

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ – от прошлого к будущему

На пути к новой Гидросистеме



Гидравлика трубопроводов – древняя и молодая наука

Гидравлический расчет трубопроводов – одна из старейших инженерных задач в истории человечества. С появления примерно три с половиной тысячи лет назад первых водопроводов и до наших дней с этой задачей обязательно сталкивается любой проектировщик трубопроводов. Казалось бы, в этой области всё уже должно быть изучено вдоль и поперек, где тут место научным открытиям и новым разработкам. Как глубоко заблуждаются те, кто так думает!

Научные основы гидравлических расчетов были заложены только в XVIII-XIX веках, вместе со становлением механики жидкости и газа, и неразрывно связаны с именами основоположников современной механики – Даниила Бернулли (уравнение Бернулли для течения жидкости), Жана Луи Мари Пуазейля (закон ламинарного течения Гагена-Пуазейля), Осборна Рейнольдса (число Рейнольдса, определяющее режим течения) и многих других. С открытием закона квадратичного турбулентного течения (уравнения Дарси-Вейсбаха) задача гидравлического расчета трубопроводов обретает точную математическую формулировку.

Уравнения, описывающие даже простейший случай однофазного установившегося изотермического течения в разветвленном трубопроводе, существенно нелинейны, и задача их эффективного решения далеко не тривиальна. Первый эффективный инженерный метод их решения – метод поконтурной увязки Лобачева-Кросса (в западной лите-

Уважаемые пользователи программ "Гидросистема" и "Поток-1Ф"! Возможно, читая в журнале CADmaster статьи о таких новых программах НТП "Трубопровод", как "Изоляция" и "Пассат", о быстро развивающемся семействе СТАРТ, программах СТАРС и "Предклапан", вы могли подумать: "А как же мы? Когда же "Трубопровод" вспомнит о нас, одном из самых больших сообществ пользователей его программ? Неужели он потерял интерес к гидравлическим расчетам?"

Нет ничего дальше от истины! Все это время мы активно работали и продолжаем работать над новым поколением программ гидравлических расчетов. Пришло время приподнять завесу тайны над нашими планами, поделиться с вами тем, каким мы видим дальнейший путь развития наших программ, услышать ваши пожелания и предложения. А чтобы лучше понять будущее, предварим наш рассказ небольшим экскурсом в прошлое.

ратуре называемый просто методом Харди Кросса) – был предложен в 30-х годах прошлого века и до сих пор широко используется в ручных инженерных расчетах.

Разнообразие и сложность задач, возникающих в области гидравлического расчета и оптимального выбора параметров трубопроводных систем, являются своеобразным вызовом работающим в этой области специалистам. Исследования и разработки в этой области продолжают развиваться по нарастающей в таких направлениях, как:

- накопление опытных данных и математическое описание по гид-

равлическим сопротивлениям

- при различных режимах течения;
 - совместный тепловой и гидравлический расчет;
 - расчет многофазных течений;
 - течение неньютоновских жидкостей;
 - расчет переходных процессов и гидроударов в трубопроводных системах;
 - решение задач оптимизации параметров трубопроводов при проектировании;
 - моделирование, расчет и управление трубопроводами в реальном времени
- и многих других.

Надо сказать, что отечественные ученые и инженеры всегда были на передовом рубеже этой работы – начиная от выдающегося российского инженера В.Г. Шухова, заложившего основы гидравлического расчета нефтепроводов и предложившего известную формулу падения температуры продукта в трубопроводе (формула Шухова). Среди наших соотечественников – основоположники теории гидравлических цепей В.Я. Хасилев и А.П. Меренков, создавшие научные основы применения ЭВМ для гидравлических расчетов трубопроводов; И.Е. Идельчик, составивший и опубликовавший мировой бестселлер – до сих пор непревзойденный по качеству и охвату справочник гидравлических сопротивлений. Традиции отечественной научной школы не прерываются, и многие разработчики НТП "Трубопровод" имеют честь быть учениками М.Г. Сухарева – одного из ведущих российских специалистов в области математического и компьютерного моделирования трубопроводных систем нефти и газа.

С появлением ЭВМ стали возможны гидравлические расчеты и решение задач оптимизации очень больших трубопроводных систем масштаба предприятий, населенных пунктов и даже целых регионов и стран, для чего понадобились намного более эффективные методы решения. Были разработаны значительно усовершенствованные модификации и комбинации традиционных методов гидравлических расчетов, ориентированных на ручные расчеты. Важным и совсем недавним прорывом в этом направлении стали работы одного из ведущих современных специалистов в области гидравлики и гидрологии Эзюо Тодини¹ – в частности, изобретение им в 1988 году так называемого "градиентного" алгоритма (Global Gradient Algorithm – GGA). Данный алгоритм, сочетающий быструю сходимость метода контурных расходов с простотой метода узловых давлений, уже нашел широкое применение в расчетах водопроводных и других инженерных наружных сетей.

Среди самых многообещающих и удивительных направлений, возник-

ших в области гидравлических расчетов трубопроводов за последние десять лет, – применение так называемых "генетических алгоритмов"², моделирующих процесс эволюции, мутаций и естественного отбора для решения задач калибровки моделей реальных трубопроводов и оптимизации параметров (выбора диаметров) трубопроводных систем³.

Из истории программы "Гидросистема"

В области создания коммерческих инженерных программ и систем САПР почти не бывает быстрых успехов. Чтобы получить известность и уважение на этом рынке, нужна многолетняя и планомерная работа по совершенствованию, внедрению и поддержке программы. Это в полной мере относится и к программам гидравлических расчетов трубопроводов.

Все по-настоящему известные коммерческие программы в этой области (как отечественные, так и западные) имеют многолетнюю историю, истоки которой относятся к 70-м, а то и более ранним годам прошлого века. Не является исключением и программа гидравлического расчета НТП "Трубопровод".

Коллектив "Трубопровода" (в то время лаборатории трубопроводных систем института ВНИПИнефть) занялся программами гидравлических расчетов сразу как только началось внедрение ЭВМ в проектных институтах – считая их одной из основ проектирования трубопроводов. В конце 70-х были составлены первые методики и разработаны программы гидравлического и теплового расчета для "Минска-32", а затем и для ЕС ЭВМ. Эти программы предназначались прежде всего для проектных нужд ВНИПИнефти и были ориентированы на расчет технологических трубопроводов нефтепереработки и нефтехимии.

Особенности технологических трубопроводов состоят в том, что они, как правило, не содержат колец (имеют древовидную структуру), но имеют много местных сопротивлений (поворотов, арматуры) и могут транспортировать продукты, самые разнообразные по свойствам и соста-

ву. Именно эти особенности определили преимущества и ограничения, заложенные в основу решений "Трубопровода".

Программы "Трубопровода" изначально базируются не на упрощенных (разработанных для ручного расчета), а на достаточно точных методиках расчета гидравлических потерь. Методики в свою очередь основаны на самых современных разработках, созданных ведущими специалистами коллектива "Трубопровода". Программы автоматически определяют режим течения и вычисляют гидравлические потери на трение и на местных сопротивлениях, при этом в них включена значительная часть справочника Е.И. Идельчика. Методики расчета гидравлического сопротивления трения прошли экспертизу и одобрены Е.И. Идельчиком – ведущим отечественным экспертом в этой области. Опыт многолетней успешной эксплуатации программ полностью подтвердил практическую применимость заложенных методик.

Вместе с программами гидравлического расчета в начале 80-х годов была разработана и библиотека расчета теплофизических свойств продуктов по составу, с банком данных для порядка 200 индивидуальных компонент, которая была включена в состав программ. Таким образом, при необходимости программы сами выполняли пересчет плотности, вязкости, теплоемкости и других теплофизических свойств транспортируемых продуктов по их составу в различных точках трубопровода.

К моменту появления персональных компьютеров (конец 80-х – начало 90-х годов) в лаборатории трубопроводных систем уже имелось целое семейство программ для выбора диаметров, гидравлического и теплового расчета технологических трубопроводов жидкости и газа, а также расчета и выбора насосов, причем все эти программы прошли успешную эксплуатацию во ВНИПИнефти и родственных организациях. Программы были перенесены на ПЭВМ, приобрели коммерческий вид (диалоговый пользовательский интерфейс под DOS, подробную пользовательскую

¹Эзюо Тодини (Ezio Todini) – профессор Болонского университета (Италия).

²Популярно о генетических алгоритмах: см. статью Сергея Бобровского "Эволюция и искусственная жизнь" в журнале PC Week (№3/2005): <http://kis.pcweek.ru/Year2005/N3/CP1251/Strategy/chapt1.htm>.

³См. об этом, например, www.optimatics.com.

документацию) и начали активно распространяться. Одновременно были разработаны коммерческие программы расчета газоходов и выбора дымоходов и вентиляторов, расчета и выбора регулирующих и предохранительных клапанов. Для собственных расчетных исследований созданы экспериментальные программы расчета двухфазных газожидкостных потоков ("Поток-2Ф") и расчета трансферных⁴ трубопроводов ("Трансфер")⁵. Кроме того, в сотрудничестве с НИИ Тепловых процессов были разработаны программы расчета динамических (переходных) процессов в трубопроводах.

Таким образом, к началу XXI века коллектив "Трубопровода" подошел с богатым многолетним опытом разработки программ технологических расчетов трубопроводов и практического решения соответствующих разнообразных инженерных задач.

В 2001 году начался процесс перевода программ под Windows и расширения круга их пользователей. В начале 2001-го вышла новая версия 2.0 основной программы "Гидросистема" для выбора диаметров и гидравлического расчета трубопроводов, а в 2002 году – аналогичные версии программ теплового и гидравлического расчета "Поток-1Ф", расчета и выбора предохранительных клапанов "Предклапан". Вместе с современным Windows-интерфейсом программы обрели мощный и настраиваемый пользователем генератор выходных документов, систему онлайн-помощи и другие атрибуты современных коммерческих Windows-программ. Кроме того, в 2002 году в них были включены два важных дополнения:

- разработанная в НТП "Трубопровод" библиотека расчета теплофизических свойств и фазовых равновесий, позволяющая рассчитывать смеси нефтяных фракций и индивидуальных веществ на основе данных Киевского термодинамического центра по 1500 индивидуальным веществам;
- разработанный в МЭИ модуль WaterSteamPro для точного расчета свойств воды и водяного пара

по международной формуляции IAPWS IF-97.

За четыре года пользователями программ версии 2.x стали около ста отечественных и зарубежных компаний. Коллектив разработчиков технологических программ НТП "Трубопровод" выпустил множество обновлений этих программ, вносящих отдельные улучшения и исправляющих замеченные ошибки. Однако в 2003-2004 годах основные силы были сосредоточены на создании новой программы расчета и проектирования тепловой изоляции оборудования и трубопроводов ("Изоляция"), выпуска которой с таким нетерпением ожидали наши пользователи. Теперь настало время для нового поколения программ гидравлических расчетов.

Сохранить и приумножить!

Так можно сформулировать девиз "Трубопровода" при разработке и внедрении программы гидравлических расчетов нового поколения – надежной современной универсальной системы массового применения и умеренной стоимости. Что же именно мы хотим сохранить и что приумножить?

Необходимо сохранить те достоинства программы, которые заложены в нее с момента создания и развиты при последующем совершенствовании:

- положенная в основание программы точная, современная и проверенная расчетная модель, включающая детальный анализ режимов течения и местных сопротивлений;
- высокая скорость счета, позволяющая пользователю мгновенно просчитывать различные варианты расчетной схемы;
- заложенные в программу возможности проектного расчета (выбор диаметров);
- возможность автоматического расчета необходимых теплофизических свойств широкого круга транспортируемых продуктов;
- простота интуитивно понятного пользовательского интерфейса;
- достаточная универсальность

программы, позволяющая использовать ее не только для технологических, но и для других видов трубопроводов;

- умеренная стоимость программы, которая по силам широкому кругу проектных организаций и подразделений.

При этом мы намерены радикально приумножить возможности программы и количество постоянных пользователей, устранив недостатки и пополнив ее функциональность по следующим основным направлениям:

● Программная и функциональная интеграция во всех ее аспектах:

- от набора специализированных и слабо интегрированных между собой программ следует перейти к единой, модульной структуре программе гидравлических расчетов, обеспечивающей тепловой расчет, учет обогреваемых спутников и электрообогрева, расчет труб произвольного сечения (в том числе газоходов), расчет и выбор насосов, другого оборудования, расчет и выбор регулирующих устройств;
- обеспечение программной интеграции (включая передачу данных) с другими программами НТП "Трубопровод", в первую очередь с программами "Изоляция", "Предклапан", СТАРС;
- интеграция с различными графическими САПР, в первую очередь предназначенными для проектирования технологических установок, а также подземных трубопроводов;
- интеграция с другими системами технологического расчета (в первую очередь с системами моделирования технологических процессов HYSYS, PRO/II и аналогичных) с использованием международного стандарта CAPE OPEN (поддержка протоколов Thermo и Unit)⁶.
- **Повышение удобства пользовательского интерфейса.** В частности:
 - обеспечение графического ввода и редактирования расчетной схемы;

⁴Так называются технологические трубопроводы, транспортирующие продукт от печей к колоннам. Как правило, они транспортируют высокотемпературные двухфазные (газожидкостные) нефтепродукты и чаще всего являются вакуумными.

⁵Программа "Трансфер" и сейчас активно используется в НТП "Трубопровод" при проектировании и экспертизе трансферных трубопроводов.

⁶Подробнее о стандарте CAPE OPEN читайте здесь: www.colan.org.

- графическое представление результатов расчета (включая пьезометр).
- **Расширение функций программы и ее применимости** для расчета различных видов трубопроводов. В том числе:
 - обеспечение расчета трубопроводов произвольной топологии (включая кольцевые системы), что позволит применять программу для расчета наружных инженерных сетей;
 - обеспечение возможности задавать и учитывать при расчете изменяющиеся по ходу протяженного трубопровода окружающие условия (грунт и параметры заложения, тепловая изоляция и др.), что позволит шире использовать программу для расчета магистральных трубопроводов;
 - реализация в программе рекомендованных отраслевых нормативов и методик гидравлического расчета газопроводов (СП 42-101-2003), тепловых сетей (СНиП 41-02-2003), магистральных нефтепроводов (РД 153-39.4-113-01), нефтепромысловых трубопроводов (РД 39-132-94) и др.
 - расчет многофазных потоков, что важно для трубопроводов обвязки нефтяных и газовых месторождений.
- **Расширение проектных функций программы, решение на ее основе задач оптимизации параметров сложных трубопроводных систем и оптимального выбора оборудования.**

Там, за поворотом...

"И когда же это планов громадье будет реализовано? – Наверняка уже подумали недоверчивые пользователи. – Лет через десять?" А вот и нет!

Работа над проектом "Гидросистема 2005" уже идет, и мы намерены поэтапно реализовать эти планы в течение 2005-2006 года, выпуская не реже чем раз в полгода новое большое обновление программы гидравлического расчета. Пользователи, оплатившие годовую поддержку, должны видеть, на что идут их деньги! ☺

Ближайшее обновление – **версию 2.5**, – надеемся, многие из вас уже поддержали в руках. В этом обновлении вас ждет:

- Объединение программ "Гидросистема" и "Поток-1Ф" в единую многомодульную программу "Гидросистема" (рис. 1)! Отныне – никаких повторных вводов данных, все данные хранятся в едином формате, для проведения дополнительного теплового расчета достаточно ввести лишь дополнительные недостающие данные по изоляционной конструкции и окружающей среде. Обеспечен импорт данных из файлов программы "Поток-1Ф" и предыдущих версий "Гидросистемы". Пользователи сами смогут решить, покупать ли лицензию на модуль изотермического расчета, теплового расчета или на оба модуля. Пользователи "Поток-1Ф" с оплаченной поддержкой смогут бесплатно поменять его на модуль теплового расчета "Гидросистемы".
- Общие информационные ресурсы с программой "Изоляция". В мо-

дуль теплового расчета версии 2.5 включена новейшая база данных материалов теплоизоляционных конструкций, а также базы данных грунтов, материалов трубопроводов, нормативных параметров, модуль строительной климатологии. Включен и редактор базы данных материалов изоляции (рис. 2). Пользователи "Изоляции" смогут вносить изменения в БД материалов одновременно для обеих программ. Кроме того, "Изоляция" и модуль теплового расчета "Гидросистемы" теперь используют единое расчетное ядро для расчета термических сопротивлений и тепловых потоков. В дальнейшем это позволит добавить в "Гидросистему" функции автоматического подбора толщин изоляции для трубопроводов.

- Усовершенствования для теплового расчета магистральных трубопроводов. Теперь можно описать и учесть при расчете изменение расположения, параметров окружающей среды, грунта и теплоизоляционной конструкции вдоль трубопровода. Расчетная схема может включать участки наземной и подземной прокладки, учитывать изменения глубины заложения и т.д.
- Полезным дополнением к предыдущему усовершенствованию должна стать возможность задавать перепад высот для прямых участков и других элементов трубопровода (рис. 3), что особенно удобно при вводе данных о подземном трубопроводе с его профиля. При этом также сохраняется возможность задания перепада

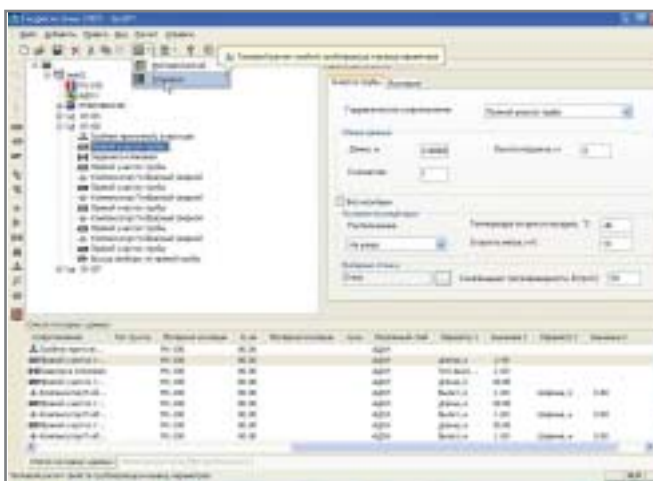


Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

высот отдельным элементом расчетной схемы.

- Возможность задания продукта таблицей теплофизических свойств от температуры (рис. 4-6), которую теперь можно использовать как для теплового, так и изотермического расчета – причем и для жидкого, и для газообразного продукта (в последнем случае он рассчитывается как идеальный газ).
- Усовершенствованный пользовательский интерфейс на основе библиотеки профессионального Windows-интерфейса Prof-UIS⁷. Плавающие и прикрепляемые меню пиктограмм с выпадающими подменю, панели и закладки позволяют пользователю настраивать интерфейс на свой вкус так, как ему удобно для работы. Можно, например, синхронно просматривать списки исходных данных и результатов расчета по ветвям или участкам (рис. 7). Особо хочется отметить новое окно протокола расчета, диагностические сообщения в котором синхронизированы с другими окнами интерфейса и тем самым позволяют сразу перейти к элементу расчетной схемы, вызвавшему проблемы.



Рис. 4

- Экспорт результатов в файлы формата CSV для построения пьезометрических графиков в MS Excel (рис. 8).
- Улучшенные формы отчетов, полностью включающие все исходные данные и результаты расчета, а также оформленные в соответствии со стандартами СПДС (с возможностью компактного вывода в формате PDF).
- Возможность работы с сетевым ключом защиты от копирования. Одновременно с выпуском версии 2.5 полным ходом идет работа над **версией 2.7**, выпуск которой намечается на осень этого года. В этой версии пользователей ждет как минимум два важнейших усовершенствования:
 - обновление расчетного ядра модуля изотермического расчета, который сможет теперь решать задачи поверочного расчета и расчета пропускной способности (потокораспределения) для трубопроводов произвольной конфигурации (включая кольца). Алгоритм нового ядра основан на "градиентном" алгоритме Тодина, о ко-



Рис. 5



Рис. 6

тором мы говорили выше. Насколько нам известно, это первая реализация данного алгоритма в российской коммерческой программе гидравлического расчета;

- возможность графического ввода и редактирования расчетной схемы.

В **версии 3.0** (выход которой ожидается в начале 2006 года) планируется реализовать тепловой расчет трубопроводов произвольной конфигурации, уточнить расчетные модели насосов и других видов аппаратов, улучшить интеграцию с программой "Изоляция" в части расчета изоляционных конструкций трубопроводов, обеспечить усовершенствованное графическое представление расчетной схемы и результатов расчета. Эта версия призвана стать основой для последующих улучшений, дополнительных расчетных модулей и интерфейсов с другими программами, которые должны увидеть свет в 2006 году.

Таковы наши планы по разработке нового поколения программы "Гидросистема". Но окончательные приоритеты в этих планах зависят от вас, уважаемые пользователи! Ждем ваших писем с отзывами и предложениями по адресу hst@truboprovod.ru.

*Леонид Корельштейн,
заместитель директора
НТП "Трубопровод"
Тел.: (095) 741-5945
E-mail:
Korelstein@truboprovod.ru*

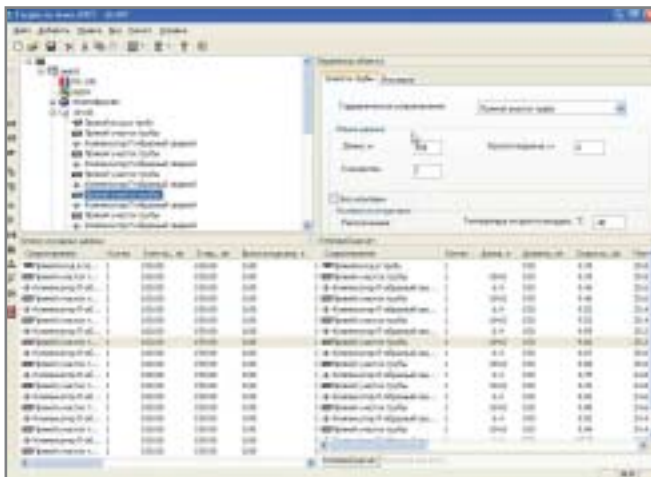


Рис. 7



Рис. 8

⁷Подробности см. на сайте www.prof-uis.com.