

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу
Тарасевича Владимира Владимировича
«Развитие теории и методов расчета гидродинамических процессов в
напорных трубопроводных системах»,
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальности 05.23.16 – Гидравлика и инженерная гидрология.

Актуальность темы работы обусловлена большой распространённостью, разнообразием и важностью объектов, которые можно отнести к трубопроводным системам. Объектами такого рода могут быть гидроприводы различных машин и механизмов, тепловые и водопроводные сети, системы технологических трубопроводов АЭС, магистральные трубопроводы и т.п.

Большое значение имеют вопросы надёжности функционирования таких систем. Для достоверного прогноза необходимо знание параметров системы для всего спектра возможных режимов и аварийных ситуаций; такие знания в необходимом объёме возможно получить только путём вычислительных экспериментов, что требует разработки соответствующих алгоритмов и методов расчёта.

Кроме того остаются нерешёнными или недостаточно проработанными многие теоретические вопросы, в частности, гидравлический удар, сопровождающийся разрывом сплошности потока; гидравлический удар в коаксиальных трубопроводах и др.

Достоверность выводов и результатов, приведенных в работе, не вызывает сомнений. В диссертации используется строгий математический аппарат, предлагаемые методы и алгоритмы апробированы на практике; систематическое сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными демонстрирует хорошую степень согласования.

Диссертационная работа Тарасевича В.В. содержит **новые**, оригинальные результаты, представляющие собой как теоретические достижения (теория гидравлического удара, сопровождающегося разрывом сплошности потока; гидравлический удар в коаксиальном трубопроводе; применение моделей с сосредоточенными параметрами для описания нестационарных процессов в трубопроводной системе), так и вклад в развитие алгоритмов и методов расчета нестационарных процессов в сложных трубопроводных системах, использовавшихся в расчетах конкретных объектов.

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».

Работа состоит из введения, 7 глав и заключения, содержит 97 рисунков, списка литературы (229 наименований), изложена на 231 страницах. Стил ь изложения ясный, грамотный, 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 работ по теме, систематизированный по типам объектов моделирования; истории развития методов и моделей; теоретическим проблемам. Отмечается «ведомственная» разобщенность научных школ, что ведёт к дублированию исследований. Из проведённого анализа вытекают цели и задачи диссертации.

Во **второй главе** «Постановка задачи о нестационарных процессах в трубопроводных системах» приводится описание области определения, при этом в качестве обобщения оси « x » выступает одномерный комплекс, топологическая структура которого описывается ориентированным графом. Дифференциальные уравнения, описывающие течение жидкости в трубах, выводятся на основе одномерных законов сохранения массы, импульса и энергии. Основные уравнения приводятся также в характеристической форме и в инвариантах Римана. Впервые разработана связная система четырёх уравнений, описывающая гидравлический удар в коаксиальных трубах. Показано, что в этом случае существуют две волны гидравлического удара, распространяющихся в одном направлении, и две волны — в противоположном.

Третья глава «Математические модели работы гидравлического оборудования» содержит математические модели наиболее распространенного оборудования (компенсатор, аккумулятор, уравнильный резервуар, местные сопротивления, автоматические регуляторы, насосы и др.). Математические модели этих элементов используются в качестве граничных условий. Объектно-ориентированный подход позволяет систематизировать разнообразие этих моделей, что обеспечивает удобство программных реализаций.

В **четвёртой главе** «Разрыв сплошности потока при гидравлическом ударе» на модельном примере исследуется такое явление как возникновение кавитации (разрыва сплошности потока) при значительном понижении

давления при гидравлическом ударе. При схлопывании каверн возникает повышение давления, которое может привести к разрушению трубопроводов и оборудования гидравлической системы. Предложены новые аналитические зависимости для определения времени жизни каверны и максимального давления после ее схлопывания (без учета трения). Впервые установлено явление вторичной кавитации и определено местоположение и момент возникновения вторичных каверн. Для реальной жидкости (с учётом трения) найдено приближённое решение для оценки максимального напора (давления) после схлопывания каверны, обобщающее формулу Н.Е.Жуковского.

В **пятой главе** «Расчеты гидравлического удара в трубопроводных системах на основе схем бегущего счета» разработано семейство методов расчета на основе разностных схем бегущего счета. Автором предложена новая комбинированная (явно-неявная) вычислительная схема, преимущества которой иллюстрируются на примере сложной системы технологических трубопроводов АЭС большой размерности. Описана методика расчёта гидравлического удара с учётом возможного возникновения разрыва сплошности потока. Предложена модифицированная схема бегущего счета (явная) для случая коаксиальных трубопроводов.

В **шестой главе** «Упрощенные методы расчета нестационарных процессов в гидросистемах на основе моделей с сосредоточенными параметрами» автором предложен подход к упрощению применяемых моделей нестационарных режимов в сложной трубопроводной системе на основе моделей с сосредоточенными параметрами. Описываются интегрированные модели с сосредоточенными параметрами первого и второго порядков; путем сопоставительных расчетов исследованы особенности применяемых подходов. Отмечено, что модели второго порядка точности предпочтительнее, т.к. обеспечивают более адекватное воспроизведение процессов как по амплитуде, так и по частоте. На основе применения моделей с сосредоточенными параметрами автором предложена процедура эквивалентирования трубопроводной системы, значительно упрощающая структуру исходной системы без существенного снижения точности расчётов.

Седьмая глава «Имитационное моделирование» содержит описание оригинального подхода, названного автором «математический испытательный стенд». Этот подход даёт возможность исследования отдельных элементов трубопроводных систем (например, сложных регулирующих узлов) с целью выявления существенных характеристик их поведения без выполнения многовариантных расчетов большой трудоемкости для системы целиком. Подход опирается на замену связей исследуемого блока с «внешней» частью системы обменом волнами — «сигналами», в качестве которых выступают инварианты.

В **заключении** приводится сводка основных выводов и результатов работы.

Следует отметить современный стиль работы Тарасевича В.В., которая содержит всю технологическую цепочку прикладного научного исследования: «постановка проблемы — разработка математических моделей — разработка алгоритмов и методов решения — создание соответствующего программного обеспечения — решение практических задач».

Замечания по работе.

1. Используемая в работе «гипотеза стационарности» не всегда даёт адекватный результат. В некоторых случаях в действительности наблюдается более сильное ослабление давления и замедление частоты процесса по сравнению с результатами расчета на основе «гипотезы квазистационарности».
2. Для расчётов нестационарных процессов автор ограничился только методами первого порядка точности и не привлекает более точные методы высшего порядка точности.
3. Не указана роль соавторов в некоторых совместных публикациях.

Отмеченные недостатки не снижают общую высокую оценку работы. Она выполнена на высоком научном уровне, хорошо оформлена. Автореферат отражает основные положения диссертационной работы, материалы диссертации достаточно полно освещены в публикациях автора.

В целом диссертационная работа Тарасевича В.В. «Развитие теории и методов расчета гидродинамических процессов в напорных трубопроводных системах» представляет собой целостное научное исследование, в котором автором разработаны теоретические основы, методы и алгоритмы, имеющие важное хозяйственное значение.

Считаю, что диссертационная работа Тарасевича В.В. «Развитие теории и методов расчета гидродинамических процессов в напорных трубопроводных системах» соответствует «Положению о порядке присуждения ученых степеней». Автор работы Тарасевич Владимир Владимирович достоин присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.16 – Гидравлика и инженерная гидрология.

Официальный оппонент,
главный научный сотрудник
ФГБУН Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
Сибирского отделения Российской академии наук,
доктор физико-математических наук,
профессор



А.Ф.Воеводин