

Анализ риска

УДК 331.461

© Коллектив авторов, 2007

АНАЛИЗ РИСКА АВАРИЙ НА МАГИСТРАЛЬНОМ ТРУБОПРОВОДЕ, ТРАНСПОРТИРУЮЩЕМ ШИРОКУЮ ФРАКЦИЮ ЛЕГКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

*С.И. СУМСКОЙ, А.В. ПЧЕЛЬНИКОВ, канд. физ.-мат. наук,
Е.Л. ШАНИНА, М.В. ЛИСАНОВ, д-р техн. наук (НТЦ «Промышленная безопасность»),
В.В. ЗОЗУЛЯ (ОАО «НИПИгазпереработка», г. Краснодар)*

Аварии на магистральных трубопроводах, по которым транспортируются широкая фракция легких углеводородов (ШФЛУ), легкокипящие жидкости (газовый конденсат, нестабильный бензин) и сжиженные газы, т.е. продукты, переходящие в газообразное или двухфазное состояние при снижении давления, — наиболее опасные по своим воздействиям на население, имущество и окружающую среду (при воспламенении) [1]. В связи с наметившимся в настоящее время интенсивным строительством и реконструкцией трубопроводов перекачки легкокипящих жидкостей и сжиженных газов, проложенных вблизи населенных пунктов, проблема обеспечения безопасности — весьма актуальна.

Следует особо отметить, что выбросы вскипающих жидкостей, транспортируемых под давлением, существенно превышающим давление насыщенных паров, имеют повышенную опасность. Во-первых, при выбросе вскипающих жидкостей значительная доля жидкой фазы (20–25 %) переходит в газообразное состояние за счет энергии перегрева. Эта газовая фаза распространяется в атмосфере в виде дрейфующих пожаровзрывоопасных облаков. Во-вторых, при вскипании жидкой фазы образуется существенное количество аэрозольных капель, которые до своего выпадения на землю могут испариться и тем самым увеличить объем взрывоопасного облака почти в 2 раза. В-третьих, на стадии напорного истечения, когда в трубопроводе за счет нагнетания создается высокое давление, возможно интенсивное поступление опасного вещества в окружающую среду. И в-четвертых, повышенное давление насыщенных паров внутри трубы на стадии самотечного истечения будет значительно увеличивать скорость выброса по сравнению с аварийным истечением нефти и нефтепродуктов из магистральных трубопроводов. Повышенная опасность выбросов вскипающих жидкостей связана с созданием протяженных зон поражения [2]. Поэтому оценка последствий аварийных выбросов таких веществ имеет особое значение.

Важность и необходимость получения адекватных оценок опасности магистральных трубопроводов подтверждается и статистикой аварий. Например, самое большое количество пострадавших при выбросе пожаровзрывоопасной смеси зарегистрировано именно при аварии на магистральном продуктопроводе, транспортирующем ШФЛУ, которая произошла под Уфой, на перегоне между станциями Казаяк и Улу-Теляк, на 1710-м км (Башкирское отделение) Куйбышевской железной дороги (Башкирское отделение), в ночь с 3 на 4 июня 1989 г. [1].

Магистральный трубопровод с рабочим давлением 3,5–3,8 МПа проходил по холмистой, покрытой лиственными лесами, местности. Склон ближайшего холма до железной дороги был прорезан глубоким оврагом. Протяженность трубопровода между соседними насосными станциями составляла 555 км, диаметр труб $D_y = 700$ мм. Отключающая арматура с электроприводом по трассе была установлена через 10–13 км. Из-за отсутствия сигнализации о снижении давления и дистанционных средств управления в системе не удалось оперативно заблокировать аварийный участок трубопровода. Выброс ШФЛУ произошел вследствие разрушения верхней части трубы продуктопровода на расстоянии 900 м от полотна железной дороги. Длина раскрытой полости вдоль трубы составила 1989 мм, максимальная ширина — 1060 мм. Общая площадь раскрытия превышала в 2 раза площадь проходного сечения трубопровода ($0,77$ м²).

Пары углеводородов, испарившиеся с растекающейся обширной (вследствие особенностей рельефа местности) поверхности пролива, заполнили ложбину у железной дороги. Облако топливно-воздушной смеси распространилось над поверхностью земли на расстояние более 900 м и достигло железной дороги. Идущие навстречу друг другу поезда вызвали турбулизацию смеси и ее воспламенение. В 1 ч 10 мин местного времени произошел взрыв смеси. В зоне взрыва оказались два пасса-

жирских поезда, в которых находились 1284 человека. При катастрофе погибли или получили травмы разной степени тяжести 1224 человека. Следствием катастрофы явилось ужесточение требований к вопросам безопасности, в том числе внесение дополнений в СНиП 2.05.06—85* «Магистральные трубопроводы» в части существенного увеличения минимальных расстояний от магистральных продуктопроводов до населенных пунктов.

На сегодняшний день СНиП 2.05.06—85* содержит требования, ограничивающие не только минимальные допустимые расстояния до населенных пунктов и объектов инфраструктуры, но и диаметр трубопровода (D_y не более 400 мм). Зачастую (в условиях реконструкции магистральных продуктопроводов, расположенных вблизи населенных пунктов) выполнение этих требований экономически невыгодно или вообще невозможно. Кроме того, существующая сеть магистральных продуктопроводов для перекачки ШФЛУ по большей части построена до корректировки СНиП 2.05.06—85*, связанной с аварией под Уфой в 1989 г., и часто выполнена из труб D_y более 400 мм. Для обоснования отступлений от нормативных расстояний применяются как организационно-технические мероприятия, так и уточнение опасных зон, а также сравнение полученных с помощью всесторонней оценки риска показателей с фоновыми и приемлемыми уровнями риска.

В данной статье рассматриваются метод и результаты оценки риска аварий на примере реконструируемого магистрального продуктопро-

вода, транспортирующего ШФЛУ. Трубопровод $D_y = 500$ мм расположен в Тюменской обл., протяженность его более 300 км, соединяет он ряд газоперерабатывающих заводов. По трассе имеются многочисленные (более 50 мест) сближения продуктопровода с населенными пунктами, производственными объектами, железными и автомобильными дорогами на расстояние, значительно меньшее допустимого по СНиП 2.05.06—85*.

В связи со сложностью процессов, происходящих при выбросе ШФЛУ, особую важность приобретает корректный расчет массы утечек при аварийной разгерметизации продуктопровода с учетом вероятности их возникновения. На рис. 1 приведено распределение средневзвешенной (по всем рассмотренным сценариям возможных аварий) массы выброса ШФЛУ по трассе трубопровода с усреднением для каждого километра. Масса выброса варьируется от десятков до сотен тонн. При расчете объема выброса использовалась адаптированная к особенностям двухфазного истечения модель [3, 4], учитывающая физические процессы, характерные для аварийного истечения из протяженных трубопроводных систем.

Размеры зон действия поражающих факторов при авариях на линейной части трубопровода обусловлены:

скоростью выброса ШФЛУ из отверстия (что, в свою очередь, зависит от размера отверстия и давления в месте разгерметизации и возможных условий вскипания жидкости в трубопроводе);

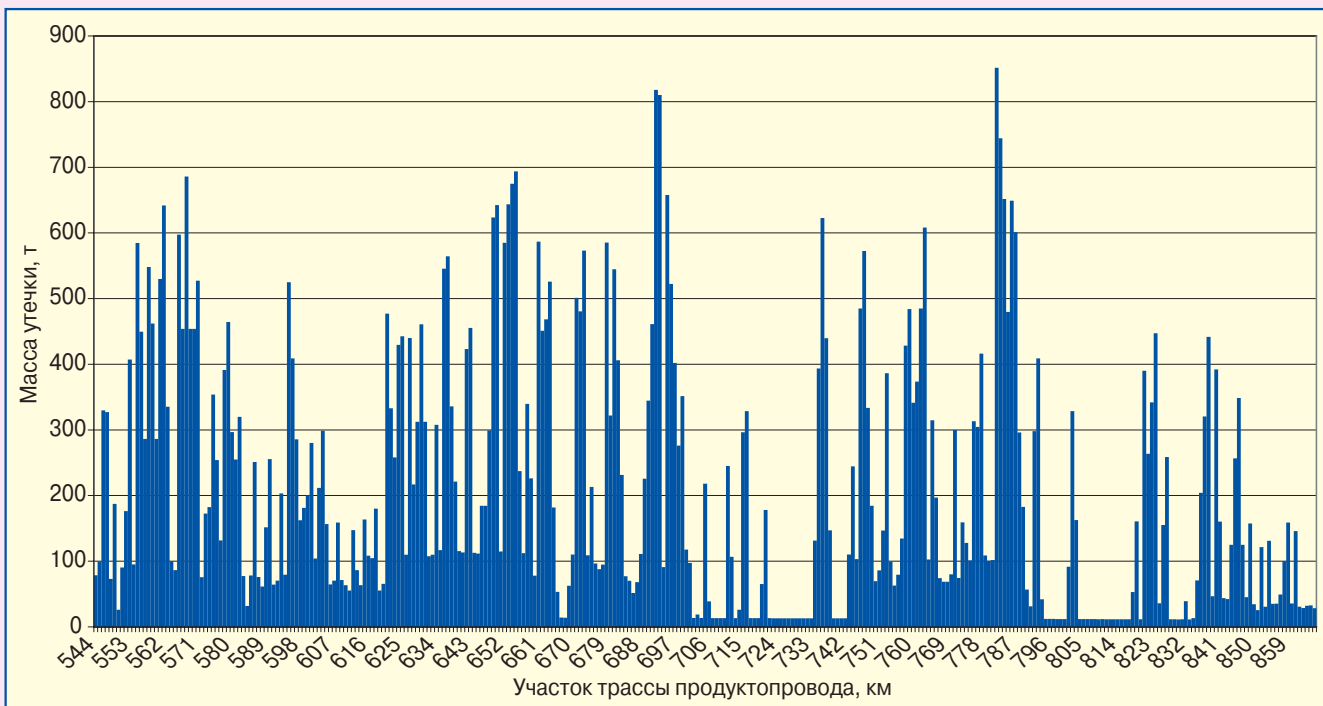


Рис. 1. Распределение средневзвешенной по всем сценариям возможных аварий массы утечки ШФЛУ по трассе продуктопровода

размерами площади пролива ШФЛУ (объемами выброса, рельефом местности);
 характером наведенного течения в атмосфере на месте выброса;
 условиями вскипания и испарения ШФЛУ;
 условиями рассеяния выброса и, в частности рельефом местности;
 возможностью воспламенения ШФЛУ.

Для данного объекта определены размеры зон поражения: пламенем и тепловым излучением при пожаре пролива ШФЛУ; пламенем и тепловым излучением при формировании горящего факела на трубопроводе; открытым пламенем и ударной волной при сгорании дрейфующего в атмосфере облака.

Согласно расчетам последствий аварии по трассе трубопровода при сгорании дрейфующего облака размер зоны поражения варьируется в очень широких пределах (рис. 2): от нескольких десятков (40–50 м — при утечке через свищ, высоких скоростях ветра и низких температурах окружающей среды) до нескольких сотен метров (1150 м — при гильотинном разрыве трубопровода, низких скоростях ветра, плохих условиях рассеяния и высоких температурах окружающей среды).

При аварийном выбросе ШФЛУ из трубопровода люди могут погибнуть только в случае реализации сценариев с загоранием облака или разлива ШФЛУ. Наиболее опасными, с точки зрения возможного числа пострадавших, считаются места прохождения трубопровода вблизи населенных пунктов и производственных (сельскохозяйственных) объ-

ектов, где работают люди, на удалении до 1150 м. Таких мест на трассе достаточно много и количество людей, попадающих в опасную зону, составляет более 8000 чел.: в населенных пунктах и организациях, расположенных вблизи трубопровода, — до нескольких сотен человек; в местах пересечения с транспортными артериями — от нескольких человек до нескольких сотен, в зависимости от типа коммуникаций (автомобильные или железные дороги, реки).

Кроме определения числа пострадавших был оценен и ущерб от возможных аварий на продуктопроводе. Для определения ущерба, связанного с утратой перекачиваемого продукта, было использовано понятие «потери ШФЛУ от аварии». При ликвидации последствий аварии продуктопровод должен быть полностью освобожден от остатков ШФЛУ (в пределах участка, отключаемого запорной арматурой), которые удаляются из трубопровода и сжигаются в специальных амбарах. Таким образом, убытки эксплуатирующей организации от потерь ШФЛУ при аварии складываются как из стоимости вытекшего при аварии продукта, так и стоимости ШФЛУ, сожженного при опорожнении трубопровода.

Согласно данным ВНИИГАЗа [5] частота аварий на магистральных продуктопроводах ШФЛУ может быть принята равной $0,15 \text{ год}^{-1}/1000 \text{ км}$. Частота возникновения аварийной ситуации с выбросом ШФЛУ выше определенной массы приведена на рис. 3.

Для оценки показателей риска было рассмотрено около 15 млн. конкретных реализаций аварийных ситуаций. Анализировались аварии на трубопроводе с шагом 100 м (3240 точек на всю трассу). Для каждой точки рассматривались аварии с четырьмя возможными вариантами разгерметизации трубопровода: свищ, маленькая, средняя и большая трещины. Большая трещина — «гильотинный» разрыв. Каждая авария рассматривалась при определенных погодных условиях (одно из 8 направлений ветра, один из 12 месяцев года, один из 3 диапазонов скорости ветра — 1, 3 или 9 м/с, одно из 2 времен суток — день или ночь). По всем этим сценариям с учетом вероятности инициирующего события (разгерметизация трубопровода) построено поле потенциального риска, фрагмент которого для последних километров

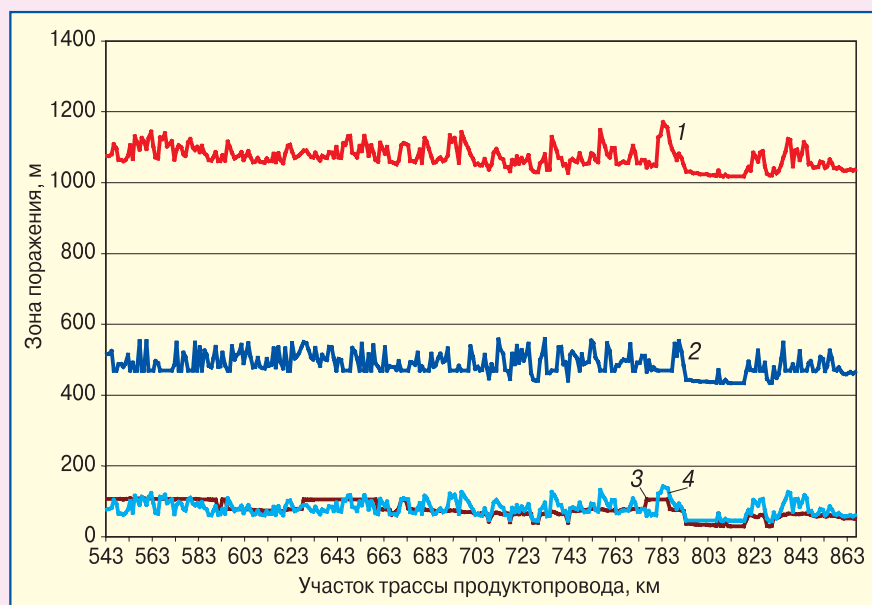


Рис. 2. Размеры зон смертельного поражения по трассе продуктопровода ШФЛУ:

1, 2 и 3 — сгорание дрейфующего облака соответственно 1 м/с, стаб. F; 9 м/с, стаб. D («гильотинный» разрыв) и 1 м/с, стаб. F («свищ»); 4 — пожар пролива («гильотинный» разрыв)

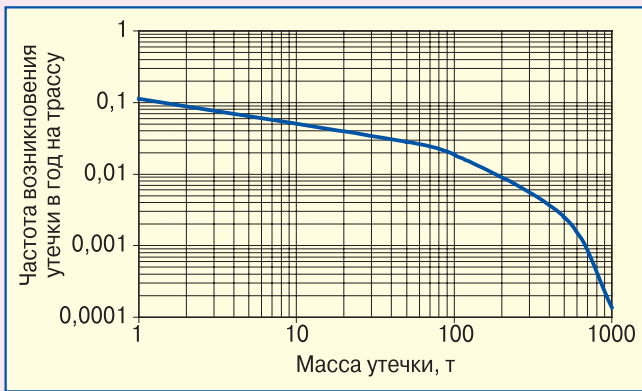


Рис. 3. Частота возникновения аварийных ситуаций с утечкой ШФЛУ выше указанной величины

трассы представлен на рис. 4. Уровень 10^{-6} год $^{-1}$ достигается на расстоянии 50–100 м от трубопровода и лишь на отдельных участках трассы; уровень 10^{-7} год $^{-1}$ — 250–350 м; 10^{-8} год $^{-1}$ — 500–700 м, а 10^{-9} год $^{-1}$ — на расстоянии 800–1000 м. Обобщенные показатели риска по трассе продуктопровода представлены ниже.

Частота аварий, год $^{-1}$:	
на трассе (324 км)	0,097
на 1000 км трассы	0,15
Средняя масса, т:	
утечек ШФЛУ при аварии	200
потерь ШФЛУ при аварии.....	900
Ожидаемые утечки ШФЛУ (на 1000 км трассы), т/год	60
Ожидаемые потери ШФЛУ (на 1000 км трассы), т/год	270
Ожидаемая средняя масса, т/год:	
утечек ШФЛУ по трассе.....	20
потерь ШФЛУ по трассе.....	90

Средний размер ущерба, тыс. руб.,.....	2800
в том числе:	
платы за загрязнение окружающей среды при аварии	100
потерь ШФЛУ при аварии.....	2700
Интегральный риск для всей трассы, тыс. руб/год,	270
в том числе:	
загрязнения окружающей среды.....	10
потерь ШФЛУ.....	260
Удельный риск, руб/год/км,.....	840
в том числе:	
загрязнения окружающей среды.....	20
потерь в денежном выражении.....	820

Коллективный риск гибели людей, находящихся в населенных пунктах и на производственных (сельскохозяйственных) объектах в окрестности трубопровода составил $2,5 \cdot 10^{-3}$ чел/год; индивидуальный средний риск — $3,0 \cdot 10^{-7}$ год $^{-1}$. Большая часть людей, проживающих в населенных пунктах вблизи трассы, и персонала, занятого на производственных объектах, расположенных вдоль трассы, находятся в зоне потенциального риска, равного около 10^{-7} год $^{-1}$. Многие места сосредоточения людей (более 300 чел.) находятся в зонах потенциального риска 10^{-8} – 10^{-9} год $^{-1}$. Индивидуальный риск для большинства (до 90 %) людей, составляет около 10^{-7} год $^{-1}$, что соответствует понятию безопасного уровня в мировой практике и намного меньше фоновых показателей риска.

Эффективность технических решений по обеспечению безопасности анализируемого трубопровода (более частое его секционирование, применение современных систем обнаружения утечек, устройство защитных валов, перекладка и стресс-испытания труб в местах опасных сближений и др.)

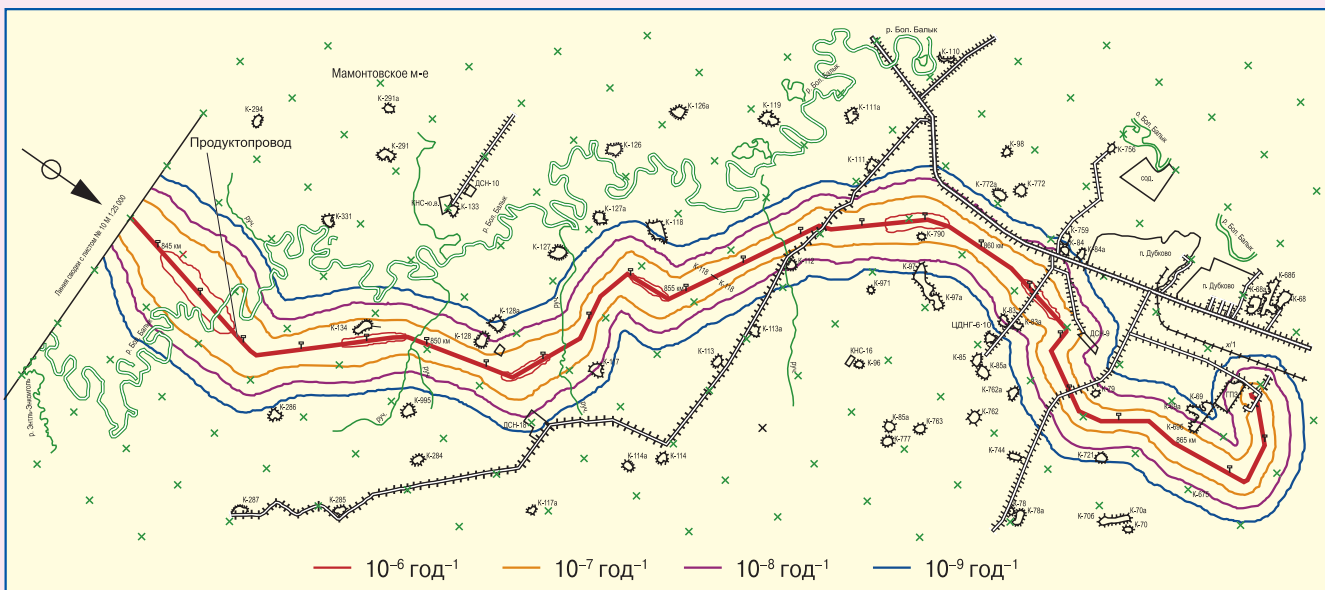


Рис. 4. Поле потенциального территориального риска участка магистрального продуктопровода

может быть подтверждена количественными оценками риска. Например, на рис. 5 приведено распределение осредненной массы утечки ШФЛУ по трассе продуктопровода для участка от 839 до 867 км. Из рисунка видно, что установка дополнительных задвижек приводит к уменьшению объемов утечек, а средний объем утечек на этом участке уменьшается с 249 до 98 т.

В данной работе проведен количественный анализ риска аварий, сопровождающихся выбросом, распространением и горением или взрывом сжиженных углеводородных газов, перекачиваемых в системе магистральных трубопроводов.

Предлагаемый методический подход к оценке риска, основанный на математическом моделировании физических явлений при развитии аварии на типичном трубопроводе с ШФЛУ, может использоваться для совершенствования методических документов по оценке риска аварий, а также для обоснования внесения изменений в нормативные документы и разрабатываемые технические регламенты, содержащие требования по рациональному размещению объектов, на которых обращаются сжиженные газы.

Список литературы

1. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. — М.: Химия, 1991. — 432 с.
2. Маршалл В. Основы опасности химических производств: Пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 672 с.
3. Сумской С.И. О влиянии начальных данных на результаты расчета показателей риска магистральных

нефтепроводов. Семинар «Об опыте декларирования промышленной безопасности и страхования ответственности. Развитие методов оценки риска аварий на опасных производственных объектах». Тезисы докладов. — 2004. — С. 45–49.

4. Оценка риска аварий на магистральном аммиакопроводе «Тольятти–Одесса» / Ю.А. Дадонов, Д.В. Дегтярев, И.А. Кручинина, М.В. Лисанов и др. // Безопасность труда в промышленности. — 2003. — № 10. — С. 27–30.

5. Сравнительный анализ уровня безопасности продуктопровода ШФЛУ диаметром 420 мм и конденсатопровода «Уренгой–Сургут» диаметром 720 мм на основании численного моделирования аварий на этих трубопроводах и сопоставления зон аварийного воздействия. — Отчет о научно-исследовательской работе. — ООО «ВНИИГАЗ». — 2004. — 144 с.

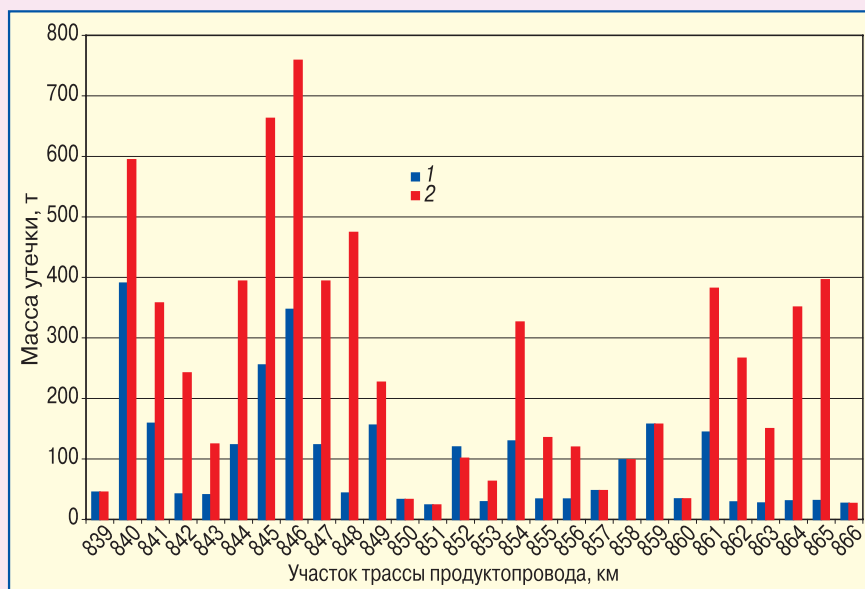


Рис. 5. Распределение осредненной по сценариям массы утечки ШФЛУ по трассе продуктопровода на участке 839–867 км:

1 и 2 — соответственно до и после установки дополнительных задвижек

ПОДПИСКА 2007

ОБЪЕДИНЕННЫЙ КАТАЛОГ «ПРЕССА РОССИИ» «Газеты и Журналы» 1 том

Издание	На I полугодие	На год
Журнал «Безопасность труда в промышленности»	42097	42098
Информационный бюллетень Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору	42099	42102
Комплект: журнал «Безопасность труда в промышленности» и Информационный бюллетень Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору	42103	42104