

ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ трубопроводов ШФЛУ

Шамиль Рахматуллин, к. т. н., Центр гидравлики трубопроводного транспорта АН РБ

В мире наиболее экономичным способом доставки углеводородного сырья, в частности, ШФЛУ, к месту переработки являются продуктопроводы. Транспортировка жидких углеводородов железнодорожным транспортом обходится на 30 % дороже, нежели трубопроводным.

Наша страна обладает достаточными для переработки объемами попутного нефтяного газа, сырья для выпуска ШФЛУ. Но сырье нечем довести — перегруженность железных дорог и одновременное отсутствие продуктопроводов не позволяют доставить избытки углеводородов к местам переработки. И это становится главным препятствием на пути наращивания мощностей нефтехимии.

В условиях острой необходимости трубопроводов некоторые российские компании приступили к их проектированию. В качестве подрядчиков привлечены российские проектные организации, используются действующие нормы. При этом опыта строительства продуктопроводов ШФЛУ у России практически нет. Существующим отечественным нормативам скоро исполнится 30 лет, они не соответствуют международным требованиям безопасности и нуждаются в серьезной корректировке.

Устаревший стандарт

Сегодня на проектирование магистральных трубопроводов, предназначенных для транспортирования сжиженных

углеводородных газов (СУГ), фракций C_3-C_4 и их смесей, нестабильного бензина и конденсата нефтяного газа и других сжиженных углеводородов с упругостью насыщенных паров при температуре плюс 40 °С не выше 1,6 МПа (16 кгс/см²), распространяются технические нормы 1985 года выпуска, СНиП 2.05.06-85*.

Актуализированная редакция — СНиП 2.05.06-2010 (исполнитель ОАО «Инжиниринговая нефтегазовая компания — Всероссийский научно-исследовательский институт по строительству и эксплуатации трубопроводов, объектов ТЭК»), также как и СНиП 2.05.06-85*, увы, не отвечает современным требованиям по надежности и безопасности эксплуатации трубопроводов ШФЛУ различных марок. Оснований для такого утверждения несколько.

Марки ШФЛУ

Широкая фракция легких углеводородов является сырьем, полупродуктом для последующих химических переделов. Всероссийским научно-исследовательским институтом углеводородного сырья (ВНИИУС) еще в начале 90-х годов были разработаны технические условия ТУ 38.101524-93 на ШФЛУ, предназначенной для использования в качестве сырья на газофракционирующих установках (ЦГФУ и ГФУ) с целью получения углеводородов, например этилена. Именно в этом ТУ было введено новое допущение — о возможном

увеличении в транспортируемой смеси этана. Желание увеличить долю этана в транспортируемой смеси соблазняло многих переработчиков долгие годы. Такое сырье дороже и эффективнее в переработке. Но смесь становится опасной, необходимо менять все технические требования к транспортировке, и новые требования к материалам, зонам, оснащению полностью съедают прибыль от «этанизации».

Итак, согласно указанным ТУ 1993 года выпуска, ШФЛУ — это смесь предельных углеводородов C_2-C_6 и выше со значительно большей (10–15 %) по сравнению с прежними ТУ (3–5 %) массовой долей этановой фракции.

Каковы практические последствия данной новации? Наличие в ШФЛУ более легколетучего компонента — этана — приводит к повышению в трубопроводах избыточного давления насыщенных паров свыше допустимого (1,6 МПа), который ранее оговаривался СНиПом 2.05.06-85*. Поэтому данное изменение сделало невозможным использование при проектировании и строительстве продуктопроводов ШФЛУ существующего СНиП 2.05.06-85* — поскольку, например, давление насыщенных паров ШФЛУ марок С, Д и Е (см. табл. 2) при температуре плюс 40 °С кратно превышает значение в 1,6 МПа, допустимое согласно СНиПу 1985 года.

В 2010 году СНиП был снова актуализирован. В новой редакции СНиП 2.05.06.-2010 состав продукта перекачки



При переработке НПГ получают до 10 % ШФЛУ. Раньше попутный газ сжигали на месте добычи в факелах, но с 2012 года правительство требует от нефтяных компаний довести его утилизацию до 95 %

вернули к нормам СНиП 2.05.06-85* — содержание этана 3–5 %.

Получается, что наиболее свежие нормы проектирования можно использовать в случае транспортировки смесей, содержание этана в которых не превышает 5 %.

Число насосных станций

Давление, необходимое для транспортировки ШФЛУ и сохранения фракции в жидком состоянии, создается с помощью насосных станций. Согласно требованию п. 12.3а «родительского» СНиП 2.05.06-85*, минимальное давление в любой точке трубопровода с целью предотвращения образования двухфазного потока (жидкость — газ) должно быть выше упругости паров продукта на 0,5 МПа. Если не принимать во внимание действовавшее в прошлом веке и снова действующее ограничение на долю этана в смеси, а сконцентрироваться на физических параметрах и аппаратурном обеспечении, для создания такого превышения давления у новых ШФЛУ — марок С, Д, Е, необходимо сокращение межстанционных расстояний. Это приводит к увеличению числа насосных станций и неминуемо удорожает стоимость проекта, о чем было сказано выше.

Таблица 1. Свойства различных марок ШФЛУ

Наименование показателя	Норма по маркам			
	А	С	Д	Е
Массовая доля компонентов, %				
Метан, не более		1,0	1,0	1,0
Этан, не более		7,0	16,0	30,0
Пропан, не менее		15,0	15,0	15,0
Сумма углеводородов C ₄ –C ₅ , не менее		45,0	40,0	40,0
Сумма углеводородов C ₆ и выше, не более		15,0	15,0	15,0
Давление насыщенных паров (избыточное), МПа, при температуре				
плюс 10 °С, не более	0,44			
плюс 30 °С, не более	0,78	1,5	2,0	2,7
плюс 50 °С, не более		2,0	3,0	3,6

Новые требования к давлению и повышению количества переходов, ставшие следствием «добавления» большого количества этана — не единственный фактор, влияющий на безопасность и цену проектного решения.

Хрупкое разрушение

Содержание в ШФЛУ этана, легколетучего компонента, в количестве, соответствующем маркам С, Д, Е (см. табл. 1, 2), существенно изменяет термодинамические свойства жидкости при образовании

паров. Подобная ситуация возникает, например, при неровном рельефе местности, когда верхний конец участка трубы оказывается выше нижнего конца.

Интенсивное парообразование приводит к снижению температуры жидкости и соответственно — падению температуры стенки трубы. Амплитуда такого снижения температуры существенно возрастает при увеличении в ШФЛУ этановой фракции до 10–30 %, и температура стенки трубы может понизиться до отрицательных значений. Это, в свою очередь, приводит

Давление насыщенных паров ШФЛУ новых марок С, Д и Е кратно превышает допустимое СНиПом 2.95.06-85*.

пара в СУГ. Пар при эксплуатации трубопроводов может образоваться в двух случаях.

Первый: аварийный разрыв стенки трубы и перекрытие с двух сторон аварийного участка линейной арматурой.

Второй случай — течение продукта с неполным заполнением сечения трубопровода, так называемая самотечная транспортировка, когда расход по рассматриваемому участку трубопровода меньше его самотечной производи-

тельности. Подобная ситуация возникает, например, при неровном рельефе местности, когда верхний конец участка трубы оказывается выше нижнего конца.

Поэтому при аварийном разрыве стенки трубопровода и истечении транспортируемого продукта через аварийное отверстие происходит снижение в перекрытом запорной арматурой участке трубопровода давления и температуры.

Таблица 2. Зависимость давления насыщенных паров ШФЛУ марок А, С, Д, Е от температуры

Р, МПа	t, °С	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	А		0,289	0,32	0,376	0,44	0,511	0,59	0,681	0,78	0,89	1,01	1,14
С		0,832	0,937	1,05	1,1	1,19	1,3	1,41	1,53	1,64	1,77	1,9	2,03
Д		0,846	0,965	1,11	1,25	1,41	1,59	1,78	1,99	2,21	2,45	2,71	2,98
Е		1,44	1,58	1,74	1,91	2,1	2,26	2,45	2,65	2,85	3,07	3,3	3,54

Таблица 3. Зависимость давления насыщенных паров ШФЛУ марок А, С, Д, Е от температуры

Температура ШФЛУ на участке до аварии, $T_{ш,п}$, К	Давление насыщенных паров ШФЛУ, РП, МПа (кгс/см ²)	Степень дросселирования давления, $\Delta p_n = p_n - p$, (МПа)	Температура ШФЛУ после дросселирования, $T_{ш,п}$, К(°С)
Вариант 1: массовая доля этана 9,26 %			
263	0,4266 (4,266)	0,3266 (3,266)	234,65 (-38,35)
273	0,5597 (5,597)	0,4597 (4,597)	240,12 (-32,88)
283	0,7217 (7,217)	0,6217 (6,217)	246,16 (-26,84)
293	0,9141 (9,141)	0,8141 (8,141)	252,82 (-20,18)
303	1,1402 (11,402)	1,0402 (10,402)	259,4 (-13,60)
313	1,3996 (13,996)	1,2996 (12,996)	264,87 (-8,13)
Вариант 2: массовая доля этана 11,6 %			
263	0,5929 (5,929)	0,4929 (4,929)	228,0 (-45,0)
273	0,7551 (7,551)	0,6551 (6,551)	233,87 (-39,13)
283	0,9419 (9,419)	0,8419 (8,419)	239,4 (-33,6)
293	1,161 (11,61)	1,061 (10,61)	246,6 (-26,4)
303	1,4093 (14,093)	1,3093 (13,093)	249,8 (-23,2)
313	1,6904 (16,904)	1,5904 (15,904)	258,2 (-14,8)
<p>Примечание: Компонентный состав ШФЛУ (массовое содержание компонента в %) в таблице: для варианта 1: углекислого газа – 1,18; метана – 0,09; этана – 9,26; пропана – 32,1; i – бутана – 13,37; n – бутана – 17,22; n – пентана – 14,02; l – пентана – 7,18; n – гексана – 3,63; n – гептана – 1,23; n – октана – 0,5; n – нонана – 0,17; n – декана – 0,06; для варианта 2: углекислого газа – 1,62; метана – 0,09; этана – 11,66; пропана – 31,61; i – бутана – 11,79; n – бутана – 19,36; n – пентана – 10,08; i – пентана – 6,99; n – гексана – 4,42; n – гептана – 1,50; n – октана – 0,61; n – нонана – 0,20; n – декана – 0,07</p>			

Таблица 4. Зависимость давления насыщенных паров ШФЛУ марок А, С, Д, Е от температуры

Концентрация этана в ШФЛУ, % масс.	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	30
Температура после дросселя, °С	-29	-32,24	-34,95	-37,42	-39,86	-42,07	-44,26	-46,35	-48,37	-50,32	-60*
Давление до дросселя 6,4 МПа (изб.), после дросселя – 0, МПа (изб.) температура до дросселя минус 5 °С. * – получено экстраполяцией.											

Давление сначала снижается с рабочего до давления насыщенных паров, а потом по мере опорожнения — до атмосферного, если истечение происходит в атмосферу.

В таблице 4 приведены минимальные температуры, достигаемые при снижении рабочего давления ШФЛУ различного состава для продуктопровода «Южный Балык головная насосная

требования к материалам и конструкции трубопровода. Хладостойкость металла может быть повышена путем легирования, например, никелем.

Но существующими на сегодня ТЭО при проектировании трубопроводов для этансодержащих ШФЛУ такое усиление конструкции не предусмотрено. Это означает, что проектирование трасс должно быть проведено компаниями заново, при этом стоимость запланированных магистральных трубопроводов резко возрастет, а экономическая эффективность снизится.

Кроме того, новый проект потребует много времени не только на разработку, но и на многочисленные согласования. Не говоря о том, что «под него» необходимо будет принимать новые нормы, находящиеся в ведении правительства.

Заложенные «Сибуром» продуктопроводы нарушают нормы действующего СНиП 2.05.06-2010: диаметр трубы 720 мм вместо разрешенных 500 мм и содержание этана до 10 % вместо допустимых 5 %.

Результаты численного моделирования понижения температуры ШФЛУ на аварийном участке трубопровода при ее истечении через дефектное отверстие показали, что температура охлаждения для ШФЛУ с повышенным содержанием этана может в реальных условиях эксплуатации достигать минус 45 °С, что становится причиной хрупкого разрушения трубы.

станция — «Тобольск-Нефтехим» до атмосферного при истечении через суженное отверстие (дросселирование). Все эти температуры имеют отрицательные величины.

Таким образом, повышенное содержание этана в ШФЛУ приведет к существенному снижению температуры в аварийных условиях, а значит, меняет

Стабилизаторы «Волнотех»

Российской инжиниринговой компанией «Волнотех» разработаны специальные технические устройства — стабилизаторы давления (СД), принцип действия которых основан на распределенном по его длине диссипативном и упругодемпфирующем воздействии на поток перекачиваемой жидкости. Срок службы упругодемпфирующих элементов СД при соблюдении условий эксплуатации составляет не менее 5 лет для резинотехнических изделий и не менее 8 лет — для металлических. Стабилизаторы давления представляют собой модульные конструкции, состоящие из корпуса, перфорированной трубы и демпфирующих камер (рис.1).

По сравнению с устройствами защиты от гидроудара, используемыми сегодня на магистральных трубопроводах, СД не требуют обслуживания в процессе эксплуатации, обладают быстродействием, монтируются путем врезки в трубопровод, нет необходимости сброса жидкости в резервуары. Все это позволяет рекомендовать технологию противоаварийной защиты на основе СД в качестве норматива при формировании нового «Свода правил на проектирование магистральных трубопроводов сжиженных углеводородных газов».



Рис. 1 Стабилизатор давления на трубопроводе

Сплошное несовершенство

Так ли идеален СНИП 1985 года выпуска? Увы, нельзя не отметить, что некоторые пункты существующего СНИП 2.05.06-85* носят декларативный характер. Так, в пункте 12.13* указано, что «каждый узел линейной запорной арматуры должен иметь обвязку трубопроводами диаметром 100–150 мм, обеспечивающую возможность перепуска и перекачки СУГ из одного участка в другой и подключения инвентарного устройства утилизации». Однако это не решает вопрос оперативного освобождения аварийного участка от продукта. Откачка кипящей жидкости автономным насосом невозможна, так как давление на аварийном участке всегда ниже, чем на соседнем.

Таким образом, главный вопрос эксплуатации продуктопроводов — контроль и управление выходом продукта при нештатных ситуациях — не может быть решен при проектировании трубопроводов по существующим СНИПам, в том числе «родительским», 1985 года выпуска.

Защита от гидроударов

В действующих требованиях на проектирование трубопроводов сжиженных углеводородных газов, представленных в СНИП 2.05.06.-85*, отсутствуют какие-либо рекомендации и правила к проектным решениям, направленным на обеспечение безопасности трубопроводной системы при переходных процессах. Однако важно отметить, что нормируемые диаметры трубопроводов в старом СНИПе не превышают 400 мм, а ТЭО ныне проектируемых продуктопроводов де-факто вводят гораздо большие диаметры, что также повышает опасность эксплуатации трубопровода и должно сопровождать-

ся еще более жесткими требованиями к системам жизнеобеспечения «трубы».

Возникающие при переходных процессах волны давления, распространяясь вдоль трубопровода, могут привести к перегрузкам по давлению и разрыву трубы, если будут применены новые мега-диаметры и заложенные новыми проектами, недостаточно прочные материалы.

Кроме того, волны давления, отраженные от предшествующей насосной станции, могут стать причиной недо-

важной становится обоснованная оценка минимальных безопасных расстояний. Расстояния от оси подземных трубопроводов, предназначенных для транспортирования СУГ, до городов и населенных пунктов, зданий и сооружений инфраструктуры должны приниматься в зависимости от диаметра трубопровода, степени ответственности объекта, рельефа местности, вида и свойств перекачиваемых продуктов, в том числе температуры кипения.

Повышенное содержание этана в ШФЛУ приводит к резкому снижению температуры в аварийных условиях, а значит, меняет требования к материалу для трубопроводов и повышает его стоимость.

пустимого понижения давления, нарушающего сплошность потока, которое, в свою очередь, вызовет усиление ударных волн, повышение механических вибраций элементов системы.

Для гашения гидравлических ударных нагрузок в настоящее время на входе в каждую НПС действующих нефтяных трубопроводов диаметром более 700 мм установлены импортные системы сглаживания волн давления «Акрон-1000». Это устройство значительно сложнее и более дорогостоящее, чем клапаны сброса, которые входят в них ныне как составная часть. И те и другие имеют достоинства и недостатки.

Диаметр и санитарная зона

Поскольку трубопроводы зачастую проходят вблизи населенных пунктов, промышленных объектов и транспортных коммуникаций, где велика концентрация людей, то при их проектировании особо

Как упоминалось выше, СНИП 2.05.06-85* ограничивал диаметр продуктопроводов ШФЛУ на уровне 400 мм. Именно для этого или меньшего диаметра, «свыше 300 до 400 мм включ.», устанавливались минимальные расстояния от трубопровода до населенного пункта, так называемые санитарные зоны. В первой редакции более нового свода правил СНИП 2.05.06-2010, разрабатываемых ОАО «Инжиниринговая нефтегазовая компания — Всероссийский научно-исследовательский институт по строительству и эксплуатации трубопроводов, объектов ТЭК», размер номинальных диаметров был увеличен до 300–500 мм. Но при этом минимально допустимые безопасные расстояния остались без изменений! С точки зрения специалиста данный факт выглядит парадоксально, противоречит хрестоматийным правилам проектирования.

На практике — именно при транспортировке сжиженных углеводородов по трубопроводам диаметром более 400



Утверждение схемы продуктопровода «Пуровский ЗПК — Южно-Балыкский ГПК» вызвало конфликт с местным населением, так как продуктопровод должен пройти по территории оленьих пастбищ. Была создана комиссия по вопросам территорий традиционного природопользования, члены которой порекомендовали доработать со всеми сторонами план размещения трубопровода

мм резко возрастает число отказов и аварий (о статистике отказов читайте в статье «Большая труба ценою в жизнь», № 8/2011 «Химического журнала»). Разрушение продуктопровода диаметром 720 мм стало причиной трагедии 1989 года под Уфой, унесшей около 600 человеческих жизней.

В перечень объектов, не соответствующих требованиям безопасности, попадает проектируемый продуктопровод диаметром 720 мм «Южный Балык ГНС — „Тобольск-Нефтехим”» компании «Сибур».

Для продуктопроводов диаметром более 400 мм и тем более 530 мм — минимально допустимые расстояния до населенных пунктов и объектов инфраструктуры должны быть значительно больше. Таким образом, объекты и сооружения, которые удовлетворяют требованиям безопасности по ныне принятым нормам, на деле могут стать причиной трагедии.

В перечень объектов, не соответствующих описанным данной статьей требованиям безопасности, попадает, в частности, проектируемый продуктопровод диаметром 720 мм «Южный Балык ГНС — „Тобольск-Нефтехим”» компании «Сибур».

Драматический сюжет

Итак, разрабатываемые стандарты в своих текущих редакциях отклоняются от требований безопасности в части разрешенных диаметров трубы, требований к составу металла, количеству переходов и насосных станций, размеру санитарных зон. Но коллизия вокруг новых стандартов на проектирование продуктопроводов ШФЛУ не исчерпывается отклонением от старых российских или действующих международных норм.

За создание фактически одного и того же документа в Российской Федерации с разных концов принялись два ведомства.

Актуализированные СНИП 2.05.06. — 2010 разрабатываются по заказу «Федерального центра нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве», находя-

щегося в подчинении Минрегионразвития РФ.

За создание дублирующего документа — проекта стандарта «Магистральный продуктопровод ШФЛУ. Нормы проектирования» взялся Технический комитет по стандартизации Росстандарта.

Разработкой «дубля» занимаются две организации: ОАО «НИИГазпереработка» и ЗАО «НТЦ ПБ». Заказчиком, который финансирует работу, является ЗАО «Сибур Холдинг» — компания, которая активизировала строительство новых продуктопроводов и расширение существующих. Основанием для выполнения этой работы является программа НИОКР корпоративного уровня того же «Сибура». Техническое задание на разработку нацстандарта готовится его разработчиками и утверждается заказчиком, компанией «Сибур».

Основное различие двух документов, разрабатываемых Минрегионом в рамках закона и Росстандартом по заказу «Сибура», это состав транспортируемой смеси ШФЛУ и диаметр трубы. Если актуализированная редакция СНИП 2.05.06. — 2010 предусматривает возможность строительства труб с диаметром до 500 мм для транспортирования фракций C_3 и

C_4 и их смесей, нестабильного бензина и нестабильного конденсата (в дальнейшем СУГ), т. е. без этановой фракции C_2 , то исполнители, работающие по заказу «Сибура», в своих Специальных технических условиях (СТУ) на проектирование трубопровода «Южный Балык ГНС — „Тобольск-Нефтехим»» протяженностью 416 км планируют перекачку СУГ с содержанием в смеси массовой доли этана от 3,62 % до 10,062 %, сохранив при этом минимальные расстояния от оси трубопровода до объектов, зданий и сооружений.

Важно отметить, что в РФ *национальные стандарты* на проектирование продуктопроводов отсутствуют — допускается только разработка свода правил, ответственность за которые лежит вовсе не на исследовательских организациях. И даже Росстандарт не вправе принимать эти правила. Прерогатива разработки подобных норм находится у федерального органа исполнительной власти — Минрегионразвития РФ.

Очевидно, что наличие второго регламентирующего документа, создаваемого на сомнительных основаниях и отличающегося от «основного закона» понятными разночтениями, частично оправдывает уже написанные ТЭО проектов, по которым начато строительство. Срыв запуска транспортного проекта приведет компанию к миллиардным убыткам, в частности, потому, что на конце «трубы» находится гигантский перерабатывающий комплекс, который должен быть пущен в определенные сроки.

Кроме очевидных экономических мотивов за принятыми оргулиями стоит вопрос правовой. Если «запрограммированные» отклонения от норм безопасности приведут к ожидаемым технологическим срывам, определение виновной стороны будет затруднено.

Правомочно ли отдавать в частные руки разработку свода правил на объекте совокупной протяженностью в тысячи километров, учитывая драматический опыт эксплуатации подобных объектов в прошлом? Будет печально, если ответ на этот вопрос станут искать суды по следам новых трагедий.

А ведь насколько было бы проще воспользоваться опытом крупнейших государств и компаний, занимающихся строительством и эксплуатацией магистральных продуктопроводов последние двадцать лет, зарегистрировать Национальным органом Российской Федерации по стандартизации в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов действующий международный стандарт — так, как это сделали российские строители, железнодорожники, фармацевты.

Тем более что статья 14 Федерального закона № 184-ФЗ «О техническом регулировании» это допускает. ■

ЭНЕРГИЯ МОБИЛЬНОСТИ ОТ

LANXESS
Energizing Chemistry

Мобильность растет и набирает скорость по всему миру. Мы, как лидер в сфере специальной химии, полимеров и высокотехнологичных синтетических каучуков, обеспечиваем соответствие автомобилей и шин возрастающим требованиям безопасности, энергоэффективности и экологии. www.lanxess.ru

КОНЦЕРН LANXESS НА ВЫСТАВКЕ

«ШИНЫ, РТИ И КАУЧУКИ 2012»

Стенд 3В90, Павильон 3, Экспоцентр, Москва, РФ
17–20 апреля 2012 г.