

## ОТЗЫВ

на диссертацию «*Метод контроля целостности магистральных нефтепроводов без самотечных участков на основе гидродинамической волновой теории*», представленную *Низамутдиновым Русланом Ильдаровичем* на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

### 1. Актуальность темы диссертации

Производительность, грузооборот, дальность доставки и себестоимость перекачки углеводородного сырья определяют значимость магистральных нефтепроводов для экономики и безопасности РФ. Надежность, снижение аварийности и обеспечение безопасности транспортировки нефтегазопродуктов определяют ключевую роль развития способов диагностики состояния магистральных нефтепроводов – самого уязвимого звена на пути продуктов от буровой скважины до потребителя. Указанные способы, являются основным средством решения проблемы надежной, безаварийной и безопасной доставки транспортируемых продуктов. Отсюда вытекает экономическая и социальная значимость разработки и создания подобных средств.

На сегодняшний день не существует экономически и технически эффективных способов своевременного обнаружения и локализации умышленных и эксплуатационных повреждений магистралей, приводящих к утечкам транспортируемого продукта. В мировой и отечественной практике широкое распространение получило использование дорогостоящих систем обнаружения и локализации утечек (СОУ), в состав структуры которых входят разнообразные по используемым физическим принципам и реализациям диагностические и мониторинговые комплексы. Тем не менее, проблема остается далекой от своего окончательного решения.

В решении обозначенной проблемы можно выделить два основных направления. Во-первых, это методы и меры, обеспечивающие контроль магистралей по диагностике состояния перекачиваемого продукта в ходе эксплуатации без остановки процесса эксплуатации, либо при осуществлении профилактических технологических остановок указанного процесса. Во-вторых, это профилактические диагностические мероприятия, направленные на выявление и предотвращение незаконных работ и подключений еще на ранних стадиях их осуществления, т.е. диагностика несанкционированных действий. И, если решение задач второго направления сегодня видится исключительно в сфере применения методов виброакустического контроля (или подобных ему), то, несмотря на постфактумный характер мер, принимаемых в рамках первого из упомянутых направлений, решение задач во втором из указанных направлений является до сих пор чрезвычайно актуальным.

Это связано, в первую очередь, с недостаточной проработанностью вопросов вибродиагностики рассматриваемых систем, с отсутствием на сегодняшний день достаточно обоснованных физико-математических диагностических моделей, в то время, как эксплуатационная практика требует решения проблемы сегодня и сейчас.

Сказанное обуславливает огромную практическую значимость и актуальность работ, по созданию диагностических комплексов в рамках первого из упомянутых направлений. Представленная диссертационная работа претендует на решение задач именно этого направления. В этом состоит актуальность и практическая значимость вопросов, рассматриваемых в диссертации.

## **2. Научная новизна и результаты работы**

В основу математического описания состояния нефтепровода соискателем положены хорошо известные линеализованные динамические уравнения движения Эйлера для течения вязкой слабо сжимаемой жидкости в однородном канале. Процесс течения жидкости в канале рассматривается в отсутствии вихревых турбулентных течений и в виде квазистатического процесса, при котором потери энергии при протекании жидкости через любой элемент гидравлической системы пропорциональны квадрату скорости жидкости, а также в предположении, что вблизи каждого, изменяющегося во времени, квазистационарного состояния скорость течения по всему сечению потока одинакова и равна среднерасходной скорости.

Хорошо известно, что в рамках указанных предположений состояния рассматриваемой системы описываются суперпозицией прямых и обратных плоских волн давления и скорости. Еще в 1860 г. Риманом был предложен метод интегрирования указанных уравнений, основанный на использовании величин, получивших название инвариантов Римана. Введение этих инвариантов предоставило возможность заменить процедуру интегрирования уравнений в частных производных на процедуру численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений 1-го порядка для семейств кривых постоянных фаз указанных плоских волн на плоскости «координата – время» – семейств прямых и обратных характеристик. Сегодня имеется детальный анализ подобных уравнений, а также графоаналитического метода их численного решения, анализ, учитывающий разрывы, возникающие в потоке при работе насосных установок, а также при рассеянии упомянутых волн в местах утечек как при задании определенных начальных, так и при задании определенных краевых условий (Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П., Лойцянский Л.Г., Станюкович К.П. и их ученики). Результаты этого анализа лежат в основе ряда методов диагностики состояний нефтепроводов, упомянутых соискателем в его обзоре.

Результаты упомянутого анализа положены также и соискателем в основу системы имитационного моделирования потока в нефтепроводе, содержащей математическое обоснование, алгоритмы и программные средства получения численных результатов. Соискателем разработаны схема, алгоритмы и программное обеспечение для решения уравнений характеристик при краевых условиях, описывающих работу нефтеперекачивающей станции и постоянство давления на противоположном конце магистрали. Осуществлено численное решение с помощью разработанных средств, произведена оценка погрешности полученного решения. Выполнено сравнение численных результатов с результатами измерений на стенде, показавшее хорошее согласие представленных данных.

Подготовленная таким образом система имитационного моделирования использовалась соискателем для моделирования течения в условиях искусственного создания скачка давления на конечном конце магистрали – гидроудара регулируемой амплитуды. В таком случае регистрация момента прихода волны давления, отраженной от места скачка давления, имеющего место в месте утечки, предоставляет возможность обнаружения самого места утечки. Формулировка соискателем необходимых для этого случая начальных и краевых условий, выполненное им численное имитационное модельное исследование дало возможность получить:

- зависимости времени прихода упомянутой волны давления (времени обнаружения утечки) от размера области утечки,
- зависимость местоположения утечки от ее интенсивности;
- зависимости предельной интенсивности утечки от скорости перекачки для различных скачков давления;
- зависимости предельной интенсивности утечки от вязкости перекачиваемого продукта

и ряд других.

Результаты приводимого в работе модельного исследования позволили соискателю обоснованно утверждать, что им найден новый метод контроля целостности магистрали. Установленные новые зависимости и их анализ достаточно полно отвечают на вопросы:

- о влиянии местоположения утечки на подобную идентификацию утечки,
- о влиянии расхода перекачки на предложенную идентификацию утечки,
- о возможности идентификации утечки различных перекачиваемых продуктов,
- о влиянии чувствительности датчиков обнаружения на идентификацию,
- о влиянии размеров магистрали на параметры идентификации.

Важным достоинством разработанных соискателем метода и методики является незначительность капиталовложений, необходимых для их применения

### **3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Сказанное о полученных результатах позволяет сделать вывод о том, что соискателем:

– на основании положений современной теории нестационарного течения слабо сжимаемой вязкой жидкости, на основании достаточно полно исследованного ранее и опробованного на практике метода решения уравнений динамики такой жидкости – метода характеристик – разработана система имитационного моделирования течений в магистральных нефтепроводах, содержащая математические модели рассматриваемых течений, алгоритмы и программное обеспечение для численной реализации упомянутых моделей;

– выполнены экспериментальные исследования и сравнение их с полученными численными результатами, убеждающие в работоспособности разработанной системы и достоверности ее результатов;

– с помощью разработанной им системы осуществлено имитационное моделирование течений, возникающих при искусственном формировании сканирующих магистраль волн давления при различных значениях параметров магистрали, перекачиваемого продукта, искусственно создаваемых волн давления, а также параметров, характеризующих возможности регистрации результатов сканирования.

*Результаты указанных модельных экспериментов и сравнение их с натурными убеждают в достаточной обоснованности и достоверности разработанной соискателем новой методики идентификации утечек в рассматриваемых им магистралях и разработанного им нового метода, рекомендаций по использованию этой методики и метода.*

Основные положения диссертационной работы и ее результаты докладывались и обсуждались на международной конференции, опубликованы, разработанные методика и метод приняты к использованию.

### **4. Замечания по работе**

По существу рассматриваемой работы необходимо сделать следующие замечания:

4.1. Обоснование выбранной соискателем физической модели течений в канале содержится в работах, на которые ссылается соискатель. Соискателю следовало бы в тексте работы четко и ясно выделить те физические допущения и ограничения, которые лежат в основе уравнений, описывающих выбранную им математическую модель описания течений в магистрали. Так, например, следовало выделить условия одномерного описания те-

чений, малости возмущений, делающих возможность рассмотрения линеаризованных уравнений, квазистационарности состояний, ограничения, наложенные на характер течений в виде ограничений на число  $Re$ , числа Маха и другие подобные утверждения.

4.2. В обзоре технического состояния магистральных нефтепроводов, представленном соискателем, указывается на неудовлетворительное состояние внутренних стенок нефтепроводов. Упомянутые дефекты неизбежно должны приводить к наличию турбулентных (вихревых) структур в составе потоков. При рассмотрении математической модели, а также при анализе результатов вопрос о том, почему в ходе имитационного моделирования можно пренебречь влиянием подобных структур не рассматривается.

4.3. При описании численных модельных экспериментов на стр 74-75 диссертации соискатель пишет «Эксперименты носили собой идеальный характер, поскольку на применяемом измерительном оборудовании отсутствовала погрешность. Тем самым нам удалось определить с абсолютной точностью значения скорости и давления в любой точке магистрального нефтепровода».

Однако всегда, даже при проведении «чистого» численного эксперимента, «абсолютной» точности (нулевой предельной абсолютной погрешности) добиться **никогда** не возможно. Предельная абсолютная погрешность такого эксперимента всегда складывается из а) погрешности вычислений и б) погрешности метода. В первом случае наличие нулевой предельной абсолютной погрешности означало бы наличие знания значений бесконечного числа десятичных разрядов любой вычисляемой величины, что принципиально невозможно, а также хотя бы и потому, что в выполняемых вычислениях в рамках той или иной физической модели всегда присутствуют те или иные физические константы, определяемые всегда с конечным числом верных значащих цифр. Во втором из указанных случаев погрешность складывается, с одной стороны, из погрешности, вызываемой принимаемыми допущениями рассматриваемой физической модели (и эта погрешность может быть оценена только при сравнении результатов моделирования с натурными испытаниями), а с другой стороны определяется процедурой конкретной численной реализации метода решения уравнений модели (в данном случае, метода характеристик). Соискатель сам, оценивает точность такого решения в 0,6% (см. стр. 64).

Представленная работа, в целом, понятна по содержанию и написана достаточно грамотно, хотя следует отметить наличие ряда языковых неточностей (стр. 58, 62, 64 диссертации, стр.3, 12 и некоторые другие).

## 5. Заключение

Анализ представленной соискателем Низамутдиновым Русланом Ильдаровичем диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук «Метод контроля целостности магистральных нефтепроводов без самотечных участков на основе гидродинамической волновой теории», автореферата указанной диссертации, а также работ, опубликованных соискателем, позволяет утверждать, что названная диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится научно обоснованная разработка новой системы имитационного моделирования, новых метода и методики контроля целостности магистральных нефтепроводов без самотечных участков, т.е. по-новому решена актуальная научно-техническая задача защиты и предотвращения аварийности подобных технических систем, имеющая существенное значение для экономики и развития РФ. **Диссертация** написана грамотно и достаточно понятно, **соответствует критериям**, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 с изменениями, утвержденными постановлением Правительства РФ от 21.04.2016 № 335). Сам **соискатель**, Низамутдинов Руслан Ильдарович, **заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук** по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Официальный оппонент:  
кандидат технических наук, доцент

Сепп Юрий Иосифович

Место работы и должность:  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», кафедра «Робототехники и автоматизации производственных систем», доцент

Адрес: 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, дом 5

Контактные данные:  
эл. почта – yurij.sepp@gmail.com,  
тел. – +7 (921) 993-27-13

17 марта 2017 г.



РУКИ  
ЗАВЕРШЕНО  
КУПРИЯНОВА  
2017 г.