



> "ПРЕДКЛАПАН" 3.0, ИЛИ 10 ЛЕТ СПУСТЯ

Российский инструмент проектирования систем аварийного сброса

В стремительно развивающемся мире инженерных расчетов и соответствующего специализированного программного обеспечения за решением задач оптимизации, рационального использования материальных и энергетических ресурсов, повышения эффективности производства и т.д. довольно часто недостаточно внимания уделяется такому важному разделу проектирования, как промышленная безопасность. Особенно это касается российской практики проектирования систем аварийного сброса из различных сосудов и аппаратов, снабженных предохранительными клапанами. Сегодня проектировщик, столкнувшийся с такой задачей, может не только обнаружить недостаток специализированных расчетных программных средств для решения подобных задач, но и убедиться в общей отсталости российский нормативно-правовой базы в данном вопросе. Однако некие проблески имеются и в этой "темной" области проектирования, и об одном из программных средств, предназначенных для решения задач

расчета систем аварийного сброса, — программе "Предклапан" — и пойдет здесь речь.

Программа "Предклапан" предназначена для расчета и выбора общепромышленных предохранительных клапанов прямого действия, применяемых для защиты трубопроводов, сосудов и аппаратов технологических производств (нефтепереработки, нефтехимии, химии и других производств, на которые распространяются требования ПБ 03-585—03 [1] и ПБ 03-576—03 [2]).

Свое начало история программы "Предклапан" берет с конца 1980-х гг., когда во ВНИПИнефть был разработан программный модуль для расчета и выбора предохранительных устройств. Изначально созданная для работы на больших ЭВМ, программа впоследствии была адаптирована к персональным компьютерам (под управлением операционной системы MS-DOS), дополнена диалоговым пользовательским интерфейсом и стала коммерческим продуктом. В 2002 г. программа была полностью переработана для использования в среде

операционных систем Windows (рис. 1), и с тех пор непрерывно совершенствуется как в плане расчетных возможностей, так и в плане удобства применения.

Когда-то мы уже рассказывали на страницах журнала CADmaster о программе "Предклапан" под Windows [3], взглянем же на нее 10 лет спустя.

На сегодняшний день "Предклапан" — единственная российская коммерческая программа для расчета и выбора предохранительных клапанов. Она осуществляет выбор подходящих клапанов или блоков предохранительных устройств из базы данных, предлагая пользователю несколько приведенных в порядке предпочтения допустимых вариантов. При этом учитываются пропускная способность клапана, материал корпуса, условное давление, температурные пределы применения и климатическое исполнение, наличие устройства для принудительной продувки, необходимость установки сбалансированного или обычного клапана, возможность настройки клапана на требуемое давление и другие параметры. Программа также определяет

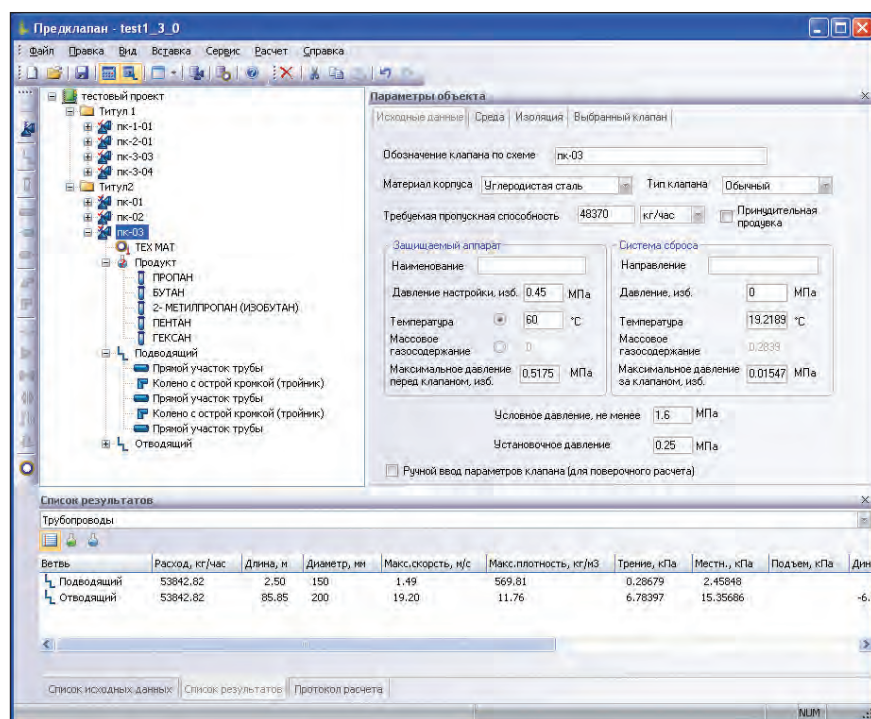


Рис. 1. Пользовательский интерфейс программы "Предклапан"

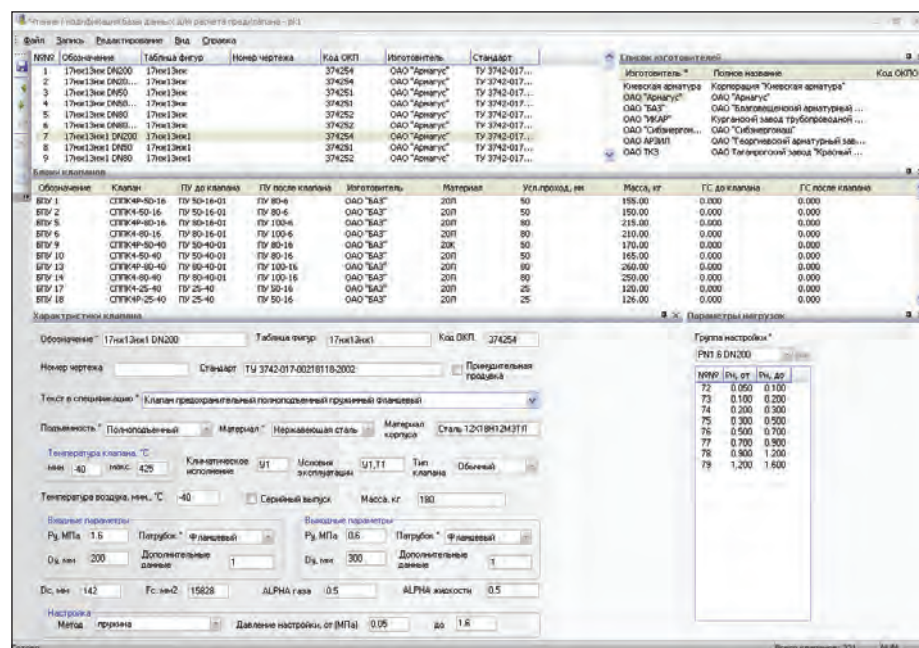


Рис. 2. База данных предохранительных клапанов и блоков

установочное давление клапана и подбирает нужную пружину, исполнение или число и массу грузов, рассчитывает гидравлические потери на примыкающих трубопроводах и проверяет их допустимость в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.085–2002 [4], а также может осуществлять подбор необходимых диаметров трубопроводов для удовлетворения требований данного стандарта. По результатам выполненных расчетов ав-

томатически формируется протокол расчета (по каждому рассчитанному клапану), содержащий исходные данные и результаты выбора, а также сводные и детальные результаты гидравлического расчета примыкающих трубопроводов. Кроме того, можно вывести два сводных документа по всему проекту: спецификацию (по ГОСТ 21.110–95 [5]) и экспликацию предохранительных клапанов. Документы оформляются в соответ-

ствии с требованиями ГОСТ 21.1101–2009 [6]. Программа имеет собственную базу данных предохранительных устройств (рис. 2), содержащую предохранительные клапаны и блоки клапанов наиболее известных российских изготовителей общепромышленной предохранительной арматуры, в частности ОАО "Благовещенский арматурный завод" и ЗАО "Армагус". Вся информация поступает в базу данных программы "из первых рук", т.е. от самих изготовителей, и в оперативные сроки.

Помимо собственно выбора предохранительных клапанов, программа также может решать задачи поверочного расчета клапанов, что бывает необходимо при реконструкции действующих производств, когда требуется проверить, пригоден ли существующий клапан к работе в новых условиях. В этом случае задаются характеристики самого клапана, а "Предклапан" проверяет его пропускную способность и выполняет расчет примыкающих трубопроводов.

Программа содержит мощные инструменты для точного расчета теплофизических свойств различных сбрасываемых сред, предусмотрен специальный модуль для расчета сброса воды и пара, а также библиотеки для расчета свойств продуктов, в том числе – нефтяных фракций, по их покомпонентному составу. "Предклапан" рекомендован к использованию при проектировании и эксплуатации химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств, а также других взрывоопасных объектов (письмо Госгортехнадзора РФ № АС-04-35/444 от 07.08.2002 г.). Перечисленные выше особенности программы обуславливают ее достаточно большую популярность в России и странах СНГ. Среди более чем 200 пользователей программы – такие крупные проектные институты и организации, как ОАО "Татнефть", ОАО "Самаранефтехимпроект", ОАО "ВНИПИнефть", ТОО "Казинктех" (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), ЗАО "Нефтехимпроект" (г. Санкт-Петербург), Рязанская нефтеперерабатывающая компания, ООО "НК "Роснефть-НТИ" (г. Краснодар), ГУП "Институт нефтехимпереработки" (г. Уфа) и многие другие.

Несмотря на достигнутые успехи, программа постоянно совершенствуется, чтобы соответствовать современным задачам проектирования и пожеланиям пользователей. В конце 2012 г. произошло знаменательное событие: увидело свет новое, самое большое за прошед-

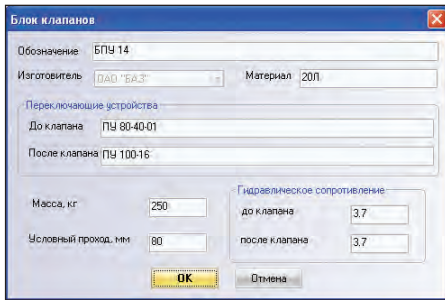


Рис. 3. Параметры блока с переключающими устройствами в базе данных программы

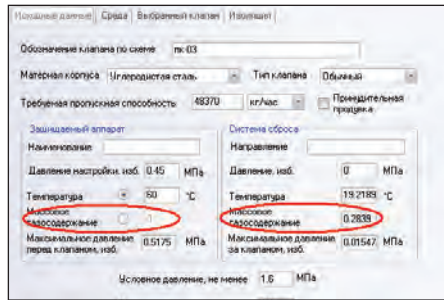


Рис. 4. Сброс вскипающего продукта

шие 10 лет с момента перевода под Windows обновление "Предклапана" (версия 3.0). Предоставив значительно улучшенный функционал и новые возможности, оно станет основой дальнейшего развития программы.

Прежние пользователи программы наверняка обратят внимание на появившиеся инструменты автоматического выбора готовых блоков предохранительных клапанов с переключающими устройствами. Кроме того, в случае выбора блока гидравлические сопротивления его переключающих устройств автоматически учитываются в процессе расчета трубопроводов. Информация о блоке и переключающих устройствах автоматически появится во всех выходных документах программы. Выбор готовых, комплектно поставляемых блоков — неотъемлемый элемент современной практики проектирования, и нет сомнений, что эта новая опция будет очень востребована пользователями программы. Такая возможность появилась благодаря модернизированной базе данных программы, которая теперь, наряду с клапанами, содержит также блоки предклапанов и информацию об их переключающих устройствах (рис. 3). Сама база предохранительных устройств была сверена с новейшей номенклатурой (каталогами) ОАО "Благовещенский арматурный завод" и ОАО "Арматур" и при этом значительно расширена, дополнена новыми, современными клапанами и вариантами их исполнения. В процессе пополнения базы данных разработчики программы тесно сотрудничали с ведущими специалистами заводов-изготовителей. Но, как и прежде, каждому пользователю представляется инструмент для самостоятельного ведения и пополнения этой базы данных.

Среди других заметных новинок — более детальный и содержательный протокол расчета, особенно в части диагностических сообщений, а также исходных данных и результатов расчета примыкающих трубопроводов.

При этом ряд новых возможностей программы радикально раздвигает рамки решаемых задач.

В первую очередь следует отметить, что новая версия "Предклапана" теперь может, наряду с задачами сброса жидких или газообразных продуктов, решать задачу расчета и выбора клапанов для различных случаев двухфазного газожидкостного течения, вскипания или конденсации продукта в клапане (рис. 4). Для решения таких задач в программе реализована методика HDI (Homogenous Direct Integration — метод прямого интегрирования уравнений модели однородного равновесного течения), которая на сегодняшний день является наиболее универсальной и общепринятой для подобных расчетов, о чем свидетельствует рекомендация стандарта API 520 [7]. Эта методика восполняет пробел действующего ГОСТ 12.2.085-2002 на расчет и выбор предохранительных устройств, не регламентирующего расчет сброса двухфазных смесей. Она позволяет рассчитывать наиболее распространенные случаи двухфазного течения в клапане, включая сброс через клапан кипящей двухфазной смеси, вскипание сбрасываемой жидкости в самом клапане, ретроградную конденсацию сбрасываемого газа в клапане. Выбор коэффициентов расхода предохранительных устройств для двухфазного течения выполняется согласно рекомендациям профессора R. Darby — одного из наиболее авторитетных в мире специалистов в области проектирования систем аварийного сброса [8].

Модуль расчета по методике HDI позволяет также рассчитывать сброс жидкостей и газов, что особенно актуально при расчете газов, сильно отклоняющихся от идеальных (например, газообразных продуктов в критической области или продуктов при высоких давлениях). И этот расчет будет более точен, чем аналогичный, произведенный по формулам ГОСТ 12.2.085-2002.

Реализованный в новой версии программы метод расчета охватывает многие ранее не учтенные ситуации, возникающие при расчетах систем сброса, однако, разумеется, не все без исключения. Так, например, программа в настоящий момент не учитывает термодинамическую неравновесность, которая может возникнуть в случаях кипения жидкости при ее сбросе через предохранительные клапаны небольшого размера. Дело в том, что при низких массовых газосодержаниях продукта (менее 0,1) термодинамическое равновесие не успевает установиться, и в этом случае реализованная в программе модель может недооценивать пропускную способность клапана (к счастью, недооценка идет в запас). Также настоящая методика не позволяет рассчитывать случаи так называемого "замороженного" течения — довольно редкой ситуации сброса жидкости вместе с неконденсируемым газом. Особенность состоит в том, что при этом очень важным становится учет проскальзывания фаз при их течении, который реализованная в программе модель однородного равновесного течения (homogenous equilibrium model — НЕМ) пока не обеспечивает. Расчеты с учетом этих факторов планируется добавить в будущих версиях "Предклапана".

Реализация расчетов сброса кипящих газожидкостных смесей была бы невозможна без существенного усовершенствования термодинамических пакетов для расчетов теплофизических свойств и фазовых равновесий (на каждом этапе интегрирования по методу HDI необходимо решать различные задачи фазового равновесия). Именно поэтому был модернизирован в части расчета энтропии и изэнтропного расширения входящий в состав "Предклапана" модуль "СТАРС". Кроме того, к программе была подключена новая версия модуля "WaterSteamPro" для более точного расчета свойств воды, водяного пара и пароводяных смесей. И наконец, начиная с версии 3.0 с "Предклапаном" интегрирован специальный пакет расчетов свойств "Simulis Thermodynamics" (рис. 5) французской компании ProSim, позволяющий также выполнять расчеты теплофизических свойств сбрасываемых продуктов и их фазовых равновесий. Данный пакет содержит сведения о более чем 2000 различных индивидуальных веществ, позволяет моделировать так называемые псевдокомпоненты (нефтяные фракции), поддерживает возможность ведения и пополнения своей базы данных, а также обладает

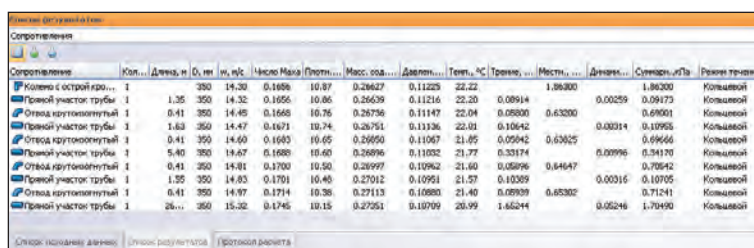


Рис. 5. Задание состава продукта в "Simulis Thermodynamics"

Кроме того, в новой версии "Предклапана" значительной модернизации подверглись гидравлические расчеты примыкающих к клапанам трубопроводов. Теперь, наряду с расчетом изотермического течения (течения с постоянной температурой), программа может выполнять теплогидравлический расчет с учетом теплопотерь в окружающую среду. Такой расчет учитывает влияние параметров расположения трубопроводов, наличие теплоизоляционной конструкции и позволяет рассчитывать перепад температуры по ходу течения. Особенно актуальна эта возможность для двухфазных газожидкостных течений, для которых "Предклапан" теперь может рассчитывать перепад давления и температуры (рис. 6), а также отслеживать места вскипания/конденсации продукта при их наличии. Гидравлический расчет газожидкостных течений ведется по самым со-

также реализован расчет случаев критического истечения в отводящих трубопроводах для двухфазных продуктов, которое нередко случается в трубопроводах аварийного сброса. Программа, как и раньше, диагностирует места возникновения такого истечения, но теперь еще и учитывает это при гидравлическом расчете. В дальнейшем аналогичную возможность планируется реализовать и для газообразных продуктов. Говоря о расчетах гидравлики трубопроводов, важно упомянуть, что команда разработчиков "Предклапана" занимается созданием и другой программы — "Гидросистема", предназначенной для гидравлических расчетов трубопроводных систем произвольного назначения и топологии. Опыт и наработки, полученные при создании новой версии "Предклапана", были успешно реализованы также и в новой версии 3.80 программы "Гидросистема", выпущенной в апреле этого года (подробнее см. статью [11]). Разработка обеих программ ведется с углублением интеграции между ними, что, в конечном счете, расширяет возможности каждой из них. Например, будущие версии "Предклапана" планируется пополнить такими возможностями "Гидросистемы", как расчет трубопроводов произвольной конфигурации и топологии (текущая версия "Предклапана" рассчитывает только неразветвленные отводящий и подводящий трубопроводы), графический показ схемы трубопроводов и визуализация результатов расчета на этой схеме, расчет "замороженного течения" с учетом проскальзывания фаз и многими другими. В свою очередь, в будущих версиях "Гидросистемы" будет реализован расчет критического истечения

и другие нововведения "Предклапана" вплоть до реализации самостоятельного элемента "предохранительный клапан" в "Гидросистеме", который может быть вызван из нее для выполнения специфических расчетов, характерных для системой аварийного сброса.

Кроме того, в российских, да и в зарубежных нормативных документах недостаточно обоснованы, а зачастую и не всегда понятны требования, предъявляемые к проектированию примыкающих к клапанам трубопроводов. Не говоря уже о том, что действующая нормативная база не предусматривает многие ситуации, часто встречающиеся в практике



проектирования и работы систем аварийного сброса, например, сброс двухфазных газожидкостных смесей. Эта тема настолько сложна и многогранна, что заслуживает отдельной публикации (и более подробно рассмотрена в [12]). В контексте данной статьи упомянем лишь, что разработчики программы "Предклапан" осуществляют ее развитие параллельно и в увязке с работой над новыми российскими нормативно-методическими документами на основе международного опыта.

ООО "НТП Трубопровод" с 2009 г. является членом DIERS User Group (Международного сообщества специалистов по проблемам проектирования систем аварийного сброса), наряду с другими членами Сообщества участвует в разработке специальных пособий по расчетам таких систем и планирует перенять опыт и разработки DIERS для их последующего использования в российских нормативно-методических документах и в "Предклапане". Параллельно с этим планируется реализовать в программе также аналогичные расчеты в соответствии с различными международными нормами (EN и API) с последующим выпуском англоязычной версии.

Помимо упомянутых выше планов развития программы, следует также перечислить и другие, не менее важные нововведения, которые будут постепенно реализованы в будущих версиях "Предклапана". В первую очередь это касается расчета требуемого количества сброса, которое в настоящее время программа не рассчитывает, а предоставляет для задания пользователю. Расчет этой величины в общем случае, с учетом всех возможных аварийных ситуаций, а также совместной работы аппаратов и трубопроводов, — весьма непростая задача, для решения которой необходимы дорогостоящие системы, обеспечивающие моделирование динамических процессов (например, HYSYS или PRO/II). В настоящее время разработчики "Предклапана" уже ведут работы в этом направлении, и в будущих версиях программы планируется реализовать возможность таких расчетов для наиболее часто встречающихся аварийных ситуаций.

Также в программе планируется реализовать более корректную оценку устойчивости работы клапана, когда будет доступна соответствующая методика

для ее расчета. Напомним, что в текущей версии такая оценка предполагает определение допустимости падения давления на подводящем трубопроводе — пресловутое "правило 3%". Кроме того, в будущем в программе появится расчет реактивной силы на клапане и отводах (с возможностью передачи ее величины в программную систему "СТАРТ" для учета ее влияния на расчет прочности трубопровода), а также расчет шума при сбросе.

Особое внимание планируется уделить расчету систем утилизации сброса, и в первую очередь — факельных систем (возможно, с применением сторонних разработок). В планах развития программы также расчеты сброса высоковязких продуктов с учетом поправки на вязкость (в форме, предложенной Darby и Molavi [13]), учет предохранительных мембран, устанавливаемых вместе с клапанами, а также интеграция "Предклапана" с системами управления материалами и изделиями на стадии монтажного проектирования (в частности, с системой "СУБД Проект" — подробнее см. [14]).



Эти и другие планируемые усовершенствования призваны сделать программу "Предклапан" еще более мощным инструментом, а работу проектировщика — более эффективной и удобной, качество выполняемых проектов — более высоким, а проектируемые производства — более безопасными.

Литература

1. ПБ 03-585-03 "Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов".
2. ПБ 03-576-03 "Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением".
3. Корельштейн Л.Б. ЧаВо умеет

"Предклапан" 2.X? // CADmaster, № 3/2003. — С. 43-45.

4. ГОСТ 12.2.085-2002 "Система стандартов безопасности труда. Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности".
5. ГОСТ 21.110-95 "Система проектной документации для строительства. Правила выполнения спецификации оборудования, изделий и материалов".
6. ГОСТ 21.1101-2009 "Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации".
7. API STD 520 "Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Relieving Devices in Refineries. Part 1. Sizing and Selection". — 8th ed., 2008.
8. Darby R. On Two Phase Frozen and Flashing Flow in Safety Relief Valves. Recommended Calculation Method and the Proper Use of the Discharge Coefficient // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 2004. — N 17. — P. 255-259.
9. Корельштейн Л.Б., Лисин С.Ю. Simulis Thermodynamics. Инструмент технолога, который всегда под рукой // CADmaster, № 3/2011. — С. 94-101.
10. Лисин С., Корельштейн Л. "Русский" Simulis и другие новости термодинамики. — CADmaster, № 3/2013. — С. 86-95.
11. Корельштейн Л.Б., Юдовина Е., Лисин С.Ю. "Гидросистема" 3.80: мечты сбываются, или Работа по просьбам пользователей // CADmaster, № 3/2013. — С. 72-74.
12. Корельштейн Л.Б. О российской и зарубежной нормативно-методической документации по расчету и проектированию систем аварийного сброса // Промышленный сервис, № 3/2012. — С. 8-15.
13. Darby R., Molavi K. Viscosity Correction Factor for Emergency Relief Valves // Process Safety Progress. — 1997. — V. 16. — N 2. — P. 80-82.
14. Тимошкин А.И., Полозова О.В., Шапиро Е.Е. Автоматизация управления изделиями и материалами в монтажном проектировании // Технологии нефти и газа, № 3/2012. — С. 56-59.

Сергей Лисин,
Леонид Корельштейн
НТП "Трубопровод"
E-mail: pk@truboprovod.ru