

УТВЕРЖДАЮ

ВРИО директора, заведующий
отделом трубопроводных систем
энергетики № 50 ИСЭМ СО РАН,
чл.-корр. РАН

Стенников Валерий Алексеевич



ноября 2017 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации «Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук» (ИСЭМ СО РАН) на диссертационную работу Тарасевича Владимира Владимировича «Развитие теории и методов расчета гидродинамических процессов в напорных трубопроводных системах», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.16 – «Гидравлика и инженерная гидрология»

Актуальность темы исследования

Актуальность и важность темы исследования обусловлена большим распространением напорных трубопроводных систем (ТПС) различного типа (тепло-, водоснабжения, технологического назначения, гидроприводов испытательных стендов в авиации и машиностроении, гидротехнических сооружений, теплоэнергетических установок и др.), занимающих важное положение в энергетике, водном хозяйстве, промышленности, жилищно-коммунальной сфере и других отраслях экономики.

Надежность и безопасность функционирования трубопроводных и гидравлических систем в решающей степени зависит от грамотной организации систем защиты от гидроударов, базирующейся на применении методов расчета и анализа нестационарных режимов. Качество таких расчетов, в свою очередь, зависит от степени адекватности применяемых моделей реальным физическим процессам, точности численных методов. В связи со сложностью процессов нестационарного потокораспределения в ТПС сетевой структуры, разнообразием ТПС и их элементов, наличием множества факторов, требующих специального учета и дополнительных исследований (например, кавитационных явлений) – окончательное решение данной проблемы до настоящего времени отсутствует.

В связи с этим актуальность темы диссертации Тарасевича В.В. направленной на: 1) повышение степени такой адекватности; 2) получение результатов, имеющих общее теоретическое и прикладное значение для ТПС различного типа и назначения; 3) обеспечение рационального сочетания вычислительной эффективности численных методов и точности получаемых результатов; 4) расширение области применимости методов расчета нестационарных режимов на новые объекты – не вызывает сомнений.

Общая характеристика работы

Основной текст диссертации состоит из введения, 7 глав и заключения, содержит 97 рисунков, списка литературы (229 наименований), изложен на 231 страницах. Стил ь изложения ясный, грамотный, систематический, снабжен большим числом иллюстраций, способствующих лучшему пониманию результатов.

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулирована цель, задачи и научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту положения.

В первой главе «Обзор и анализ работ по теме диссертации» представлен анализ предметной области по признакам: типов объектов моделирования; истории развития методов и моделей; типов возникающих теоретических проблем. В том числе, констатируется «ведомственная» разобщенность (по отраслям экономики и типам систем) научных школ, приводящая к дублированию исследований при одновременном наличии целого спектра нерешенных задач. На этом фоне формулируются цели и задачи диссертации.

Вторая глава «Постановка задачи о нестационарных процессах в трубопроводных системах» начинается с описания области определения уравнений гидродинамики в ТПС на языке теории графов. На основе одномерных законов сохранения массы, импульса и энергии выводятся дифференциальные уравнения, описывающие течение жидкости в трубах, а также даются их представления в характеристической форме и в инвариантах Римана. Впервые разработана модель гидравлического удара в коаксиальных трубопроводах. Показано, что в этом случае существуют две волны гидравлического удара, распространяющихся в одном направлении, и две волны – в противоположном.

В третьей главе «Математические модели работы гидравлического оборудования» приводятся математические модели узлов и наиболее распространенного оборудования ТПС (компенсатор, аккумулятор, уравнительный резервуар, местные сопротивления, автоматические

регуляторы, насосы и др.). Математические модели этих элементов используются для сопряжения решений по примыкающим трубопроводам и с граничными условиями. Приведены требования корректности задания граничных условий. Предлагается систематизация этих разнородных моделей на основе объектно-ориентированного подхода, обеспечивающего удобство их применения в программных реализациях.

Четвёртая глава «Разрыв сплошности потока при гидравлическом ударе» посвящена вопросам возникновения кавитации (разрыва сплошности потока), которая проявляется в виде мелких пузырьков и/или крупных пузырей при значительном понижении давления при гидравлическом ударе. При схлопывании этих каверн возникает повышение давления, которое может привести к разрушению трубопроводов и оборудования гидравлической системы. Для случая без учета трения предложены новые аналитические зависимости для определения времени жизни каверны и максимального давления после ее схлопывания. Впервые установлено явление вторичной кавитации и предложены формулы для определения местоположения и момента возникновения вторичных каверн. Для случая учета трения получена приближенная формула для оценки максимального напора (давления) после схлопывания каверны, обобщающая формулу Н.Е.Жуковского.

Пятая глава «Расчеты гидравлического удара в трубопроводных системах на основе схем бегущего счета» посвящена методике вычислений, приводятся примеры расчета. На фоне сравнительного анализа достоинств и недостатков известного метода характеристик, а также явных и неявных схем бегущего счета, автором предложена новая комбинированная (явно-неявная) вычислительная схема, преимущества которой иллюстрируются на примере сложной системы технологических трубопроводов АЭС большой размерности. В рамках этой схемы автору удалось преодолеть традиционную проблему соблюдения дискретности числа шагов по длине в условиях разномасштабности трубопроводных участков в сложной ТПС. Предложены способы унификации расчетных алгоритмов для случаев возможного возникновения быстропротекающих явлений разрыва сплошности потока. Предложена модифицированная схема бегущего счета (явная) для случая коаксиальных трубопроводов, особенностью которой является возможность учета двух прямых и двух обратных волн.

Шестая глава «Упрощенные методы расчета нестационарных процессов в гидросистемах на основе моделей с сосредоточенными параметрами» посвящена вопросам упрощения моделей нестационарных режимов сложной сетевой структуры ТПС в целях повышения быстродействия расчетов. Автор рассматривает две возможности: 1) сведения моделей с распределенными параметрами к моделям с сосредоточенными параметрами; 2)

эквивалентирования расчетных схем ТПС в условиях их описания моделями с сосредоточенными параметрами. Предложено три варианта получения моделей с сосредоточенными параметрами, выполнены численные эксперименты по их сопоставлению между собой и с эталонными моделями гидроудара. Выделены области предпочтительного применения этих моделей с точки зрения точности расчетов. Наибольшую адекватность для широкой области применения показала предложенная модель обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка. Предложены и обоснованы способы эквивалентирования последовательно-параллельных соединений трубопроводов для понижения размерности расчетных схем ТПС. Показано удовлетворительное совпадение расчетов для исходной и эквивалентной моделей.

В седьмой главе «Имитационное моделирование» описан оригинальный подход, названный «математическим испытательным стендом». Основная идея состоит в исследовании отдельных частей системы с заменой связей с остальной системой сигналами в форме инвариантов Римана и в целях выявления особенностей поведения этих частей без выполнения многовариантных расчетов большой трудоемкости для системы целиком. Другое преимущество этого подхода состоит в возможности исследования отдельных элементов ТПС (например, сложных регулирующих узлов) с целью выявления существенных характеристик их поведения с последующим применением в расчетах ТПС, содержащих эти элементы. Это позволяет не только повысить эффективность расчетов, но и уменьшить потребности в объеме и качестве информации о параметрах и характеристиках таких элементов.

В заключении приводится сводка основных выводов и результатов работы.

Научная новизна. Наиболее важными и новыми результатами являются следующие:

1. Впервые выполнено теоретическое исследование процессов разрыва сплошности потока, позволившее получить конечные аналитические соотношения для условий и параметров этого явления.
2. Впервые разработана модель гидравлического удара в коаксиальных трубопроводах, учитывающая взаимодействие потоков во внутренней и обсадной трубах, в том числе, через стенку внутренней трубы.
3. Предложена новая явно-неявная схема расчета нестационарных режимов в ТПС сетевой структуры, в рамках которой удалось преодолеть проблему гарантированной точности расчетов независимо от соотношения длин отдельных трубопроводных участков системы.
4. Предложены оригинальные способы описания ТПС моделями с сосредоточенными параметрами и понижения их размерности путем

эквивалентирования, что дает возможность проведения «быстрых» расчетов больших систем.

5. Предложен оригинальный подход («математический стенд»), позволяющий моделировать и исследовать поведение отдельных частей и элементов системы в нестационарных режимах без расчета остальной части.

Степень достоверности и обоснованности результатов и выводов, а также научных положений и рекомендаций обеспечена: 1) квалифицированным и корректным использованием методов исследования (математический и вычислительный эксперимент, теория и методы математической физики, гидродинамики, трубной гидравлики и др.); 2) согласованностью полученных результатов тестирования предложенных подходов и методов с аналитическими решениями, результатами натурных экспериментов, полученными различными авторами; 3) апробацией основных положений и результатов диссертации на многочисленных семинарах и конференциях специалистов по профилю диссертации.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическое значение полученных результатов проявляется одновременно в двух направлениях: 1) обобщение и систематизация ранее полученных результатов разных научных школ для разных типов гидравлических и трубопроводных систем; 2) углубление понимания и математического описания процессов гидравлического удара. Данная работа вносит существенный вклад в теорию гидравлических цепей в части расширения спектра моделей и методов анализа нестационарного потокораспределения в ТПС сложной структуры и конфигурации.

Прикладное значение полученных результатов состоит в: 1) повышении надежности и качества проектирования систем защиты ТПС от гидроударов; 2) повышении производительности и эффективности труда специалистов проектных организаций, разрабатывающих такие системы; 3) потенциальной возможности применения для анализа качества настройки систем автоматического управления и определения рациональных параметров настройки; 4) разработки регламентов по темпам внесения управлений при эксплуатации и централизованном диспетчерском управлении ТПС. Разработанные модели и методы имеют широкую сферу применения для ТПС коммунального хозяйства, энергетики, машиностроения, водного хозяйства и т.д. Результаты работы в виде программных реализаций уже имеют серьезные внедрения в промышленности, а методические – в учебном процессе, о чем свидетельствуют акты о внедрении.

Соответствие паспорту научной специальности

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.23.16 – «Гидравлика и инженерная гидрология» и отвечает формуле специальности по следующим пунктам областей исследования:

П.1 – «Научные основы равновесия, движения и взаимодействия жидкостей и газов, закономерности движения обычных, взвесенесущих, аэрированных и стратифицированных потоков, прогнозирование их характеристик и кинематической структуры».

П.2 – «Стационарные и нестационарные течения жидкости в трубах, каналах, естественных и искусственных руслах, гидротехнических сооружениях различного назначения, взаимодействия потоков с обтекаемыми и граничными поверхностями, телами и сооружениями, гидравлические сопротивления».

Замечания по диссертационной работе и автореферату

1. Результаты работы имеют значительную теоретическую актуальность и практическую значимость, однако во введении автореферата и диссертации эти пункты не раскрыты.

2. В положениях, выносимых на защиту, п.1 и п.6 сформулированы слишком широко, и в представленном виде не могут претендовать на новизну. Нужно уточнение, что они касаются моделирования нестационарных гидравлических процессов.

3. В работе выполнен достаточно полный анализ отечественного и классического зарубежного опыта, однако отсутствуют упоминания современных зарубежных результатов, где часто предлагаются альтернативные подходы и методы, например, метод контрольного объема.

4. В гл.2, которая называется «ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ... В ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ» приведены модели только трубопроводов, а модели других элементов (насосы, регуляторы и т.д.) приведены в гл.2.

5. В гл. 6 нет формализации условий применимости предложенных моделей с сосредоточенными параметрами (когда их можно применять и какова погрешность).

6. Результаты расчетов по гл.7 «ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ» никак не прокомментированы.

7. Нет описания программных реализаций и их возможностей (типы ТПС, размерность, быстродействие и др.).

8. В тексте диссертации имеются отдельные некорректности и опечатки. Так применяются разные единицы измерения одних и тех же физических величин (например, для давления МПа и *атм* на стр.41, 70), во введении диссертации указывается, что результаты исследований опубликованы более чем в 40 печатных работах автора, в автореферате говорится о 110 печатных работах.

Заключение

Сделанные замечания не снижают общей, весьма высокой оценки работы. Диссертационная работа Тарасевича Владимира Владимировича представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, обладающую внутренним единством, содержащую новые результаты и решения в области проблемы обеспечения надежности и безопасности трубопроводных систем, имеющей важное социально-экономическое и хозяйственное значение. Она удовлетворяет критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученых степеней (пункты 9, 10, 11, 13 и 14 раздела «II. Критерии, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней» постановления правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842).

Диссертационная работа соответствует специальности 05.23.16 – «Гидравлика и инженерная гидрология», поставленная цель соответствует полученным результатам, содержание автореферата и опубликованные работы соответствуют содержанию диссертации. Научные положения, выносимые на защиту достаточно полно отражены в более чем 40 опубликованных работах, из них 13 в изданиях, рекомендованных ВАК.

Тарасевич Владимир Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.16 – «Гидравлика и инженерная гидрология».

Доклад Тарасевича Владимира Владимировича по теме диссертации заслушан и обсужден, отзыв рассмотрен и утвержден на открытом заседании отдела трубопроводных систем энергетики № 50 (с привлечением сотрудников лаборатории динамики парогенерирующих систем) ИСЭМ СО РАН, протокол №2 от «20» ноября 2017 г. Присутствовало 20 человек. Голосовали: «за» – 20 человек, «против» – 0 человек, «воздержались» – 0 человек.

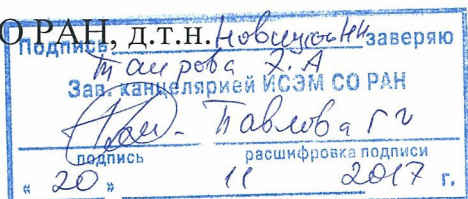
Отзыв подготовили:

Главный научный сотрудник,
зав. лаб. трубопроводных и
гидравлических систем №51

ИСЭМ СО РАН, д.т.н. Новицкий Николай Николаевич

Подпись

Новицкий
Николай
Николаевич



Главный научный сотрудник
ИСЭМ СО РАН, д.т.н.

Дата

Подпись

Таиров Эмир
Асгадович

Сведения об организации

«Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук» (ИСЭМ СО РАН)

Адрес: 664033, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 130

Телефон: +7 (3952) 500-646

Факс: +7 (3952) 42-67-96

Email: info@isem.irk.ru