



# "Гидросистема": в преддверии фазового перехода

## Что ждет пользователя версии 3.x

**Н**а страницах журнала CADmaster мы не раз рассказывали о проекте "Гидросистема-2005", предусматривавшем глубокую модернизацию программы тепловых и гидравлических расчетов трубопроводов. В 2009 году все основные цели этого проекта были достигнуты и "Гидросистема" вступила в новый этап своего развития. Наша статья посвящена текущему состоянию программы и ее дальнейшим перспективам.

### Гидросистема 3.0 – надежная основа дальнейшего развития

С выпуском в январе 2009 года версии 3.0 завершилась огромная работа по переработке программы "Гидросистема" на современной технологической и научной основе. Фактически программа была переписана с нуля, при этом удалось в полной мере реализовать сформулированный в 2005 году принцип "Сохранить и приумножить!". Ни одна пользовательская функция не была утрачена, программа обрела современный пользовательский интерфейс с многовариантным графическим представлением расчетной схемы, возможность теплового и гидравлического расчета трубопроводов любой сложности с кольцами и рециклами, модуль вывода пьезометрических графиков. "Гидросистема" научилась самостоятельно определять направления потоков по ветвям и учитывать их перекрытие запорной арматурой, учитывать характеристики насосов и пересчитывать их с учетом вязкости продуктов. Сделаны первые шаги в интеграции программы и автоматизации обмена данными с другими популярными программами НТП "Трубопровод", такими как СТАРТ и "Изоляция".

В версии 3.0 к этим усовершенствованиям добавился ряд новых возможностей.

Модернизированный модуль выбора диаметров теперь обеспечивает их подбор для трубопроводов произвольной конфигурации (в том числе с кольцами и рециклами) по давлениям в источниках и потребителях и заданному пользователем предпочтительному распределению расходов по ветвям. Охвачен и случай, когда диаметры части ветвей заданы, характерный для задач реконструкции трубопроводных систем. Таким образом, теперь все виды расчетов, предусмотренные в программе (расчет изотермического течения, совместный тепловой и гидравлический расчет, выбор диаметров), могут быть выполнены для трубопроводов произвольной сложности и конфигурации.

Реализован также расчет трубопроводов с регуляторами расхода (регулирующими клапанами). Программа рассчитывает требуемую пропускную способность регулятора  $K_v$ , обеспечивающую в месте его установки заданный пользователем расход. В новой версии возможно и задание арматуры коэффициентом пропускной способности  $K_v$ , который часто известен для импортной арматуры.

Одно из важнейших новшеств версии 3.0 – дополнительный режим ввода и отображения расчетной схемы с возможной привязкой к фоновому растровому изображению, например, к карте населенного пункта или плану завода (рис. 1). При этом программа сможет самостоятельно определять длины участков в соответствии с масштабом карты. Новый режим ввода позволяет вручную перемещать узлы расчетной схемы, придавая ей тот вид, который представляется пользователю наиболее наглядным. Эта функция особенно полезна при проведении расчетов тепловых, газораспределительных и других наружных инженерных сетей. Полученную схему можно затем

просматривать и редактировать уже в привычном изометрическом виде.

Результаты расчета трубопровода теперь можно будет увидеть на расчетной схеме в виде цветового выделения, наглядно показывающего как ответственные за наибольшие гидравлические потери элементы, так и распределение расходов и температур в трубопроводе.

Новый модуль "Экспорт в DXF" обеспечивает вывод расчетной схемы в формате DXF с возможностью дальнейшей работы с ней в AutoCAD и любых других графических системах, поддерживающих импорт формата DXF. При этом расчетная схема выводится строго в масштабе и в 3D, а каждый ее элемент – как отдельный блок, что существенно упрощает дальнейшую работу со схемой.

Усовершенствована и работа с модулем "Пьезометр". Добавлена возможность задания точного пути для построения пьезометрического графика для схем, содержащих кольца, а также задания абсолютных высот узлов с пересчетом высот остальных узлов.

После выхода версии 3.0 на ее основе развернулась работа над новыми значительными усовершенствованиями программы, призванными существенно расширить область ее применимости и степень интеграции с другими программами, а также сделать работу с ней более удобной.

Как это часто бывает, задумки разработчиков и многочисленные пожелания заказчиков иногда обгоняют реально имеющиеся ресурсы. Но благодаря росту продаж программы, увеличению числа ее активных пользователей, ресурсы и возможности команды разработчиков постоянно растут.

Пришло время поделиться нашими планами с вами, уважаемые пользовате-

Гидравлические расчеты – от прошлого к будущему. – CADmaster, №3/2005, с. 58-62;

"Гидросистема" украсилась кольцами и графикой. – CADmaster, №5/2005, с. 50-53;

Гидросистема – еще один шаг навстречу пользователю. – CADmaster, №4/2006, с. 84-85;

Под знаком интеграции. – CADmaster, №3/2008, с. 78-79.

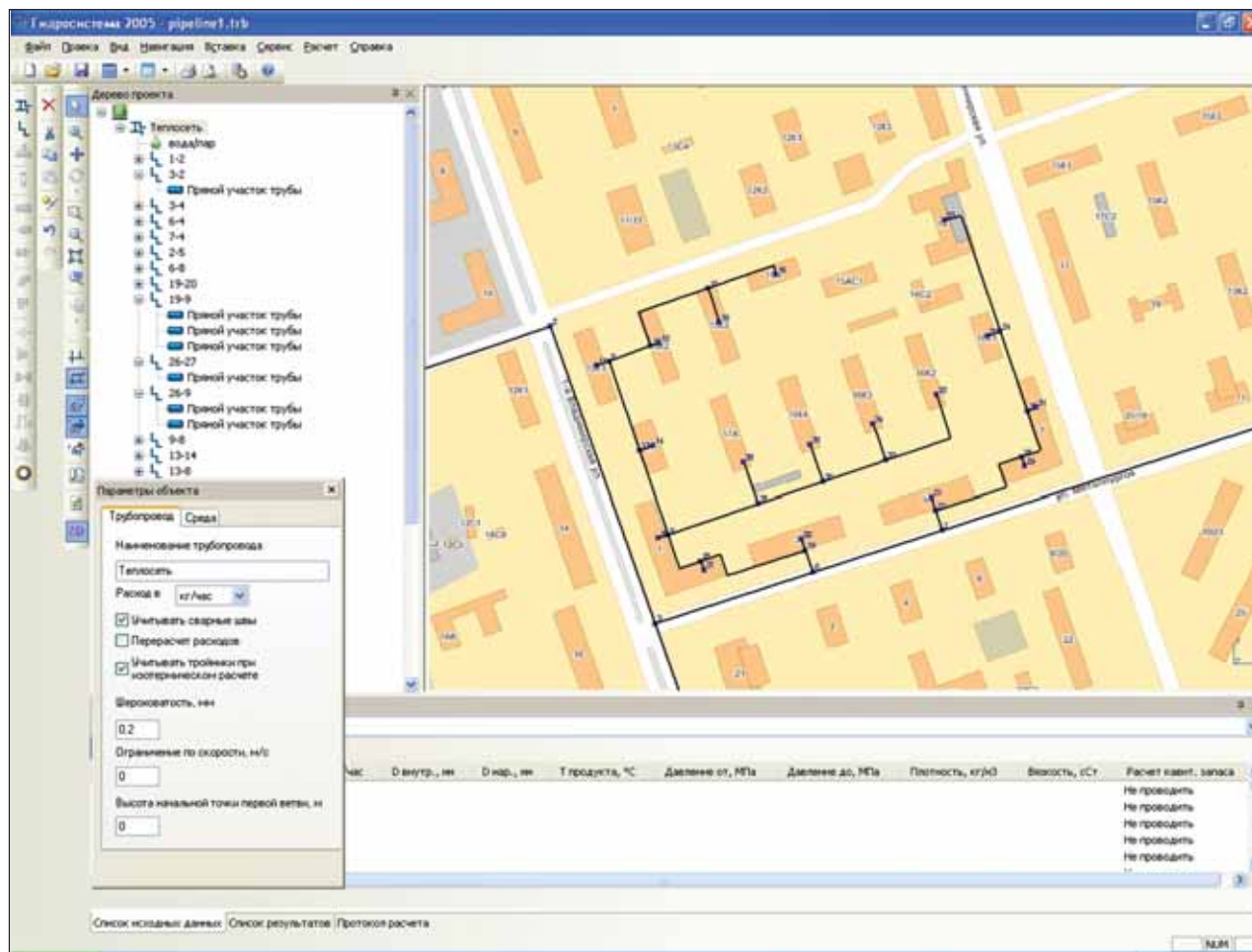


Рис. 1. Отображение расчетной модели трубопровода на растровом плане

ли, чтобы уточнить (а, возможно, в чем-то и скорректировать) их в соответствии с вашими советами и рекомендациями.

### Расширение расчетных возможностей

В ближайших версиях программы планируется сосредоточить усилия на следующих наиболее важных расчетных задачах:

- расчет многофазных потоков;
- расчет течения сжимаемых продуктов с высокими скоростями (включая расчет критического течения в элементах трубопровода);
- расчет систем отвода дымовых газов.

Каждая из перечисленных задач сама по себе является весьма сложной и включает целый ряд отдельных подзадач. Поэтому решать их планируется "методом последовательных приближений", с каждой очередной версией постепенно расширяя доступный пользователям функционал.

### На пути к расчету многофазных течений

Расчет многофазных течений — один из самых сложных и быстроразвиваю-

щихся разделов гидравлики трубопроводов. Необходимость теплового и гидравлического расчета трубопроводов, транспортирующих многофазные продукты, возникает для самых разнообразных отраслей и видов трубопроводов: технологических (например, так называемых "трансферных" трубопроводов от печей к ректификационным колоннам), трубопроводов систем аварийного сброса, трубопроводов обвязки нефтегазовых месторождений, систем обогрева и охлаждения оборудования и трубопроводов... Многообразие проблем и методов их решения, предложенных теоретических и эмпирических корреляций в этой области таково, что их изучению и усовершенствованию многие исследователи посвящают всю свою жизнь. Расчет различных случаев многофазных течений в трубопроводах реализован в таких пользующихся заслуженным авторитетом (и стоящих десятки тысяч долларов за одну копию) программах, как OLGA (SPT GROUP), PIPESIM (Schlumberger), PIPEPHASE (Invesys SimSci-ESSCOR), ГазОйлТранс (Термогаз).

Своей целью в этой области мы видим не конкуренцию с мощными воз-

можностями программ данного класса (что заведомо нереалистично), а разработку на современных научных основах модуля расчета многофазных потоков, доступного по уровню цены широкому кругу заинтересованных инженеро-технологов и в то же время в достаточной для инженерной практики мере решающему наиболее часто встречающиеся задачи многофазного течения.

Уже в ближайшую версию программы, выход которой ожидается летом 2010 года, планируется включить возможности теплового и гидравлического расчета так называемого "замороженного"<sup>2</sup> двухфазного газо-жидкостного течения в неразветвленных трубопроводах. Несмотря на указанные функциональные ограничения, пользователю этой версии будет доступен большой набор как проверенных временем, так и современных методов расчета.

Режим двухфазного течения в любой точке трубопровода будет определяться и наглядно показываться (рис. 2) на основе современных так называемых "механистических" моделей двухфазного течения Taitel-Dukler, Varnea и Petalas-Aziz. Расчет гидравлических и тепловых потерь будет

<sup>2</sup>То есть без массообмена между газовой и жидкой фазами.

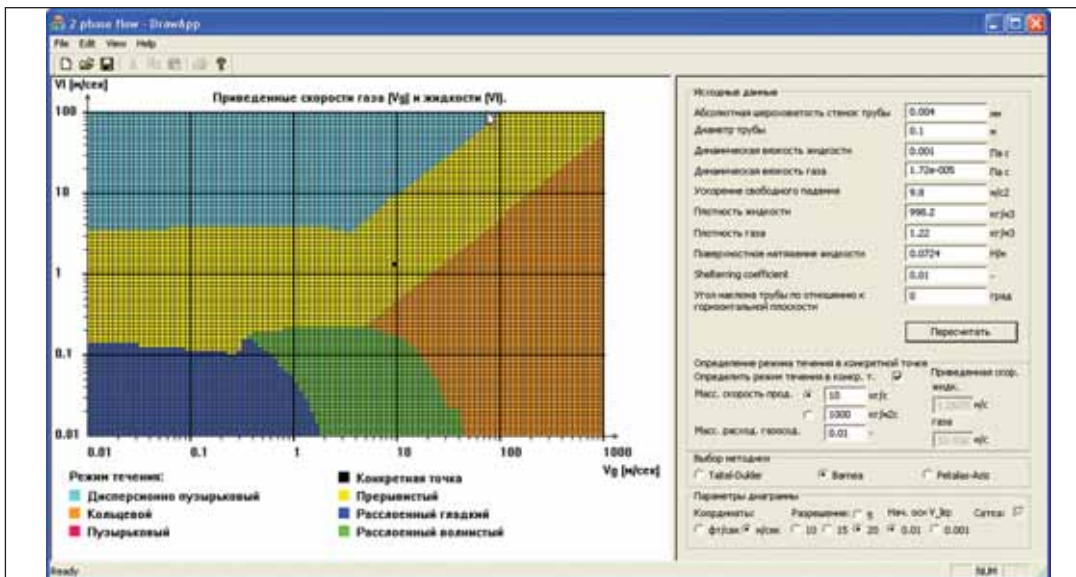


Рис. 2. Диаграмма режимов течения

основываться на моделях равновесного однородного течения и равновесного раздельного течения. Для расчета истинного объемного газосодержания (и, соответственно, гидростатического перепада давления) предусмотрен широкий набор популярных эмпирических корреляций (Zivi, Fauske, Thome, Baroczy, Wallis, Lockhart & Martinelli, Chisholm, Smith, Premoli), а также корреляций на основе модели потока дрейфа (различные варианты корреляций Rouhani, Dix, Goda-Nibiki-Kim-Ishii-Uhle). Потери давления на трение могут быть рассчитаны как исходя из модели однородного течения (на основе методов Beattie – Whalley или Shannak), так и с использованием различных разновидностей метода двухфазных мультипликаторов (Lockhart & Martinelli, Chisholm, Friedel, Muller-Steinhagen & Heck). Потери на местных гидравлических сопротивлениях также могут рассчитываться как по модели однородного течения, так и по специализированным разновидностям метода двухфазных мультипликаторов (Chisholm, Simpson, Morris).

Решая, когда, при каких условиях и какие методы расчета применять, пользователь сможет задействовать поставляемые с программой правила выбора или создавать, сохранять и применять свои собственные. Для этого в программе используются простые и легко редактируемые XML-файлы, которыми пользователи и разработчики смогут без всяких затруднений обмениваться для более тонкой настройки возможностей программы под специфику решаемой задачи.

До конца 2010 года планируется также реализовать расчет двухфазного газожидкостного течения в условиях массообмена между фазами (то есть с учетом процессов кипения и конденсации).

Другие планы совершенствования расчетов многофазного потока в "Гидросистеме" предусматривают работу по постепенной реализации в программе следующих возможностей:

- расчет двухфазных газожидкостных потоков с интенсивным теплообменом с окружающей средой, что в итоге позволит реализовать расчет систем подогрева и охлаждения аппаратов и трубопроводов (включая совместный расчет трубопроводов и обогреваемых спутников);
- расчет трубопроводов обвязки нефтегазовых месторождений, транспортирующих двухфазные (нефть-вода, нефть-газ) и трехфазные (газ-нефть-вода) продукты, на основе универсальных и специализированных методов;
- расчет многофазных потоков для трубопроводов произвольной конфигурации (разветвленных, с кольцами и рециклами), включая учет слияния и сепарации в тройниках;
- реализация в программе новейших методов расчета многофазных потоков, учитывающих специфику и гидродинамические модели различных режимов течения.

Этапы и приоритеты реализации перечисленных возможностей будут определяться с учетом пожеланий пользователей.

### Расчет критического течения

В настоящее время расчет течения газообразных продуктов в программе "Гидросистема" не охватывает случай критических и околочитических течений (с числом Маха, равным 1 или близким к нему). Программа лишь проводит диагностику возможности возникновения

такого рода течения (по величине числа Маха и/или величине относительного перепада давления на отдельных сопротивлениях) и предупреждает пользователя о вероятной в этом случае неточности расчета. Такой подход был оправдан, поскольку программа в основном предназначена для тех типов трубопроводов, где возникновение критического течения нехарактерно.

Однако с реализацией в программе расчета газожидкостных течений, для которых, как известно, возникновение критических течений намного более вероятно, возникает и необходимость более корректного расчета трубопроводов с такими течениями. Это важно и в связи с планами более тесной интеграции программ "Гидросистема" и "Предклапан", поскольку в отводящих трубопроводах систем аварийного сброса возникновение критического течения не редкость, а скорее типичная ситуация. Кроме того, реализация данного расчета позволит улучшить диагностику возникновения критических течений и в других видах трубопроводов (в том числе благодаря устранению некорректности исходных данных).

Реализация расчета критического течения предполагает решение целого ряда задач. В частности, к двум уже имеющимся в программе типам расчетов (теплогидравлическому и расчету изотермического течения) планируется добавить расчет адиабатического течения (то есть течения, для которого теплообменом с окружающей средой можно пренебречь, что справедливо для относительно коротких трубопроводов с высокими скоростями продукта). Предполагается реализация в программе расчетной модели течения Fanno<sup>3</sup> и ее обобщений для неидеальных газов и двухфазных продуктов. Расчетные

<sup>3</sup>Адиабатическое течение идеального газа в прямой трубе с трением.

модели потерь на местных сопротивлениях планируется расширить в область критических и околокритических течений, в том числе на основе современных стандартов<sup>4</sup> и последних литературных данных. В перспективе предполагается также изучить возможность учета термодинамической неравновесности при расчете критических истечений газожидкостных потоков с массообменом.

### Расчет систем отвода дымовых газов

Следуя принципу "все новое — это хорошо забытое старое", в этой области мы планируем воссоздать функциональные возможности нашей старой ДОСовской программы "Газоход" — на новой основе и в рамках "Гидросистемы". Планируется включить в программу расчет гидравлических и тепловых потерь в трубах и деталях прямоугольного сечения, расчет и учет самотяги дымовой трубы, возможность задания и учета характеристик дымососов и вентиляторов.

Разумеется, наши планы в области расчетных возможностей программы не исчерпываются представленными здесь направлениями и включают многие усовершенствования, подкаленные практическими нуждами наших пользователей. В их числе возможность ввода и учета в расчетной модели заданных характеристик центробежных компрессоров, теплообменного оборудования; учет и подбор параметров разнообразных типов регулирующих устройств; расчет гидравлического удара и др.

### Больше продуктов — хороших и разных!

Радикальное расширение расчетных возможностей "Гидросистемы" (особенно в части расчета многофазных течений), разумеется, невозможно без значительного совершенствования заложенных в программу возможностей автоматического расчета теплофизических свойств и фазовых равновесий (ТФС и ФР) транспортируемых продуктов. И соответствующая работа нами ведется, причем сразу в нескольких направлениях.

Мы продолжаем работу по развитию библиотеки СТАРС. В 2009 — начале 2010 года библиотека дополнена расчетом энтропии продуктов и расчетом процесса изэнтропного расширения (в том числе для двухфазных смесей), уточнен расчет процесса дросселирования при постоянной энтальпии. Взамен метода UOP для расчета углеводородов реализован более

современный метод Maxwell-Bonnell. Эти и другие улучшения войдут как в новые версии программ "Гидросистема" и "Предклапан", так и в новую версию 2.25 самостоятельной программы СТАРС, выход которой запланирован на лето 2010 года.

Одновременно ведется работа по дальнейшему усовершенствованию расчетов в СТАРС нефти и нефтепродуктов — как на основе общепризнанных международных методик (например, Американского Нефтяного Института), так и на основе методов расчета, предложенных коллективом профессора Б.А. Григорьева исходя из результатов многолетнего экспериментального изучения нефти российских месторождений. Планируется также дополнить СТАРС расчетом ТФС мазутов.

В новые версии программ "Гидросистема", "Предклапан" и "Изоляция" войдет также новая версия 6.5 библиотеки расчета воды и водяного пара WaterSteamPro. Новая версия поддерживает расчет ТФС при высоких давлениях и температурах, использует новую более точную методику расчета вязкости и включает многие другие усовершенствования<sup>5</sup>.

В области расчета ТФС и ФР продуктов у нас есть еще один большой и приятный сюрприз для наших пользователей. Недавно НТП "Трубопровод" заключило дистрибьюторское соглашение с известной французской фирмой ProSim и готовится предложить своим пользователям (в дополнение к собственным программным продуктам) систему расчета ТФС и ФР Simulis Thermodynamics<sup>6</sup>. По своему значению и структуре этот продукт схож с программой СТАРС, но охватывает категории продуктов, расчет которых по СТАРС невозможен или затруднителен.

Simulis Thermodynamics реализует существенно более широкий круг уравнений состояния и моделей фазового равновесия (уравнения состояния Редлиха-Квонга-Соаве (SRK), Пенга-Робинсона (PR) и др. в различных их современных модификациях; различные варианты моделей фазового равновесия Wilson, NRTL, UNIQUAC, UNIFAC и др., использующие как опытные значения коэффициентов активности, так и их расчет программой по структурным группам химических формул взаимодействующих веществ. Благодаря этому возможно решение, в частности, таких задач как:

- расчет неидеального ФР смеси углеводородов с водой и полярными газами в широком диапазоне давлений и температур;

- расчет ФР многофазных смесей жидкость-жидкость (например, нефтепродукты с водой) и газ-жидкость-жидкость, характерных для нефтегазодобычи;

- расчет ТФС и ФР водных, спиртовых и других растворов (в том числе с учетом растворенных газов и соединений металлов — так называемые электролиты), а также растворов сильных кислот, характерных для химической отрасли.

Программы "Гидросистема", "Предклапан" и "Изоляция" будут интегрированы с Simulis Thermodynamics (работа по интеграции уже ведется). Лицензия Simulis Thermodynamics позволит покупателям получить доступ к соответствующим функциям расчета ТФС и ФР как из наших программ, так и непосредственно из программной оболочки данной библиотеки, а также из MS Excel, Matlab и собственных программ покупателя.

Наряду с перечисленными выше библиотеками НТП "Трубопровод" прорабатывает с учетом пожеланий пользователей возможность разработки и/или подключения к программе специализированных библиотек для тех или иных категорий продуктов. Так, изучается вопрос расчета алюминатных (байеровских) растворов (используемых при производстве алюминия), а также расчета ТФС и ФР природных газов на основе уравнения состояния GERG-2004.

### Пользовательский интерфейс — удобнее и нагляднее

Параллельно с совершенствованием расчетного ядра программы ведется работа над модификацией пользовательского интерфейса, который предоставит удобный доступ ко всем новым расчетным возможностям.

Согласно пожеланиям пользователей, в ближайшей версии программы планируется реализовать ряд усовершенствований пользовательского интерфейса, таких как "твердотельное" представление элементов графической схемы в стиле программы СТАРТ при задании исходных данных и отображении результатов расчета (рис. 3), а также новые опции графического редактирования (в частности, удаление "лишних узлов" и смена направления ветви).

Планируется обновление системы генерации отчетов — с переходом на последнюю версию генератора отчетов List & Label и использованием ее новых возможностей.

<sup>4</sup>Например, ГОСТ 8.586-2005 для различных видов сужающих устройств или ANSI/ISA 75.01.01-2007 для регулирующих клапанов.

<sup>5</sup>Подробнее о версии 6.5 WaterSteamPro см. [www.wsp.ru/ru/readme/wsp/6.5/readme.htm#WhatsNew](http://www.wsp.ru/ru/readme/wsp/6.5/readme.htm#WhatsNew).

<sup>6</sup>Подробнее о Simulis Thermodynamics см. [www.prosim.net/en/thermodynamics/simulist.html](http://www.prosim.net/en/thermodynamics/simulist.html). Соглашение также предоставляет НТП "Трубопровод" право на распространение в России программы моделирования технологических процессов ProSimPlus (см. [www.prosim.net/en/modeling/prosimplus.html](http://www.prosim.net/en/modeling/prosimplus.html)).

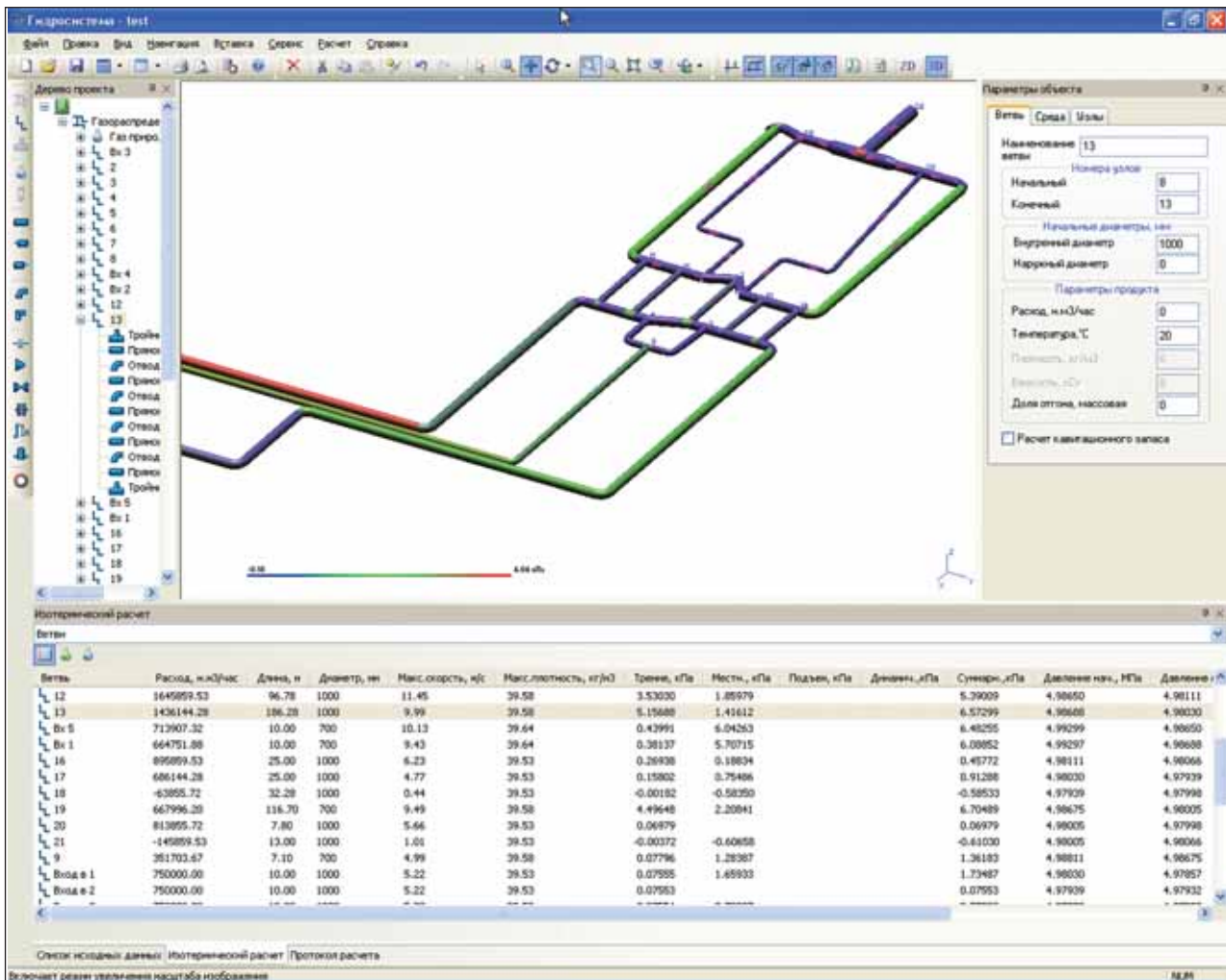


Рис. 3. Показ гидравлических потерь на расчетной схеме в "твердотельном" представлении

### По пути интеграции

Большое значение при развитии программы мы придаем возможностям ее совместной работы с другими программными продуктами САПР и современными компьютерными и программными системами.

В части взаимодействия с другими программами НТП "Трубопровод" основное внимание в 2010 году планируется уделить более глубокой интеграции программ "Гидросистема" и "Предклапан". Расчетное ядро и графический интерфейс "Гидросистемы" будут использованы в новых версиях программы "Предклапан" при расчете подводящих и отводящих (в том числе разветвленных) трубопроводов. Дальнейшее развитие программ "Гидросистема" и "Предклапан" будет синхронизировано.

В наших планах также и другие значительные усовершенствования программы "Предклапан" на основе новых отечественных и зарубежных нормативно-методических документов по проектированию систем аварийного сброса, в подготовке которых специалисты НТП "Трубопровод" принимают сейчас активное участие. Подробности этой работы

мы предполагаем посвятить отдельную статью.

Планируется также разработка прямых интерфейсов обмена данными с ведущими программными решениями для графического проектирования: системами 3D-проектирования технологических установок (через формат PCF), AutoCAD P&ID, российской системой Model Studio CS Трубопроводы. Изучаются возможности и перспективы поддержки в программе все более популярного стандартов CAPE OPEN и ISO 15926.

И наконец, о поддержке современных операционных систем и компьютеров. Программа "Гидросистема" (как и все наши программы) в ближайшее время будет сертифицирована для использования в среде 32-разрядной Windows 7. В 2010 году планируется обеспечить и полную поддержку программой работы в 64-разрядной версии Windows 7, с использованием преимуществ 64-разрядной архитектуры. Мы будем также двигаться в сторону более активного использования программой многопоточности и преимуществ многопроцессорной архитектуры.

Дорогие пользователи! Мы прекрасно понимаем, что претворить представ-

ленные планы в жизнь невозможно без самого активного и тесного сотрудничества с вами. Именно благодаря такому взаимодействию были быстро исправлены многие ошибки и неточности в программе, внесен ряд важных усовершенствований. Мы благодарны за сотрудничество всем нашим активным пользователям, а особую благодарность хотели бы выразить сотруднику ЗАО Фирма "ТЭПИНЖЕНИРИНГ" Александру Николаевичу Медведицкову, наблюдательность и конструктивная критика которого значительно способствовали улучшению программы.

Надеемся, что на новом этапе развития "Гидросистемы" наше взаимодействие с пользователями станет еще более активным и плодотворным. Будем рады любым предложениям и замечаниям по теме этой статьи и приглашаем всех заинтересованных пользователей принять активное участие в бета-тестировании новых версий программы!

*Леонид Корельштейн,  
Елена Юдовина  
НТП "Трубопровод"  
E-mail: hst@truboprovod.ru*