

## «Предклапан» — российский инструмент проектирования систем аварийного сброса

С. Ю. Лисин, Л. Б. Корельштейн  
ООО «НТП Трубопровод»

*В статье рассматриваются возможности новой версии программы «Предклапан», предназначенной для проектирования систем аварийного сброса, и дальнейшие планы развития этой программы.*

**Ключевые слова:** система аварийного сброса, предохранительный клапан, программа «Предклапан».

В быстро 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 обнаружить не только недостаток специализированных расчетных программных средств для решения подобных задач, но и общую отсталость российской нормативно-правовой базы в этом 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» — пойдет речь в этой статье.

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 от 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 ее применения.

На сегодняшний день «Предклапан» — единственная российская коммерческая программа для расчета и выбора предохранительных клапанов. Программа осуществляет выбор подходящих клапанов или блоков предохранительных устройств из базы данных, предлагая пользователю на выбор 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 клапана или обычного, возможность настройки клапана на требуемое давление и другие параметры. Программа также определяет 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 [3], а также может осуществлять подбор необходимых диаметров трубопроводов для удовлетворения требований данного стандарта. По результатам выполненных расчетов программа автоматически формирует 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 [4]) и экспликацию предохранительных клапанов. Документы оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ 21.1101–2009 [5]. Программа имеет собственную базу данных предо-

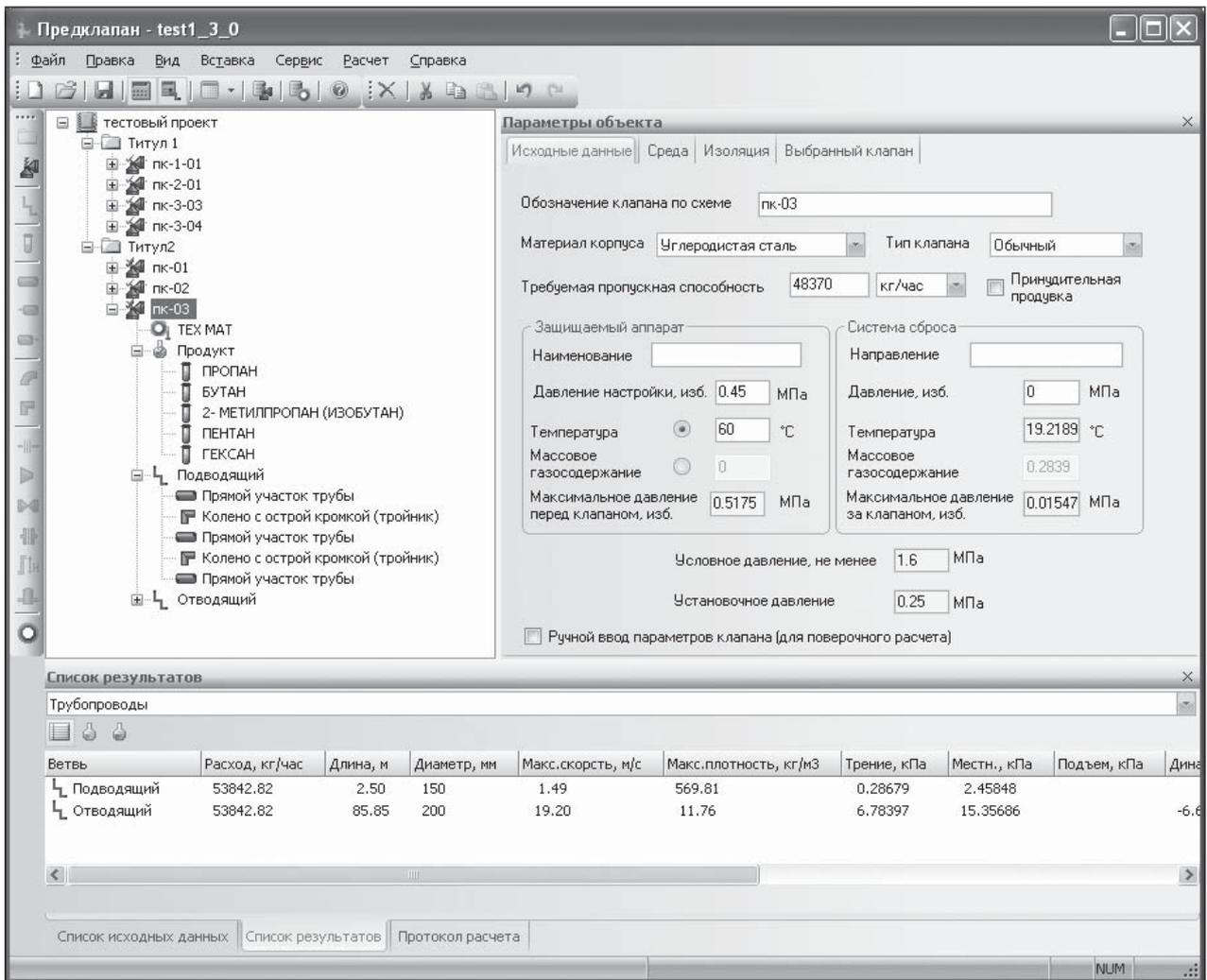


Рис. 1. Пользовательский интерфейс программы «Предклапан»

хранительных 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 проверочного 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 программа 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 «ВНИПинетфть», ТОО «Казцинктех» (г. Усть-Каменногорск, Казахстан), ЗАО «Нефтехимпроект» (г. Санкт-Петербург), Рязанская нефтеперерабатывающая компания,

ООО «НК «Роснефть-НТЦ» (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 период подготовки данной статьи проходило стадию финального тестирования новое большое обновление «Предклапана» (версия 3.0), которое предоставит пользователю значительно улучшенный функционал и новые возможности.

Прежние пользователи программы наверняка обратят внимание на новую возможность 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 также во всех выходных документах программы. Выбор готовых, комплектно поставляемых блоков — элемент хорошей современной практики проектирования, и нет сомнений, что эта новая опция будет

сразу востребована при использовании 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 сверена с самой последней номенклатурой (каталогами) ОАО «Благовещенский арматурный завод» и ОАО «Армагус», и при этом была значительно расширена, дополнена новыми, современными клапанами и вариантами их исполнения. В процессе пополнения базы данных разработчики программы интенсивно взаимодействовали с ведущими специалистами заводов-изготовителей. Но, как и прежде, каждому пользователю представляется инструмент для самостоятельного ведения и пополнения этой базы данных.

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

Ряд новых возможностей программы радикально раздвигает рамки решаемых задач.

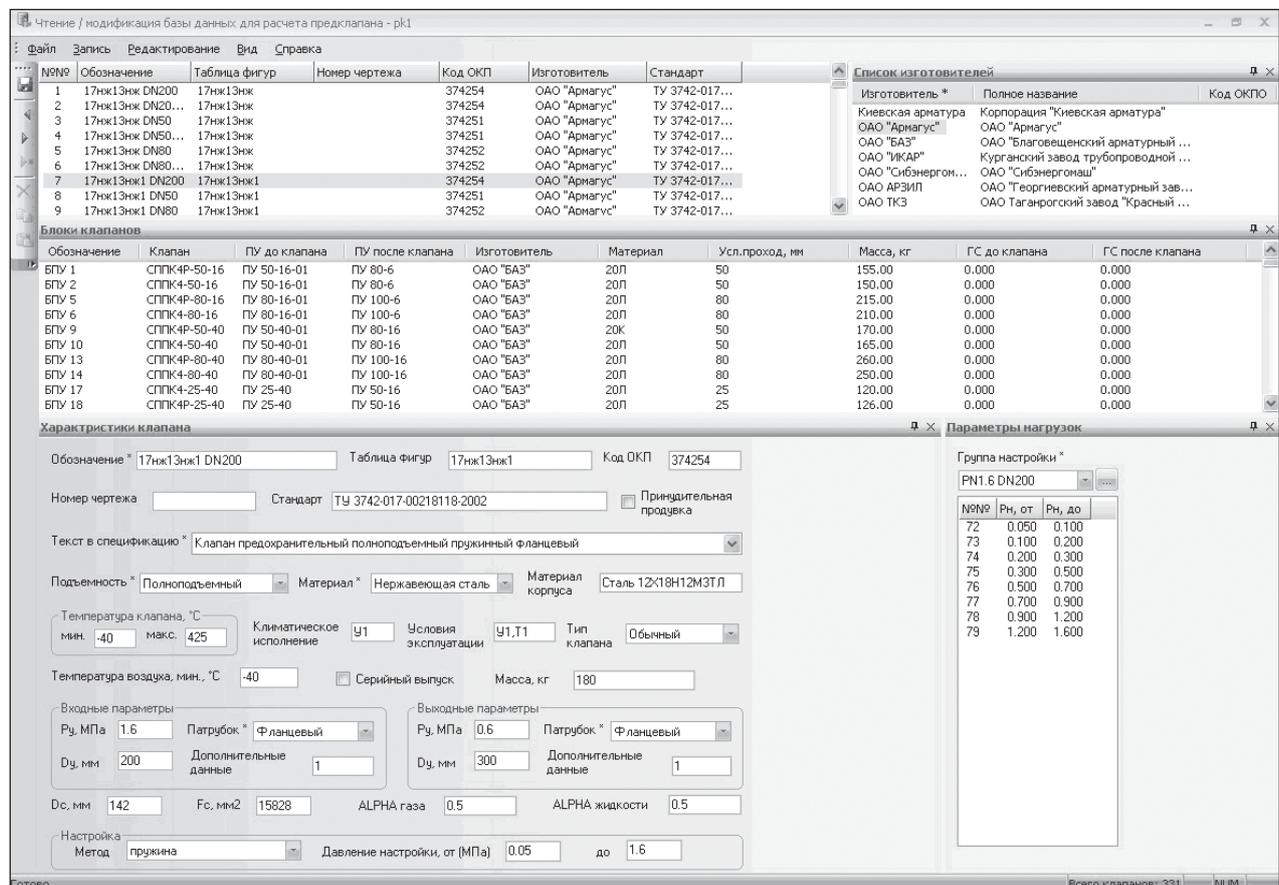


Рис. 2. База данных предохранительных клапанов и блоков

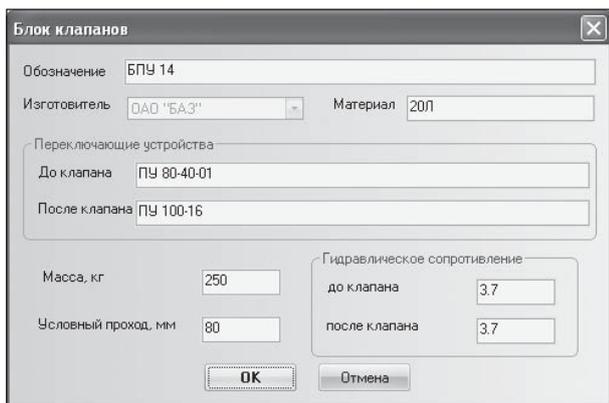


Рис. 3. Параметры блока с переключающими устройствами в базе данных программы

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 указанных расчетов, рекомендована стандартом API 520 [6]. Методика восполняет пробел действующего ГОСТ 12.2.085–2002 на расчет и выбор предохранительных устройств, не регламентирующего расчет сброса двухфазных смесей. Эта методика 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 [7].

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 сверхкритических продуктов при высоких давлениях). Расчет по методике HDI в этом случае будет более точен, чем аналогичный расчет 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 реализованная настоящая методика не позволяет рассчитывать случаи так называемого «замороженного» течения — довольно редкого случая сброса жидкости вместе с неконденсируемым газом. Особенность состоит в том, что для таких ситуаций очень важным становится учет проскальзывания фаз при их течении, которое реализованная в программе модель однородного равновесного течения (homogenous equilibrium model — HEM) не учитывает. 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 изоэнтропного расширения входящий в состав программы «Предклапан» модуль «СТАРС». Кроме того, к программе была подключена новая версия модуля «WaterSteam-Pro» для более точного расчета свойств воды, водяного пара и пароводяных смесей. И, нако-

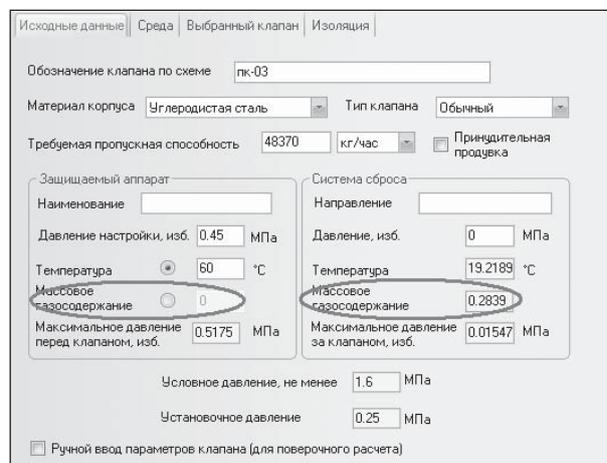


Рис. 4. Сброс вскипающего продукта

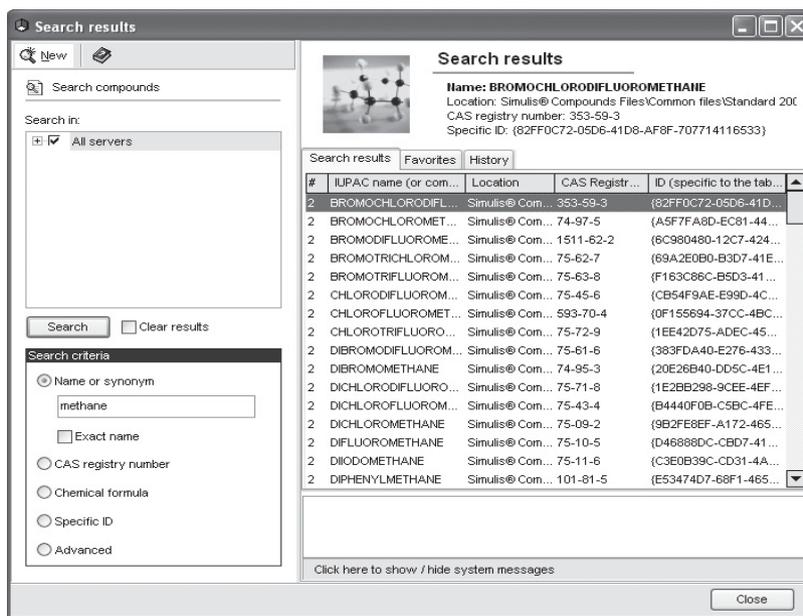


Рис. 5. Задание состава продукта в «Simulis Thermodynamics»

нец, начиная с версии 3.0 с «Предклапаном» интегрирован специальный пакет расчетов свойств «Simulis Thermodynamics» (рис. 5) французской компании «ProSim», также позволяющий выполнять расчеты теплофизических свойств сбрасываемых продуктов и их фазовых равновесий. Данный пакет содержит сведения о более 2000 различных индивидуальных веществ, позволяет моделировать так называемые псевдокомпоненты (нефтяные фракции), поддерживает возможность ведения и пополнения своей базы данных, а также обладает гибкостью настройки расчетных методов и корреляций. Область применения «Simulis Thermodynamics» значительно шире, чем библиотеки «СТАРС» (изначально «заточенной» под нефтехимию и нефтепереработку). Именно поэтому «Simulis Thermodynamics» был выбран разработчиками «Предклапана» в качестве дополнительного расчетного инструмента, который мог бы восполнить пробелы, характерные для применения «СТАРС». «Simulis Thermodynamics» может служить не только хорошим дополнением программ ООО «НТП Трубопровод», но, как и отдельный программный продукт «СТАРС», может использоваться проектировщиками самостоятельно при выполнении ими разнообразных расчетов. Подробнее о «Simulis Thermodynamics» см. статью [8].

Также 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 теп-

логидравлический 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, и теперь «Предклапан» может рассчитывать перепад давления и температуры для таких течений (рис. 6), а также отслеживать места вскипания/конденсации продукта, если это имеет место. Гидравлический расчет газожидкостных течений ведется по самым современным и наиболее точным «механистическим» моделям, кроме того, пользователь программы имеет возможность выбора и настройки методов этих расчетов. В дополнение к этому в новой версии «Предклапана» также реализован расчет случаев критического истечения в отводящих трубопроводах для двухфазных продуктов, которое нередко имеет место 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 также созданием другой программы — «Гидросистема», предназначенной для гидравлических расчетов трубопроводных систем произвольного назначения и топологии. Поэтому опыт и наработки, полученные при разработке новой версии «Пред-

Список результатов														
Сопротивления														
Сопротивление	Кол...	Длина, м	D, мм	w, м/с	Число Маха	Плотн....	Масс. сод....	Давлен....	Темп., °C	Трение, ...	Местн., ...	Динами...	Суммарн.,кПа	Режим течения
Колено с острой кро...	1		350	14.30	0.1656	10.87	0.26627	0.11225	22.22		1.86300		1.86300	Кольцевой
Прямой участок трубы	1	1.35	350	14.32	0.1656	10.86	0.26639	0.11216	22.20	0.08914		0.00259	0.09173	Кольцевой
Отвод крутоизогнутый	1	0.41	350	14.45	0.1668	10.76	0.26736	0.11147	22.04	0.05800	0.63200		0.69001	Кольцевой
Прямой участок трубы	1	1.63	350	14.47	0.1671	10.74	0.26751	0.11136	22.01	0.10642		0.00314	0.10955	Кольцевой
Отвод крутоизогнутый	1	0.41	350	14.60	0.1683	10.65	0.26850	0.11067	21.85	0.05842	0.63825		0.69666	Кольцевой
Прямой участок трубы	1	5.40	350	14.67	0.1688	10.60	0.26896	0.11032	21.77	0.33174		0.00996	0.34170	Кольцевой
Отвод крутоизогнутый	1	0.41	350	14.81	0.1700	10.50	0.26997	0.10962	21.60	0.05896	0.64647		0.70542	Кольцевой
Прямой участок трубы	1	1.55	350	14.83	0.1701	10.48	0.27012	0.10951	21.57	0.10389		0.00316	0.10705	Кольцевой
Отвод крутоизогнутый	1	0.41	350	14.97	0.1714	10.38	0.27113	0.10880	21.40	0.05939	0.65302		0.71241	Кольцевой
Прямой участок трубы	1	26...	350	15.32	0.1745	10.15	0.27351	0.10709	20.99	1.65244		0.05246	1.70490	Кольцевой

Рис. 6. Расчет двухфазного течения в отводящем трубопроводе

клапана», планируется перенести и в «Гидросистему». В этом плане 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 систем аварийного сброса. Таким образом, разработчики обеих программ нацелены на углубление интеграции между ними, что оптимизирует и сам процесс разработки программного обеспечения.

Резюмируя все вышесказанное, следует отметить, что новая версия программы «Предклапан» продолжает нелегкий путь адаптации к российским реалиям задач проектирования систем аварийного сброса и даже немного «забегает вперед», поскольку в некоторых аспектах своего развития она опережает не только инженерную практику, но и действующую нормативную базу расчетов и проектирования систем аварийного сброса. Дело в том, что многие действующие нормативные документы по проектированию таких систем, в частности ГОСТ 12.2.085–2002, не только отстают от своих зарубежных аналогов, но и зачастую содержат неточные, противоречивые и вызывающие недопонимание проекти-

ровщиков формулировки. Например, при выборе предохранительных клапанов в нормативных документах до сих пор существует путаница между параметрами защищаемой системы и самого клапана (такими как «давление настройки», «давление начала открытия клапана», «установочное давление» и т. д.), четких и правильных определений которых в данных документах нет. Программа «Предклапан» в этом случае следует международному опыту проектирования систем аварийного сброса и, начиная с новой версии, вносит большую ясность во все эти термины, исходя из их физического смысла, и, в частности, более четко разделяет параметры защищаемой системы и клапана.

Кроме того, в российских, да и в зарубежных нормативных документах недостаточно обоснованы, а зачастую и не всегда понятны требования 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 статьи, и в рамках текущей подробно рассматриваться не будет. В контексте данной статьи упомянем лишь то, 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), и наряду с другими членами Сообщества участвует в разработке специальных пособий по расчетам таких систем и планирует перенять опыт и разработки DIERS для последующего использования в рос-

сийских нормативно-методических документах и в программе «Предклапан». Параллельно с этим планируется также реализовать в программе аналогичные расчеты по различным международным нормам (EN и API) с последующим выпуском англоязычной версии программы.

Помимо упомянутых выше запланированных перспектив 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 соответ-

ствующая 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 будущих версиях программы 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 [9]), 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. [10]).

Эти и другие планируемые усовершенствования призваны сделать программу «Предклапан» еще более мощным инструментом проектировщика, а его работу — 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. ГОСТ 12.2.085–2002. Система стандартов безопасности труда. Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности.
4. ГОСТ 21.110–95. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения спецификации оборудования, изделий и материалов.
5. ГОСТ 21.1101–2009. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации.
6. API STD 520. Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Relieving Devices in Refineries. Part 1. Sizing and Selection. — 8th ed., 2008.
7. 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.
8. Корельштейн Л. Б., Лисин С. Ю. Simulis Thermodynamics. Инструмент технолога, который всегда под рукой // CADMaster. — 2011. — № 3. — С. 94–101.
9. Darby R., Molavi K. Viscosity Correction Factor for Emergency Relief Valves // Process Safety Progress. — 1997. — V. 16. — N 2. — P. 80–82.
10. Тимошкин А. И., Полозова О. В., Шапиро Е. Е. Автоматизация управления изделиями и материалами в монтажном проектировании // Технологии нефти и газа. — 2012. — № 3. — С. 56–59.

S. Yu. Lisin and L. B. Korelshteyn

### «Savety valve» Software — Russian Tool for Pressure Relief System Design

*The features of the new version of pressure relief system design software «Savety valve» are described, plans of future development of the program are discussed.*

**Key words:** pressure relief system, Safety valve software.