворной и суспензионной формы и сделан объективный вывод в пользу формирования коллоидных композиций присадок. Сформулированы критерии, которым должны соответствовать дисперсная фаза и дисперсионная среда формируемой присадки. Проанализированы термодинамические аспекты растворения полимеров и перевода истинных растворов в коллоидные системы. Сделано физико-химическое обоснование выбора гексанола в качестве дисперсионной среды и мелкодисперсного углерода (сажи) для стабилизации полученной суспензии полимера. Проведены исследования физико-химических и реологических свойств сформированной присадки коллоидной формы. Установлено, что перевод макромолекул из раствора в суспензию методом осаждения происходит без потери противотурбулентных свойств, что свидетельствует об отсутствии деструкции полимерных цепей.

В качестве *замечаний* по диссертационной работе можно отметить следующее:

1. В литературном обзоре работы недостаточно внимания уделено публикациям других исследователей, посвященных влиянию температуры на величину эффекта снижения гидродинамического сопротивления.
2. В главе 2 диссертации (стр. 41) в подписи к таблице 2.1 указана *молярная масса* образцов полимеров, а в самой таблице приведены значения *молекулярной массы*.
3. На рисунках 3.3 и 3.4 (диссертация, стр. 61 - 62) неправильно указана ссылка на источник [105]. Эти рисунки опубликованы в работе [109], соавтором которой является А.В. Абдусаламов.
4. На рисунке 3.15 (диссертация, стр. 78) неверно обозначена ось ординат. Поскольку при малом напряжении сдвига отсутствует деструкция полимерных цепей, а происходит распад ассоциатов из макромолекул, то на оси должен стоять обозначение $V_{Acc} \cdot 10^{-21}, \text{м}^3$.
5. В диссертации (стр. 97 - 100) приведены результаты исследований, из которых следует, что нефтяные смолы и асфальтены являются хорошими адсорбентами для полигексена. В таком случае непонятно, почему они не были использованы в качестве стабилизаторов дисперсии полимера.
6. Признавая удачным выбор технического углерода (сажи) в качестве ингредиента композиции, используемого для предотвращения флокуляции частичек полигексена, отсутствует детальное обоснование требований к дисперсности сажи.
7. Можно ли представить физико-химическую картину растворения в углеводородной жидкости сформированной Вами суспензионной присадки в виде процесса инверсии исходного сорбента (частичек полимера, в «оболочке» микрочастиц сажи) в конечный сорбат (наноразмерные макромолекулы полимера на поверхности частичек сажи)?

Сделанные замечания не влияют на положительную оценку выполненной работы в целом и не ставят под сомнения основные выводы. Автореферат и публикации диссертанта достаточно полно отражают содержание диссертационной работы. На основании анализа материала, представленного в диссертации, считаю, что в работе обобщен и проанализирован обширный объём экспериментальных результатов. Тема диссертационной работы актуальна, выводы и рекомендации обоснованы и являются новыми. Работа выполнена на достаточно высоком научном уровне. Полученные результаты расширяют фундаментальные знания для понимания физико-химических аспектов явления снижения гидродинамического сопротивления и создают научную основу для разработки технологии получения противотурбулентных присадок суспензионной формы.

Работа соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 в редакции от 21 апреля 2016 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор – Абдусаламов Артем Вячеславович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия.

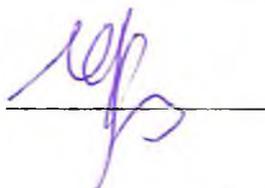
Официальный оппонент

доктор химических наук, профессор,

главный научный сотрудник ФГБУН ИППУ СО РАН

лаборатория зеленой химии

Кряжев Юрий Гаврилович



Почтовый адрес: 644040, г. Омск, ул. Нефтезаводская, 54

e-mail: carbonfibre@yandex.ru

Телефон: 8 (3812) 670450

Подпись Ю.Г. Кряжева заверяю

Ученый секретарь ФГБУН ИППУ СО РАН

«4» мая 2018 г.

к.х.н. Л.Ф. Сайфулина



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт проблем переработки углеводородов

Сибирского отделения Российской академии наук

Почтовый адрес: 644040, г. Омск, ул. Нефтезаводская, 54

Телефон: 8 (3812) 670-450

e-mail: direct@ihcp.ru

Сайт: www.ihcp.ru