



ОЦЕНКА РИСКА АВАРИЙ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДАХ КТК-Р И БТС

Ю.А. ДАДОНОВ (Госгортехнадзор России), М.В. ЛИСАНОВ, канд. физ.-мат. наук, А.И. ГРАЖДАНКИН, канд. техн. наук, А.С. ПЕЧЕРКИН, В.И. СИДОРОВ, доктора техн. наук, Д.В. ДЕГТЯРЕВ (ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность»), С.И. СУМСКОЙ (МИФИ)

В соответствии с требованиями Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 № 116-ФЗ и нормативов Госгортехнадзора России на стадии ввода в эксплуатацию нефтепроводной системы ЗАО «Каспийский трубопроводный консорциум-Р» (КТК-Р) и Балтийской трубопроводной системы (БТС) ООО «Балтийские магистральные нефтепроводы» были разработаны декларации их промышленной безопасности. Реализация этих крупнейших проектов экспорта нефти имеет важное геополитическое значение для России. Трасса КТК-Р (общая протяженность 1045 км, диаметр от 1000 до 1400 мм) проходит по территориям Астраханской обл., Республики Калмыкия, Ставропольского и Краснодарского краев, а БТС (протяженность около 800 км¹, диаметр от 700 до 1000 мм) — по территориям Ярославской, Тверской, Новгородской и Ленинградской обл. (рис. 1, см. вкладку перед с. 17). На первом этапе эксплуатации проектные мощности нефтепроводных систем БТС и КТК-Р — соответственно 12 и 28,2 млн. т/год, причем стоимость строительства первой очереди БТС оценивается в 460,2 млн. долл. США, а общая сумма инвестиций КТК-Р на конец 2001 г. составляет 2,6 млрд. долл. США.

В настоящей статье изложены основные результаты анализа риска аварий на указанных нефтепроводных системах, полученные специалистами ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», ОАО НИИК, МГУ, МИФИ, ВНИИГАЗ и др.

¹ Свыше 500 км (от Ярославля до Кириши) БТС проходит в одном технологическом коридоре с магистральным нефтепроводом «Ярославль—Кириши».

При проведении анализа риска на объектах КТК-Р и БТС использовали известные методы оценки риска [1–6] — «дерево отказа», метод балльной оценки, «дерево событий», моделирование аварийных процессов.

Для количественной оценки риска линейной части магистрального нефтепровода (МН) использовали Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах, с помощью которого можно не только оценить значения удельных¹ и интегральных² возможных и ожидаемых потерь нефти и ущербов на линейной части МН при его эксплуатации, но также выявить «слабые» места (участки с повышенным риском) и наиболее значимые факторы опасности с последующей выработкой мер безопасности.

Распределение рассчитанных локальных показателей риска — потерь нефти (осредненных по всем сценариям аварии на каждом километровой участке), частоты аварий и ожидаемых взысканий (риск) за загрязнение окружающей среды вдоль трасс нефтепроводов КТК-Р и БТС — представлено на рис. 2.

На рис. 2, б видны участки с повышенной частотой аварий, что характерно для старых трубопроводов, к которым относится трасса КТК-Р с 452 по 756 км, ранее используемые лупинги на БТС и т.д. Всплески частоты связаны с пересечением трассой водных объектов, с наличием расположенных рядом транспортных коммуникаций, населенных пунктов, с прохождением трубопро-

¹ На 1000 км трассы.

² Для всей трассы.

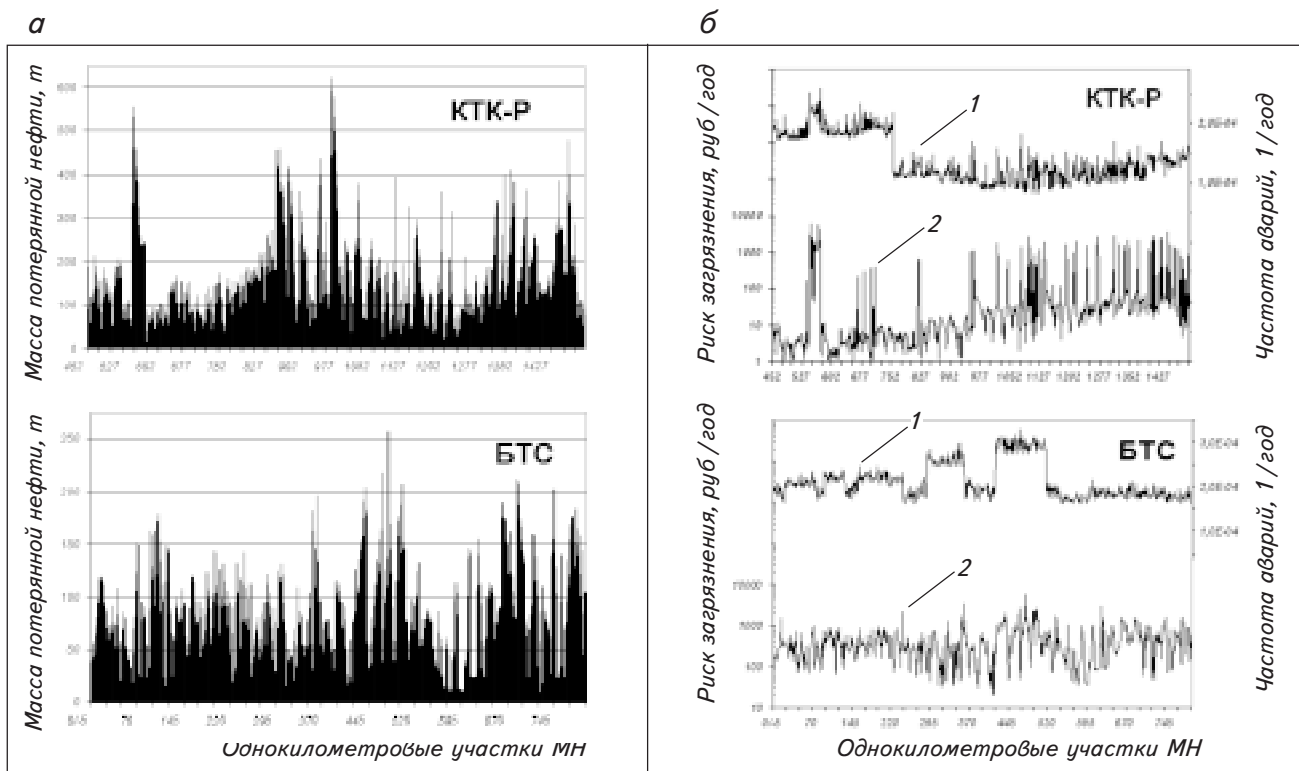


Рис. 2. Распределение по трассам нефтепроводов КТК-Р и BTC потерь нефти при аварии (а), частоты аварий и риска загрязнения окружающей среды (б):
 1 — частота аварий; 2 — риск загрязнения окружающей среды

вода через горные, оползневые участки и т.д. Протяженность таких участков с повышенной частотой аварий составляет от 1 до 5 км.

Расчеты показывают, что авария на BTC будет сопровождаться примерно вдвое меньшими потерями нефти (см. рис. 2, а, таблицу), чем аварии на КТК-Р, что связано в основном с различной производительностью нефтепроводных систем (КТК-Р — 28,2 млн. т/год; BTC — 12 млн. т/год) и с возможностью более быстрого прибытия аварийных служб к месту утечки на BTC. Для разработки планов предупреждения и ликвидации аварийных ситуаций в соответствии с требованиями постановления Правительства Российской Федерации «О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» от 21.08.00 № 613 была оценена частота возникновения аварийных утечек нефти, превышающих 100, 500, 1000 и 5000 т для различных сценариев развития аварии и вариантов действия аварийно-восстановительных служб.

Распределение долей однокилометровых участков трасс КТК-Р и BTC по степеням риска за-

ряжения окружающей среды в соответствии с критериями, приведенными в работе [1], представлено на рис. 3. Видно, что оба трубопровода почти не имеют участков с высокой степенью риска (более 10 000 руб/год). Распределение для КТК-Р характерно для нового трубопровода (более 70 % длины линейной части КТК-Р), располагающегося преимущественно в пустынной зоне: максимальные риски загрязнения окружающей среды обусловлены в основном водными переходами и горными участками (более 100 км КТК-Р проходят в горах Северного Кавказа и Ставропольской возвышенности). Кроме того, южное расположение КТК-Р (см. рис. 1) определяет меньшую продолжительность периода восстановления загрязненных сельскохозяйственных земель, а значит меньшие компенсационные платы при аварийных разливах нефти. Линейная часть BTC располагается преимущественно в лесистой зоне, что существенно увеличивает размер возможных взысканий за ущерб, причиненный лесному фонду при возникновении аварии (ущерб оценивается в соответствии с постановлением Правитель-

Показатели	Линейная часть МН		
	КТК-Р	БТС	Ярославль—Кириши
1	2	3	4
Частота аварий на трассе, 1/год	0,145	0,170	0,135
Удельная частота аварий на 1000 км трассы, 1/год	0,138	0,211	0,257
Средняя масса утечек нефти при аварии, т	680,7	426,6	419
Средняя масса потерь нефти при аварии, т	149,9	83,0	81,3
Удельные ожидаемые потери нефти на 1000 км трассы, т/год	21,2	17,8	20,9
Удельные ожидаемые средние по трассе потери нефти, т/год	22,2	14,3	11,0
Средний размер ущерба от аварии, руб., в том числе:	1 703 800	2 334 600	1 863 000
средний размер взыскания за загрязнение окружающей среды	981 540	2 068 300	1 692 300
стоимость потерянной нефти	722 300	266 300	170 750
Интегральный ожидаемый ущерб по трассе, руб/год	262 100	421 000	279 700
Удельный ожидаемый ущерб на однокиллометровом участке трассы, руб/год	251	524	533
Средний балл однокиллометрового участка трассы (обобщенный показатель риска В* согласно [1])	1,57	2,39	2,91

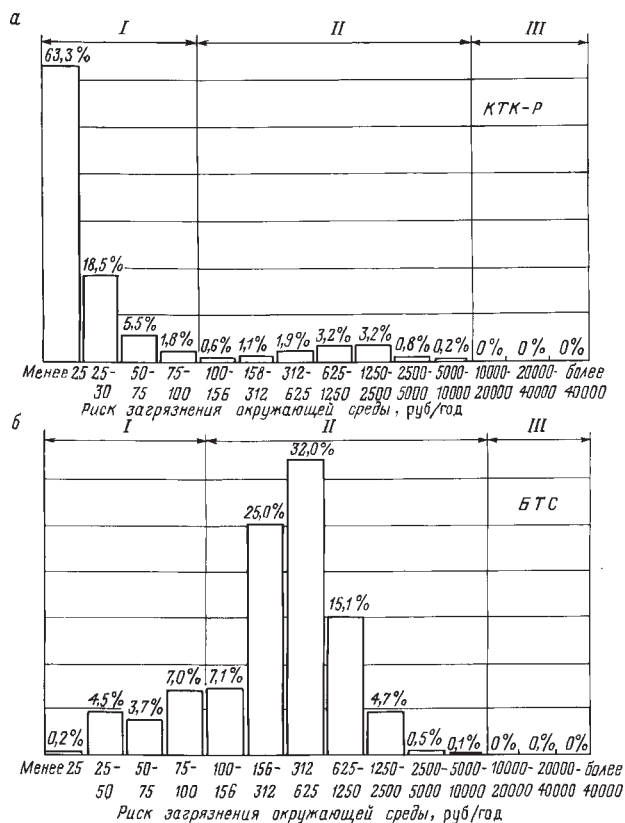


Рис. 3. Распределение долей однокиллометровых участков трасс КТК-Р (а) и БТС (б) по степеням риска загрязнения окружающей среды:

I, II, III — соответственно низкая, средняя, высокая степени риска

ства Российской Федерации «Об утверждении такс для исчисления размера взысканий за ущерб, причиненный лесному фонду и не входящим в лесной фонд лесам нарушением лесного законодательства Российской Федерации» от 21.05.01 № 388).

При разливе и воспламенении нефти во время аварий на линейной части существует возможность причинения ущерба близлежащим населенным пунктам. Не исключены поражения людей на пересечениях трассы с транспортными магистралями вследствие пожара-вспышки смеси паров нефти с воздухом. Оценки показывают, что ожидаемое количество смертельно пораженных людей при авариях на КТК-Р и БТС составляет соответственно $6,4 \cdot 10^{-4}$ и $1,7 \cdot 10^{-3}$ чел/год. Учитывая большую протяженность рассматриваемых трасс (более 800 км), полученные показатели риска можно считать приемлемыми.

Анализируя полученные удельные показатели риска аварии, можно сделать вывод о более высоком уровне безопасности обеих нефтепроводных систем по сравнению со среднестатистическим МН, для которого, по данным Госгортехнадзора России, за последние 10 лет средняя частота аварий на 1000 км трассы составляет 0,265 1/год, а средняя масса потерь нефти при аварии — около 370 т (при меньшей производительности). Этот вывод подтверждается сравнением вышеуказанных результатов с аналогичными расчетами, полученными при декларирова-

нии промышленной безопасности действующих опасных производственных объектов ООО «Балтийские магистральные нефтепроводы» (см. таблицу, графа 4) и ОАО «Верхневолжскнефтепровод» (рис. 4). На рис. 4 приняты обозначения: РРНУ — трубопровод, обслуживаемый Рязанским районным нефтяным управлением (протяженность 868 км), ГРНУ — Горьковским (1302 км), ЯРНУ — Ярославским (870 км), ВЛРНУ — Великолукским (583 км), МРНУ — Марийским (372 км).

Более низкие удельные показатели риска МН БТС и КТК-Р объясняются внедрением современных технических решений и методов строительства, а также повышенным контролем на всех стадиях проектирования, строительства и ввода в эксплуатацию.

Вместе с тем для решения общих вопросов системы управления объектом, в том числе для страхования и оценки готовности к аварийным

разливам нефти, необходимо располагать интегральными показателями риска (см. таблицу, рис. 4, б), которые существенно зависят от протяженности МН, срока его эксплуатации, диаметра, особенностей природно-климатических условий в местах прохождения трассы и пр.

Для оценки риска аварий на площадочных объектах использовали методы количественной оценки риска с учетом возможности возникновения пожара и взрыва. Оценки термического воздействия пожара разлития, «огненного шара» и взрыва топливно-воздушных смесей (ТВС) выполняли на основе методик ГОСТ Р 12.3.047—98 и РД 03-409—01. Расчеты для оценки последствий воспламенения дрейфующих облаков ТВС при разрушении оборудования проводили с помощью моделей [2, 3], описывающих нестационарное трехмерное турбулентное течение атмосферного воздуха, переносащего пары нефти.

Результаты анализа риска аварий на нефтеперекачивающих станциях (линейно-производственных диспетчерских станциях — ЛПДС) и в резервуарных парках показали, что зоны действия факторов, связанных с поражением людей (в том числе при взрыве-вспышке смеси паров нефти с воздухом), практически не выходят за пределы установленных санитарно-защитных зон. Основные людские потери при авариях на площадочных объектах возможны лишь среди обслуживающего персонала. На рис. 5 (см. вкладку перед с. 17) представлены зоны риска возникновения факторов смертельного поражения человека при аварии на ЛПДС «Ярославль» (БТС) с резервуарным парком (поле потенциального территориального риска согласно РД 03-418—01). Из рис. 5 видно, что частота гибели человека вне территории станции не превышает $1 \cdot 10^6$ 1/год, что может рассматриваться как приемлемый уровень риска. На основе поля потенциального территориального риска и с учетом режима работы персонала, его подготовленности к действиям в аварийных ситуациях оценены индивидуальный, коллективный и социальный риск гибели людей при авариях (рис. 6).

Оценка риска аварий на площадочных объектах БТС и КТК-Р показывает, что вероятность аварий за год на них находится в пределах $9,5 \cdot 10^{-6}$ — $2,2 \cdot 10^{-3}$ и определяется в основном количеством и типом оборудования (резервуары, насосы, технологические трубопроводы и др.) и показателями его надежности и безопасности. Ожидаемые потери нефти от аварий на площадочных объектах составляют 0,083—39 т/год, ин-

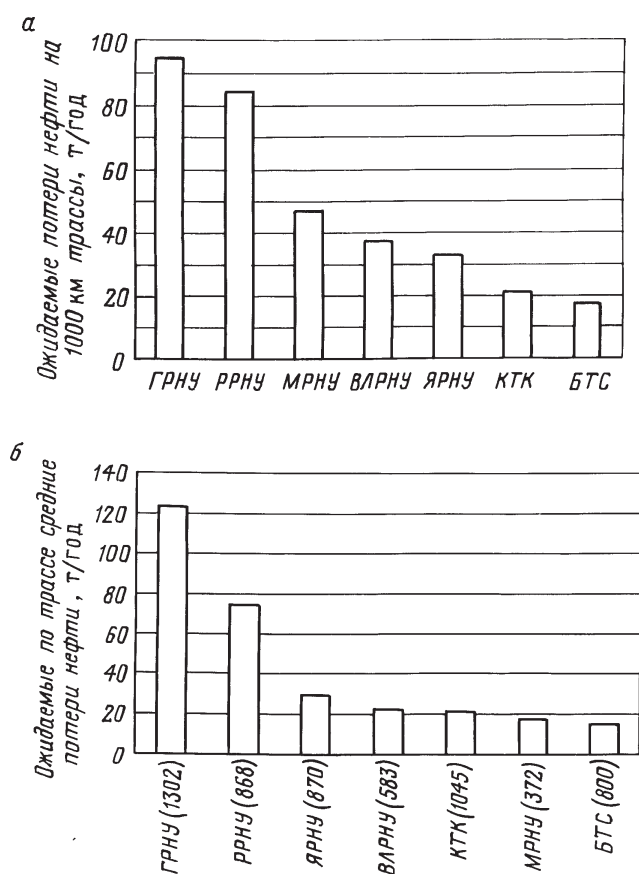


Рис. 4. Удельные (а) и интегральные (б) показатели ожидаемых потерь нефти при авариях на МН

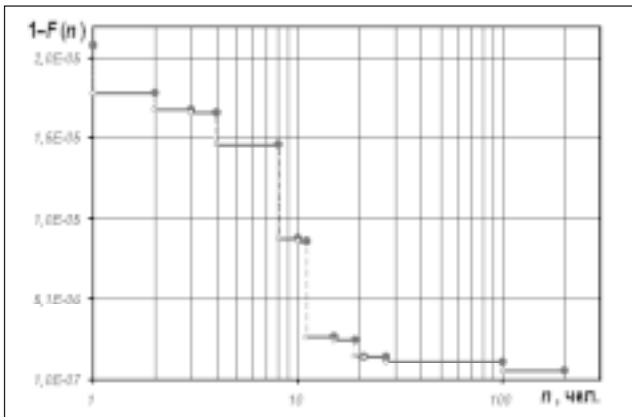


Рис. 6. Интегральная функция распределения F_n числа погибших n при аварии (F/N -кривая, социальный риск, согласно РД 03-418—01)

дивидуальный риск смертельного поражения персонала — $1 \cdot 10^{-8}$ — $1,7 \cdot 10^{-5}$ чел/год, коллективный риск — $4 \cdot 10^{-6}$ — $1 \cdot 10^{-4}$ чел/год.

Анализ основных результатов декларирования промышленной безопасности нефтепроводных систем показывает:

риск аварии на БТС и КТК-Р (см. рис. 2, 3 и таблицу) в целом удовлетворяет количественным критериям, приведенным в [1], и несоизмеримо ниже ожидаемой выгоды¹ от их эксплуатации;

при планировании мер обеспечения безопасности и принятии управленческих решений необходимо обязательно учитывать результаты анализа риска аварии на опасных производственных объектах.

Применение методов количественного анализа риска позволяет:

¹ «Пять долларов с каждой тонны — такой может быть экономия российских компаний на транспортировке нефти из России. По расчетам экспертов, БТС должна ежегодно давать в бюджет до 20 млн. долл.» (Независимая Газета. — 2001. — 25 дек.).

По словам генерального директора КТК-Р С. Гнатченко, в первые 40 лет эксплуатации трубопровода Тенгиз—Новороссийск Россия получит около 20 млрд. долл. в виде налоговых отчислений и прибыли.

получить наиболее объективную информацию для лиц, принимающих решения по обеспечению безопасности (руководители предприятий, работники надзорных органов, страховщики);

выявить значимые факторы риска и «слабые» места на объекте, что дает основу для выработки приоритетов в обеспечении промышленной и экологической безопасности;

ранжировать различные участки трассы, объекты, предприятия по единым показателям, что может быть использовано, например, при страховании, оценке готовности предприятия к ликвидации чрезвычайных ситуаций и при решении региональных проблем безопасности.

Для повышения эффективности и дальнейшего развития работ по количественной оценке риска аварий на магистральных нефтепроводах необходимо усовершенствовать систему сбора и анализа аварий и инцидентов, а также разработать компьютерные программы по оценке риска, совместимые с программой «Скутор» ОАО «АК «Транснефть».

Список литературы

1. *Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах.*
2. *Techniques for Assessing Industrial Hazards // a Manual. World Bank. — Tech. Paper No. 55. — 1988.*
3. *Cox R.A., Carpenter R.J. Further Development of a Dence Cloud Dispersion Model for Hazard Analysis// Heavy Gas and Rick Assessment/ F. Hartwig (Ed.). — FRG, 1980.*
4. *Концепция методического руководства по оценке степени риска магистральных трубопроводов / М.В. Лисанов, В.Ф. Мартынюк, А.С. Печеркин и др. // Трубопроводный транспорт нефти. — 1997. — № 12. — С. 8—14.*
5. *Перспективы нормативного обеспечения анализа риска магистральных нефтепроводов / М.В. Лисанов, В.Ф. Мартынюк, А.С. Печеркин и др. // Трубопроводный транспорт нефти. — 1996. — № 8. — С. 8—19.*
6. *Оценка риска аварий на линейной части магистральных нефтепроводов/ М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров и др. // Безопасность труда в промышленности. — 1998. — № 9. — С. 50—56.*

◆

Вероссийская конференция «О состоянии взрывного дела в Российской Федерации. Основные проблемы и пути их решения» проходила в Москве с 28 по 30 мая 2002 г. в Московском государственном горном университете. Материалы конференции будут опубликованы в № 7 журнала за 2002 г.

◆