

По материалам публикаций (ссылка приветствуется) :

Гражданкин А.И., Дегтярев Д.В., Лисанов М.В., Печеркин А.С., Сидоров В.И. Анализ риска аварий на нефтепроводных системах КТК-Р и БТС//Безопасность жизнедеятельности. – 2002. – №6. - С.17-22.

Дадонов Ю.А., Лисанов М.В., Гражданкин А.И., Печеркин А.С., Сидоров В.И., Дегтярев Д.В., Сумской С.И. Оценка риска аварий на магистральных нефтепроводах КТК-Р и БТС//Безопасность труда в промышленности. – 2002. - №6. - С.2-6.

Гражданкин А.И., Дегтярев Д.В., Лисанов М.В., Печеркин А.С., Сидоров В.И., Сумской С.И. [Анализ риска промышленных аварий на нефтепроводах//Технологии ТЭК. – 2003. – N10. - С.57-62.](#)

АНАЛИЗ РИСКА АВАРИЙ НА НЕФТЕПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ БТС И КТК-Р

В соответствии с требованиями Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 №116-ФЗ на стадии ввода в эксплуатацию были разработаны декларации промышленной безопасности нефтепроводной системы ЗАО “Каспийский трубопроводный консорциум - Р” (КТК-Р) и Балтийской трубопроводной системы ООО «Балтийские магистральные нефтепроводы» (БТС). Реализация данных крупнейших проектов экспорта нефти последнего времени имеет важное геополитическое значение для России (рис.1).

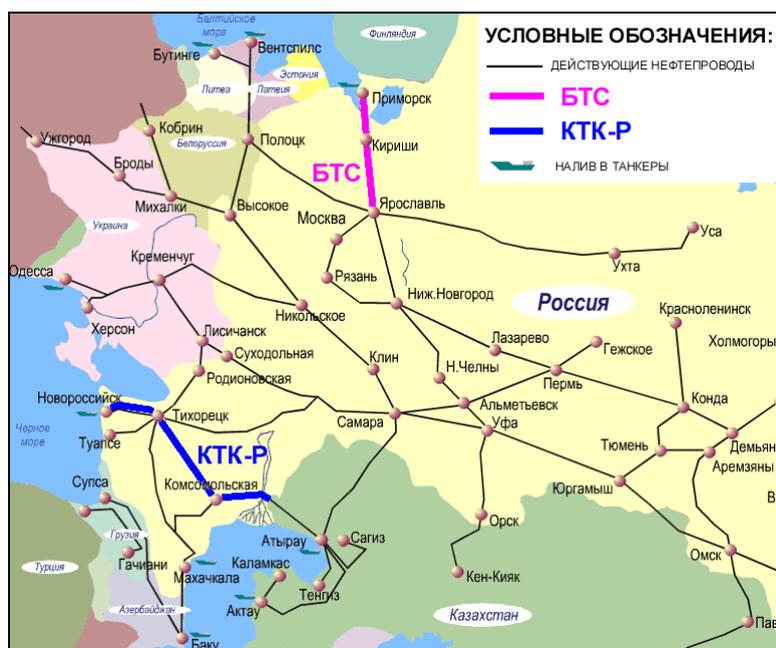


Рис. 1. Схема магистральных нефтепроводов (МН): КТК-Р и БТС

Общая протяженность трассы КТК-Р равна 1045 км (Ду 1000-1400 мм), а БТС – свыше 1300 км (Ду 700-1000 мм) - от Ярославля до Кириши нефтепровод БТС представлен в двухниточном исполнении. На первом этапе эксплуатации проектные мощности нефтепроводных систем БТС и КТК-Р составляют 12 и 28,2 млн. тонн нефти в год соответственно, причем стоимость строительства первой очереди БТС оценивается в 460,2 млн. долл., а общая сумма инвестиций КТК на конец 2001 года – в 2,6 млрд. долл.

Эксплуатация нефтепроводных систем представляет опасность техногенного характера для человека и окружающей природной среды. Какова же мера такой опасности для КТК-Р и БТС, и что необходимо делать для снижения существующих техногенных рисков? Следует отметить, что опасности при штатной эксплуатации нефтепроводных систем обусловлены в основном выбросами в атмосферный воздух низкомолекулярных углеводородов из резервуарных парков. Однако при возникновении аварии, как правило, отмечается максимальный единовременный материальный ущерб, а также существенный вред причиненный окружающей природной среде и здоровью человека. Вопросы оценки и анализа риска аварии на опасных производственных объектах наиболее подробно в настоящее время излагаются в декларации промышленной безопасности.

При проведении анализа риска на объектах КТК-Р и БТС использовались известные методы оценки риска аварии («дерево отказа», метод балльной оценки частоты аварии, «дерево событий», моделирование развития аварийных процессов, совместно с моделями «доза-эффект» и критериями поражения человека), на которых основаны нормативно-методические документы [1-8], и которые описаны в работах [9-14].

При декларировании промышленной безопасности МН обычно выделяют условные технологические составляющие: 1) линейную часть и 2) площадочные объекты - резервуарные парки (нефтебазы), портовые (береговые) сооружения и нефтеперекачивающие станции (НПС, ЛПДС), последние также могут включать резервуарные парки.

Для количественной оценки риска аварии на линейной части МН использовалось Методическое руководство [2], с помощью которого можно оценить не только величины удельных (на 1000 км трассы) и интегральных (для всей трассы) возможных и ожидаемых ущербов на линейной части при авариях на МН, но так же выявить «слабые» места (участки с повышенным риском аварии) и наиболее значимые факторы опасности, и, следовательно, предложить обоснованные меры обеспечения безопасности. Кроме того, в соответствии с требованиями Постановления Правительства РФ «О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» № 613 от 21.08.00 были оценены частоты возникновения аварийных утечек свыше 100, 500, 1000 и 5000 т для различных сценариев развития аварии при различных вариантах действий аварийно-восстановительных служб, что послужило основой для дальнейшей разработки планов предупреждения и ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС).

С помощью метода балльной оценки [2] была оценена интенсивность аварий на различных участках линейной части КТК-Р и БТС, а также определена значимость (вклад в %) различных групп факторов влияния (Гр₁ –Гр₈) в общих причинах аварийности на рассматриваемых МН.

Таблица 1

Сравнительный анализ групп факторов, влияющих на интенсивность аварий на линейной части МН КТК-Р и БТС

Обозначение и наименование группы факторов (основные факторы) в соответствии с [2]		Вклад группы в соответствии со среднестатистическими причинами аварии на МН, ρ _i	Вклад группы в аварийность на всей трассе МН	
			КТК-Р, ρ _{КТК}	БТС, ρ _{БТС}
Гр ₁	Внешние антропогенные воздействия (наличие коммуникаций иной ведомственной принадлежности, состояние охранной зоны, согласовательные и разъяснительные мероприятия)	20%	17,1%	20,2%
Гр ₂	Коррозия (состояние и продолжительность эксплуатации изоляционного покрытия)	10%	13,8%	13,9%
Гр ₃	Качество и продолжительность эксплуатации труб (продолжительность эксплуатации МН)	5%	6,4%	7,9%
Гр ₄	Качество и сложность строительно-монтажных работ (категория по сложности производства работ, контроль качества СМР)	10%	14,8%	13,2%
Гр ₅	Конструктивно-технологические факторы (усталость металла, возможность возникновения гидроударов)	10%	10%	5,6%
Гр ₆	Природные воздействия (механические свойства грунта, проведение превентивных мероприятий по изменению его свойств)	10%	8%	9,5%
Гр ₇	Эксплуатационные факторы (состояние эксплуатационной документации, периодичность контроля и ремонтов)	5%	6,5%	6,3%
Гр ₈	Дефекты тела трубы и сварных швов (количество дефектов, качество диагностики)	30%	23,4%	23,4%

Обозначение и наименование группы факторов (основные факторы) в соответствии с [2]	Вклад группы в соответствии со средне-статистическими причинами аварии на МН, ρ_1	Вклад группы в аварийность на всей трассе МН	
		КТК-Р, $\rho_{\text{КТК}}$	БТС, $\rho_{\text{БТС}}$
Удельная интенсивность аварий, 1/год/1000 км	0,265	0,138	0,229
Средний балл участка, $V_{\text{ср}}$ (обобщенный показатель риска, согласно балльной оценке [2])	3,0	1,57	2,6

Анализ факторов влияющих на величину интенсивности аварий (см. таблицу 1, рис. 2б) на линейной части МН показал, что основные меры повышения безопасности БТС могут быть в первую очередь направлены на предупреждение внешних антропогенных воздействий (см. $Гр_1$ в таблице 1) и на проведение периодической внутритрубной диагностики ($Гр_8$) с выполнением соответствующих ремонтных работ (более $\frac{3}{4}$ трассы МН БТС представлена «старыми» участками введенными в эксплуатацию в 70-х годах). Последнее направление с учетом особенностей ввода объекта в эксплуатацию справедливо и для линейной части МН КТК-Р (см. $Гр_8$ в таблице 1). Кроме того, необходим постоянный мониторинг за состоянием изоляционного покрытия на участках с высокой коррозионной активностью прилегающих грунтов как на КТК-Р, так и на БТС ($Гр_2$).

В соответствии с Методическим руководством [2] было проведено ранжирование участков линейной части МН по величинам возможных аварийных потерь нефти (рис. 2а), что позволило, в частности, рекомендовать установку дополнительных магистральных задвижек на одном из наиболее опасных участков КТК-Р. Причем определение места расположения задвижек было оптимизировано как по критерию минимизации возможных аварийных потерь нефти, так и по критерию максимального снижения ожидаемых ущербов при авариях на линейной части МН.

Почти двукратное в среднем отличие в величинах возможных аварийных потерь нефти на МН КТК-Р и БТС (см. рис. 2-а и таблицу 2) объясняется, главным образом, различной производительностью нефтепроводных систем (28,2 и 12 млн. т/год), а так же возможностью несколько более быстрого прибытия аварийных служб к месту аварии на БТС.

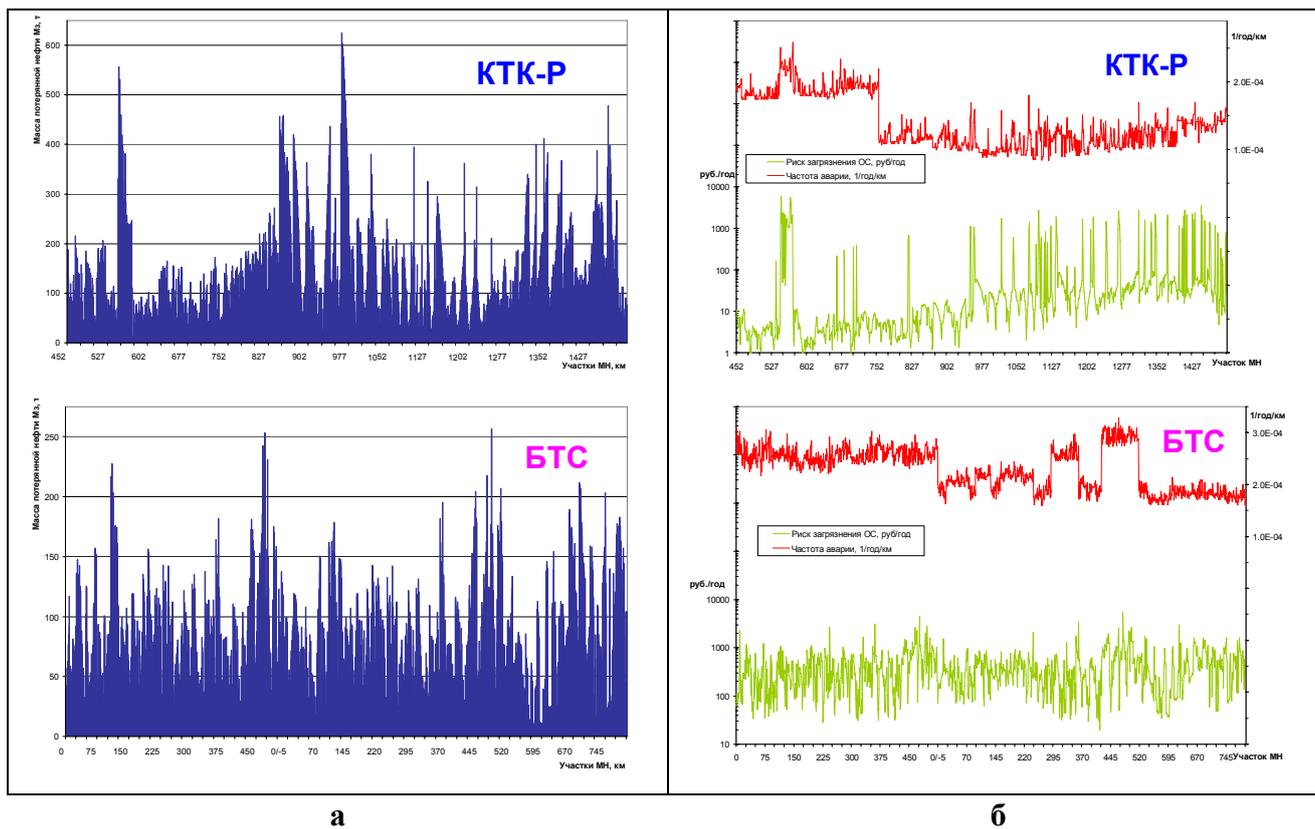


Рис. 2. Распределение по трассе нефтепровода:
 а) средневзвешенных потерь нефти при аварии;
 б) интенсивность аварий и риск загрязнения окружающей среды (ОС)

В результате анализа риска линейной части МН были получены распределения доли участков с различной степенью опасности загрязнения окружающей среды (рис.3) в соответствии с критериями [2]: видно, что оба трубопровода практически не имеют участков с «высокой» степенью риска (более 10000 руб./год/км). При этом распределение для BTC имеет характерный вид для трубопровода со сравнительно продолжительным сроком эксплуатации, на котором выполняются практически все требования промышленной безопасности. Распределение для КТК-Р является характерным для современного МН, но с достаточно сложными условиями прохождения трассы (около $\frac{3}{4}$ линейной части КТК-Р представлено вновь построенными участками и более 100 км пролегает в горных районах Северного Кавказа). Более южное местоположение МН КТК-Р определяет также и меньшую продолжительность периода восстановления загрязненных нефтью земель и, соответственно, меньшие компенсационные платы при аварийных разливах нефти.

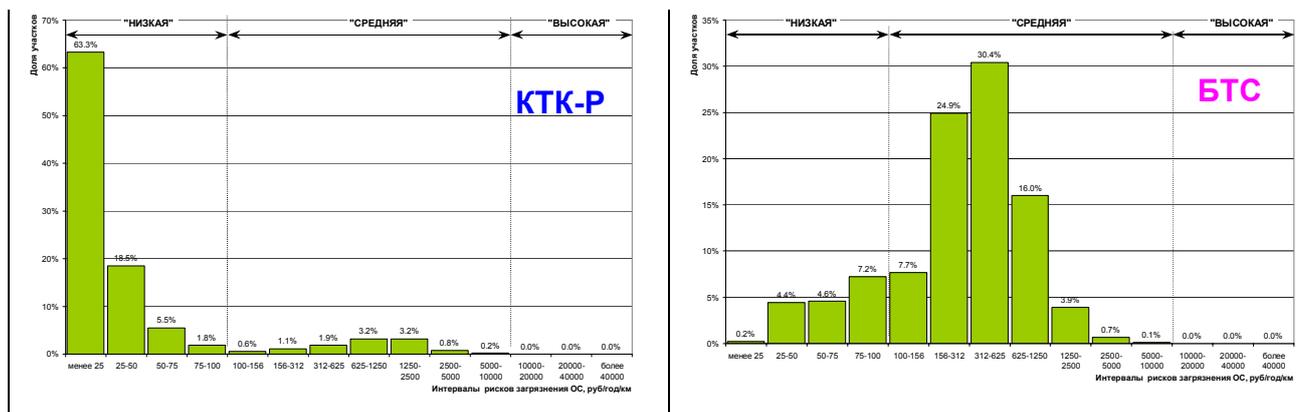


Рис. 3. Распределение участков трассы по степени риска загрязнения ОС

Линейная же часть МН BTC располагается преимущественно в лесной зоне, что существенно повышает размер взысканий за ущерб, причиненный лесному фонду при аварии [8]. В оценку риска загрязнения ОС для BTC включены так же взыскания за вред, причиненный загрязнением атмосферного воздуха продуктами горения нефти при возникновении пожара разлива на месте аварии [7]. Максимальные же риски загрязнения ОС для обоих МН обусловлены возможным загрязнением нефтью водных объектов при авариях, в том числе и акваторий нефтеналивных терминалов.

Таблица 2
Обобщенные показатели риска аварии на линейной части МН

Показатель риска		Линейная часть	
наименование	размерность	КTK-P	BTC
Интенсивность аварий на трассе	1/год	0.145	0.305
Удельная интенсивность аварий	1/год/1000 км	0.138	0.229
Средняя масса утечек нефти при аварии	тонн	680	425
Средняя масса потерь нефти при аварии	тонн	150	83
Удельные ожидаемые потери нефти при аварии	т/год/1000 км	21	19
Ожидаемая масса потерь нефти при аварии	т/год	22	25
Средний размер ущерба от аварии, в том числе:	тыс.руб.	1 704	2 357
средний размер платы за загрязнение ОС при аварии	тыс.руб.	982	1 920
средние потери нефти при аварии в денежном выражении	тыс.руб.	722	437
Интегральный риск аварии для всей трассы	тыс.руб./год	262	701
Удельный риск аварии	руб./год/км	250	530
Коллективный риск смертельного поражения людей	чел./год	$6.4 \cdot 10^{-4}$	$1.7 \cdot 10^{-3}$

Анализируя оценки показателей риска аварии на линейной части КTK-P и BTC (таблица 2), можно сделать вывод о более высоком уровне безопасности обоих нефтепроводных систем по сравнению со «среднестатистическим МН»,

для которого по данным Госгортехнадзора России удельная интенсивность аварий составляет 0,265 1/год/1000км, а средняя масса потерь нефти при аварии – около 370 т. Этот вывод подтверждается и сравнением вышеприведенных результатов с аналогичными расчетами [14], полученными при декларировании промышленной безопасности действующих магистральных нефтепроводов ОАО «Верхневолжскнефтепровод» (рис. 4).

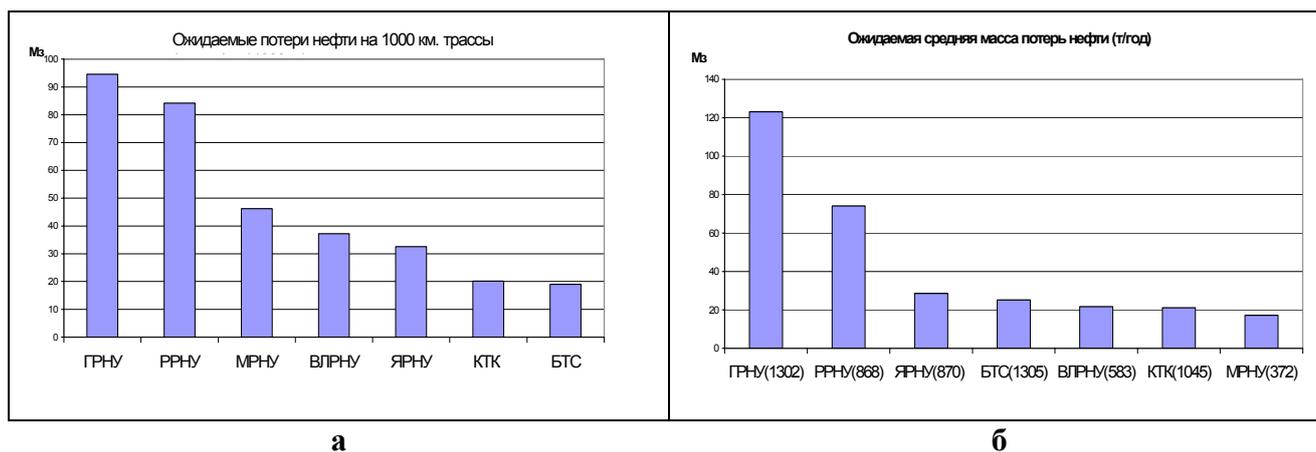


Рис. 4. Распределение МН по а) удельным и б) интегральным показателям ожидаемых потерь нефти при авариях: РРНУ –Рязанское РНУ, ГРНУ – Горьковское РНУ, ЯРНУ - Ярославское РНУ, ВЛРНУ - Великолукское РНУ, МРНУ - Марийское РНУ (скобках – протяженность МН в км)

Такие высокие удельные показатели безопасности МН БТС и КТК-Р объясняются, главным образом, использованием и внедрением современных технических решений и методов строительства при повышенном контроле и надзоре на всех стадиях проектирования, строительства и ввода в эксплуатацию опасного производственного объекта.

При анализе риска аварий на площадочных объектах использовались методы количественной оценки риска с учетом возможности возникновения пожара и взрыва. Оценки термического воздействия при пожаре разлития, «огненного шара» и взрыва топливно-воздушных смесей (ТВС) выполнялись на основе методик ГОСТ Р 12.3.047-98 [6] и РД 03-409-01 [4]. При оценке последствий воспламенения дрейфующих облаков ТВС при разрушении оборудования проводились расчеты с использованием моделей [5, 12], которые описывают

нестационарное, трехмерное, турбулентное течение атмосферного воздуха, переносящего пары нефти.

Оценки риска аварий на площадочных объектах БТС и КТК-Р показывают, 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.), показателями его надежности и безопасности. Ожидаемые потери нефти от аварий на площадочных объектах КТК-Р и БТС оцениваются в 0,083-39 т/год и зависят как от вероятности аварии, так и объема опасных веществ, обращающихся в оборудовании. На рис. 5 представлены результаты зонирования территории по риску смертельного поражения человека при возможных авариях на одной из наиболее опасных ЛПДС с резервуарным парком (*поле потенциального территориального риска согласно [1]*). На основе поля потенциального риска (рис. 5), с учетом режима работы персонала и его подготовленности к действиям в аварийных ситуациях оценены индивидуальный ($1 \cdot 10^{-8}$ - $1,7 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹), коллективный ($4 \cdot 10^{-6}$ - $1 \cdot 10^{-4}$ чел./год) и социальный риск (рис. 6) гибели людей при авариях на площадочных объектах КТК-Р и БТС.

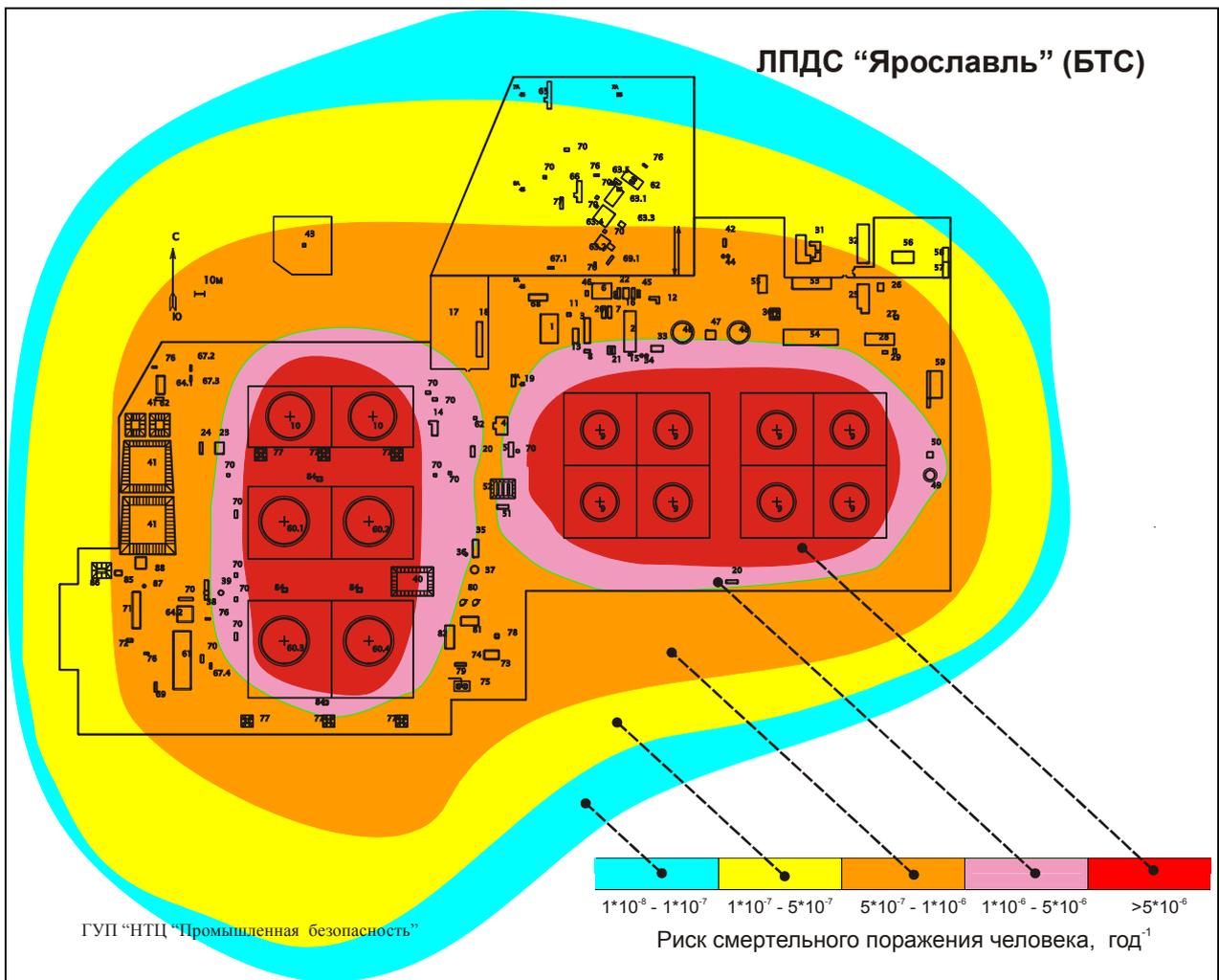


Рис. 5. Зоны риска смертельного поражения человека при аварии на ЛПДС «Ярославль» (БТС)

Результаты анализа риска аварий на НПС(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. На рис. 5 видно, что значения частоты гибели человека вне территории станции не превышает 10^{-6} 1/год, что может рассматриваться как приемлемый уровень риска. Основные людские потери при авариях на площадочных объектах возможны лишь среди обслуживающего персонала. Напротив, при авариях на линейной части существует возможность поражения людей (пожар разлива, пожар-вспышка паров нефти) как в близлежащих населенных пунктах, так и в местах пересечения с транспортными магистралями. Поэтому, например, на наиболее опасных

участках МН КТК-Р было предложено возвести защитные валы (с учетом объемов возможных утечек), что позволяет значительно снизить риск поражения людей вблизи населенного пункта. Ожидаемое количество смертельно пораженных людей (см. таблицу 2) при аварии на линейной части КТК-Р и БТС составляет $6,4 \cdot 10^{-4}$ и $1,7 \cdot 10^{-3}$ в год соответственно, что, учитывая большую протяженность трасс (более 1000 км), можно считать незначительной величиной.

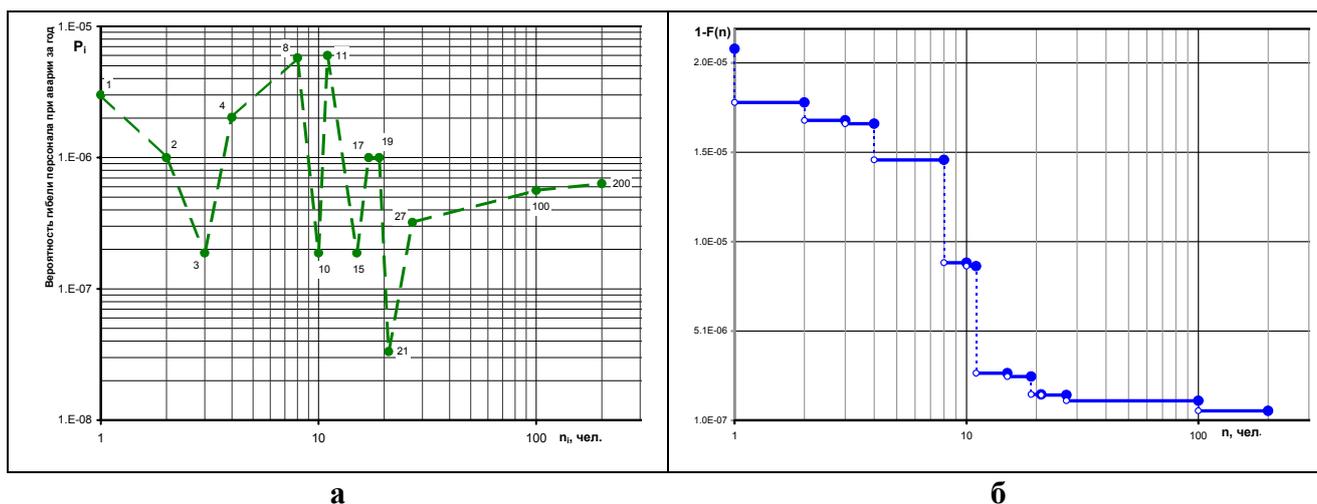


Рис. 6. Показатели социального риска гибели персонала при аварии на ЛПДС «Ярославль» (БТС):

- а) Многоугольник распределения [15] числа погибших при аварии
- б) Интегральная функция распределения [15] числа погибших при аварии (F/N-кривая, социальный риск [1]).

На первый взгляд при сравнении вышеприведенных оценок риска аварии на МН КТК-Р и БТС может показаться, что основные опасности нефтепроводных систем сконцентрированы на линейной части. Действительно, вклад НПС(ЛПДС), например, в общий ожидаемый ущерб от загрязнения ОС при аварии на МН на порядок ниже вклада линейной части (в основном вследствие протяженности последней). Однако не стоит забывать, что оперативное управление технологическим процессом осуществляется именно с НПС. С позиции энерго-энтропийной концепции причин аварийности и травматизма [11] операторы НПС управляют энергетическими потоками вплоть до следующей НПС, причем их деятельность обязательно согласована (синхронизирована) с целевой функцией всей трубопроводной системы – прием и доставка нефти от добывающих компаний к потребителям. Поэтому объектом оценки риска аварии мо-

гут быть не только отдельные части МН – линейная часть и площадочные объекты, но и человеко-машинные системы «Персонал-Оборудование-рабочая Среда» (ПОРС), где под «Оборудованием» понимается управляемая операторами НПС совместно со всем следующим участком линейной части. Подобные задачи могут быть решены с применением имитационного моделирования процесса возникновения аварийных ситуаций в системе ПОРС (см. [9] и рекомендации [1]). Такой подход, несомненно, позволяет использовать всю информацию, полученную с помощью метода балльной оценки степени риска на линейной части МН [2], но, кроме того, в рассмотрение вводится целый класс причин и предпосылок аварий, связанных с «человеческим фактором», что положительно расширяет уровень рассмотрения существующих методик и позволяет обнаружить и оценить другие «слабые» места с точки зрения безопасности. В частности, для рассматриваемых МН рекомендован к применению комплекс организационно-технических мер, затрагивающий не только надзор за состоянием линейной части МН, но и меры, улучшающие условия труда операторов и персонала аварийно-восстановительных служб, их дисциплинированность, способность адекватно действовать в нестандартных ситуациях, что, в конечном счете, позволяет уменьшить риск аварии.

Таким образом, результаты декларирования промышленной безопасности нефтепроводных систем, показали, что:

1) риск аварии на БТС и КТК-Р (см. рис. 2, рис.3, таблица 2) в целом удовлетворяет количественным критериям [2] и несоизмеримо ниже ожидаемой выгоды от эксплуатации этих объектов. (*«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.). В свою очередь, по словам ген. директора КТК С. Гнатченко, в первые 40 лет эксплуатации трубопровода Тенгиз-Новороссийск Россия получит около 20 млрд. долл. в виде налоговых отчислений и прибыли);*

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

Список литературы

1. РД 03-418-01 «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов» (Утв. постановлением Госгортехнадзора России №30 от 01.09.01)
2. РД «Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах» (утв. ОАО «АК «Транснефть»» 30.12.99 пр. №152, согл. Госгортехнадзором России №10-03/418 от 07.07.99)
3. РД «Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах» (утв. Минтопэнерго РФ, АК «Транснефть», 1996г.)
4. РД 03-409-01 «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей» (утв. постановлением Госгортехнадзора России №37 от 24.08.01)
5. Techniques for Assessing Industrial Hazards: a Manual. World Bank Tech. Paper No. 55, 1988
6. ГОСТ 12.3.047-98 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
7. РД. Методика расчета выбросов от источников горения при разливе нефти и нефтепродуктов (утв. приказом ГК ООС №90 от 5.03.97)
8. Таксы для исчисления размера взысканий за ущерб, причиненный лесному фонду и не входящим в лесной фонд лесам нарушением лесного законодательства РФ (утв. Пост. Правительства РФ №388 от 21.05.01)
9. **Гражданкин А.И.** Разработка экспертной системы оценки техногенного риска и оптимизации мер безопасности на опасных производственных объектах: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 2001. – 34 с.
10. **R.A. Cox and R.J. Carpenter**, Further Development of a Dense Cloud Dispersion Model for Hazard Analysis, in F. Hartwig (Ed.), Heavy Gas and Risk Assessment, D Reidel, Dordrecht FRG, 1980.
11. **Белов П.Г.** Теоретические основы системной инженерии безопасности. - Москва: ГНТП «Безопасность», МИБ СТС. - 1996. - 424 с.
12. **Маршалл В.** Основные опасности химических производств: Пер. с англ.- Москва: Мир, 1989. – 672 с., ил.
13. **Хенли Э. Дж., Кумамото Х.** Надежность технических систем и оценка риска: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
14. **Лисанов М.В., Печеркин А.С., Сидоров В.И.** и др. Оценка риска аварий на линейной части магистральных нефтепроводов. Безопасность труда в промышленности, №9, 1998 г.
15. **Вентцель Е.С.** Теория вероятностей. - М.: Высш. Шк., 1998. – 576 с.: ил.

При использовании данных материалов приветствуется ссылка на авторов

НА ГЛАВНУЮ