

## Показатели опасности аварий на российских магистральных трубопроводах



**С.Г. Радионова,**  
зам. руководителя



**С.А. Жулина,**  
нач. управления



**Т.А. Кузнецова,**  
зам. нач. управления,  
нач. отдела



**А.С. Печёркин,**  
д-р техн. наук, проф.,  
ген. директор



**И.А. Кручинина,**  
д-р техн. наук,  
директор



**А.И. Гражданкин,**  
канд. техн. наук,  
зав. отделом

Ростехнадзор

НП ПБ-ГРУПП

АНО АИПР

ЗАО НТЦ ПБ

В относительно стабильные периоды эксплуатации опасных производственных объектов для анализа и оценки опасности аварий на них вполне пригодны традиционные показатели аварийности и травматизма. Если же основная производственная деятельность претерпевает существенные качественные и количественные изменения, то абсолютные показатели аварийности и травматизма необходимо дополнять риск-ориентированными показателями опасности аварий.

*At a time of rather steady-state periods of operation of hazardous production facilities the traditional indicators of accident and injury rate are quite suitable for the analysis and assessment of accidents hazard on them. If however the main production activity undergoes significant qualitative and quantitative changes, the absolute indices of accident and injury rate shall be added with risk — oriented indices of accidents hazard.*

**Ключевые слова:** магистральный трубопроводный транспорт, показатель опасности аварий, риск-ориентированный подход.

**Key words:** main pipeline transport, accidents hazard index, risk-oriented approach.

Аварийность и травматизм в промышленности — трагическая оборотная сторона эксплуатации опасных производственных объектов. Для взвешенной оценки опасности аварий первоначально важно знать динамику состояния основной производственной деятельности. Кратко рассмотрим, что наблюдалось на «лицевой стороне медали» магистрального трубопроводного транспорта России до, во время и после реформ 1990–2000 гг.

Трубопроводный транспорт занимает в Российской Федерации лидирующее положение по грузообороту, на него с середины 1990-х годов и вплоть до 2010 г. приходилась почти половина грузооборота (табл. 1\*). Это прогрессивный, экономически выгодный вид транспорта, ему присущи: универсальность, отсутствие возврата тары, потерь грузов в процессе транспортирования при полной механизации и автоматизации трудоемких погрузочно-раз-

грузочных работ и др. В результате этого снижается себестоимость транспортирования.

Нефть, нефтепродукты и природный газ — основные грузы магистрального трубопроводного транспорта России, в начале 2010-х годов их грузооборот и перекачка магистральными трубопроводами примерно равны. Еще в 1970 г. доля перекачки нефтяных грузов трубопроводным транспортом составляла 51 %, в 1985–1990 гг. ее удалось существенно повысить — до 62–63 %, а к концу 2000-х годов она еще незначительно выросла — до 66–67 %, в начале 2010-х годов — до 66 %. Однако дореформенные показатели перевозки нефтяных грузов в Российской Федерации пока не достигнуты (табл. 2): в 1980 г. — 950 млн т, в 1990 г. — 891 млн т, в 2011 г. — 875 млн т, в 2013 г. — 832 млн т. Восстановлены и даже превышены доперестроечные перевозки нефтяных грузов только железнодорожным транспортом, а трубопроводным транспортом нефти и нефтепродуктов транспортировали в начале 2010-х годов столько же, сколько в РСФСР в конце 1970-х годов (рис. 1).

Доля нефтепродуктов в перекачке нефтяных грузов по магистральным трубопроводам сокра-

\* Здесь и далее (табл. 2, рис. 1–6) использованы официально опубликованные статистические данные ежегодников и сборников разных лет ЦСУ РСФСР, Госкомстата СССР, Госкомстата РСФСР, Госкомстата России и Росстата.

Таблица 1

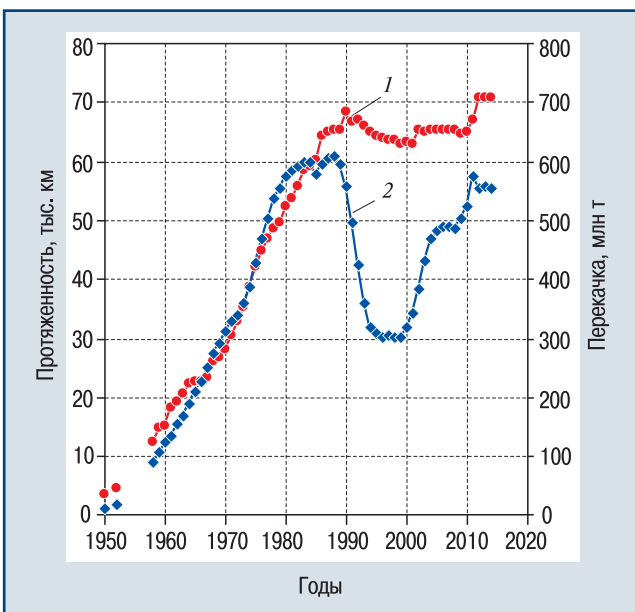
Вид транспорта	Удельный вес в общем грузообороте, %									
	1970	1980	1990	1995	2000	2005	2010	2012	2013	2014
Железнодорожный	64,10	52,50	41,20	32,90	37,70	39,70	42,30	43,90	43,20	45,30
Автомобильный	4,40	5,50	4,90	4,20	4,20	4,10	4,20	4,90	4,90	4,90
Трубопроводный <sup>1</sup>	9,30	24,70	42,10	51,50	52,70	52,90	50,10	48,50	49,40	47,70
Морской	15,80	12,10	8,30	8,80	3,40	1,30	2,10	0,90	0,80	0,60
Внутренний водный	6,30	5,20	3,50	2,50	2,00	1,90	1,10	1,60	1,60	1,40
Воздушный	Н. д.	0,05	0,04	0,04	0,07	0,06	0,10	0,10	0,10	0,10

<sup>1</sup> До 1990 г. без газопроводного транспорта.

Таблица 2

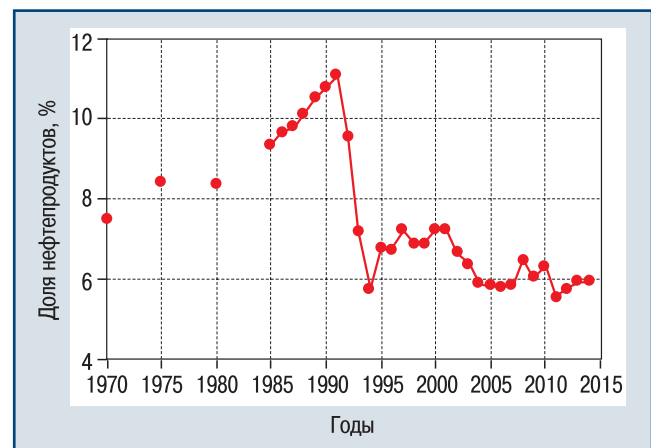
Вид транспорта	Перевозка нефтяных грузов, млн т												
	1960	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2013	2014
Железнодорожный	118,0	219,0	285,0	279,0	266,0	247,0	150,0	155,0	219,0	253,0	278,0	250,0	257
Трубопроводный	123,0	303,0	428,0	576,0	575,0	558,0	309,0	318,0	482,0	525,0	576,0	558,0	556
Морской <sup>1</sup>	Н. д.	37,0	43,0	54,0	51,0	53,0	26,0	10,0	3,6	6,5	6,1	7,1	Н. д.
Внутренний водный	18,0	32,0	38,0	40,0	39,0	33,0	13,0	12,0	17,0	13,0	15,0	17,0	Н. д.
Всего	259,0	591,0	794,0	949,0	931,0	891,0	498,0	495,0	721,6	797,5	875,1	832,1	Н. д.

<sup>1</sup> В 1970–1990 гг. отправлено грузов морским транспортом из морских торговых портов России независимо от принадлежности (флага) судна; с 1995 г. — перевозки грузов российскими судами независимо от порта отправления.



▲ Рис. 1. Изменение протяженности (1) магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов и перекачки (2) по ним нефти и нефтепродуктов в РСФСР и Российской Федерации с 1959 по 2014 г.

тилась почти вдвое (рис. 2): в 1990 г. — 11 %, в 1995–1999 гг. — 7 %, в 2000–2004 гг. — 6,7 %, в 2005–2009 гг. — 6 %, в 2010–2014 гг. — 5,9 %. Протяженность магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов в 1990–2000 гг. перестала расти, но и значительно не уменьшилась. Длина нефтепроводов за 1991–2014 гг. увеличилась на 4 % (на 2 тыс. км), а нефтепродуктопроводов на 2,6 % (на 0,4 тыс. км), при этом 28 % действовавших в 2013 г. магистраль-

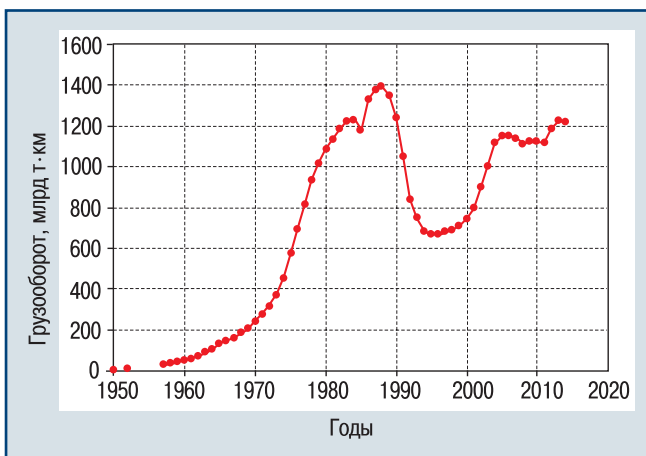


▲ Рис. 2. Доля нефтепродуктов в перекачке нефтяных грузов по магистральным трубопроводам нефти и нефтепродуктов в РСФСР и Российской Федерации в 1970–2014 гг.

ных нефте- и нефтепродуктопроводов построены в годы реформ (т.е. эти трубопроводы обновлены почти на треть).

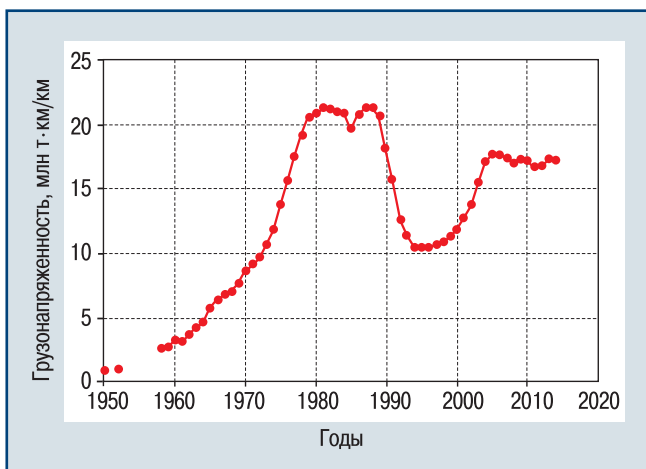
Грузооборот магистрального трубопроводного транспорта по нефти и нефтепродуктам сократился к 1995 г. на 46 %, до уровня показателей середины 1970-х годов. Он начал восстанавливаться с 2000 г., после 2005 г. был достигнут и к 2010 г. стабилизировался на уровне значений показателей начала 1980-х годов (рис. 3).

В 1990-е годы произошло падение эффективности использования транспорта, в том числе трубопроводного, одним из показателей которой служит густота транспортирования грузов по маги-



▲ Рис. 3. Изменение грузооборота на магистральных нефте- и нефтепродуктопроводах в РСФСР и Российской Федерации с 1950 по 2014 г.

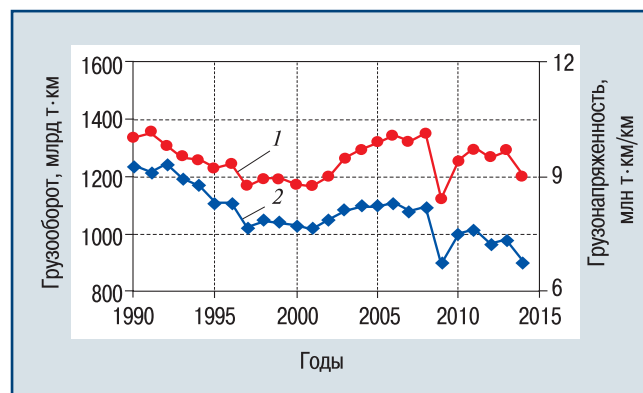
стральным трубопроводам (грузонапряженность). Сходная с грузооборотом динамика наблюдалась в грузонапряженности магистральных трубопроводов нефти и нефтепродуктов: к 1995 г. произошло падение в 2 раза по сравнению с 1988 г., а с середины 2000-х годов восстановлена грузонапряженность, наблюдавшаяся в конце 1970-х годов (рис. 4).



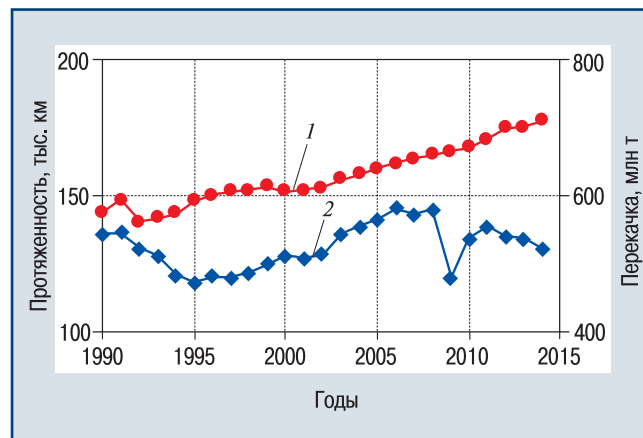
▲ Рис. 4. Динамика грузонапряженности магистральных трубопроводов нефти и нефтепродуктов в РСФСР и Российской Федерации по годам

В меньшей степени в первые годы реформ сократились грузооборот и перекачка на магистральных газопроводах: на 15 и 13 % соответственно к 1995 г. по сравнению с 1990 г. (рис. 5, 6). В 2014 г. отставание от дореформенного уровня удалось сократить по грузообороту до 10 %, а по перекачке — до 4%. При этом протяженность магистральных газопроводов (см. рис. 6) выросла за 1991–2014 гг. на 23 % (на 33,3 тыс. км, до 177,3 тыс. км), 18 % эксплуатировавшихся в 2013 г. магистральных газопроводов построено в годы реформ. Грузонапряженность магистральных газопроводов (см. рис. 5) снизилась в 1990–2009 гг. с 9,3 до 6,8 млн т·км/км (в 2010 г. — 7,5 млн т·км/км, в 2014 г. — 6,8 млн т·км/км). До

1990 г. сведения о длине и грузообороте газопроводов не включали в публикуемые статистические данные.



▲ Рис. 5. Динамика грузооборота (1) и грузонапряженности (2) магистрального газопроводного транспорта в РСФСР и Российской Федерации по годам



▲ Рис. 6. Изменение протяженности (1) магистральных газопроводов и перекачки (2) по ним газа с 1990 по 2014 г. в РСФСР и Российской Федерации

В 1990-е годы магистральный трубопроводный транспорт России пострадал не так сильно, как в целом отечественные промышленность, транспорт и энергетика [1]. Магистральный трубопроводный транспорт — важнейшее стратегическое звено, обеспечивающее экспорт российских энергоносителей. К нему всегда приковано пристальное внимание и в России и за рубежом. Крупные промышленные аварии здесь редки, но все же случаются. Например, 3 ноября 2012 г. на 16,8-м км магистрального газопровода «Щитниково — Оборино, 1-я нитка» в Щелковском р-не Московской обл. произошел аварийный разрыв трубопровода с последующим возгоранием газа. В близрасположенном садовом товариществе «Алмаз-1» загорелись 10 частных домов, а общий размер ущерба составил 3,87 млн руб. Но российские средства массовой информации быстро и профессионально «топят» такие сообщения в информационном шуме. Конструирование и тиражирование угрожающих образов аварий на российских магистральных трубопроводах может

пошатнуть веру в энергетическую безопасность у западных потребителей, что чревато крупными репутационными и материальными потерями для современной России. В этом ключевая особенность новых гибридных угроз от крупных промышленных аварий [2, 3]. В том числе и по этой причине в настоящее время по-новому настраивается и система обеспечения промышленной безопасности в стране, внедряют риск-ориентированные подходы в надзорной деятельности. Кратко рассмотрим состояние аварийности на российских магистральных трубопроводах (газопроводы, нефтепроводы и нефтепродуктопроводы).

На основании официальных сведений Ростехнадзора об аварийности и данных Росстата о магистральном трубопроводном транспорте оценены отдельные фоновые показатели опасности аварий на опасных производственных объектах магистральных трубопроводов [4, 5] за последние пять

лет (табл. 3). В соответствии с приложением № 6 к Руководству по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденному приказом Ростехнадзора от 13 мая 2015 г. № 188, опасность аварии на участках линейной части магистрального трубопроводного транспорта можно устанавливать относительным сравнением показателей опасности со среднеотраслевым фоновым риском аварии за последние 5 лет. В табл. 4 представлены критерии для ранжирования участков линейной части магистральных трубопроводов по степени опасности аварий при сравнении со среднеотраслевым фоновым риском аварий.

В целом на магистральном трубопроводном транспорте после всплеска в 1993–1998 гг. удельная аварийность на грузооборот снижалась, и в начале 2010-х годов она вышла на уровни начала

Таблица 3

Год	Характеристики магистрального трубопроводного транспорта				
	Число зафиксированных аварий	Длина трубопроводов, тыс. км	Грузооборот, млрд т·км	Общий ущерб от аварий, млн руб.	Число погибших при авариях
2009	28	231,0	2246	371,0	1,0
2010	13	232,6	2382	146,0	3,0
2011	17	237,5	2422	161,5	2,0
2012	21	245,2	2453	154,8	1,0
2013	12	245,8	2513	318,9	0
2014	8	248,1	2423	96,5	2,0
В среднем за 2010–2014 гг.	14 ± 4	242,0 ± 6,0	2439 ± 43	176,0 ± 74,0	1,6 ± 1,0

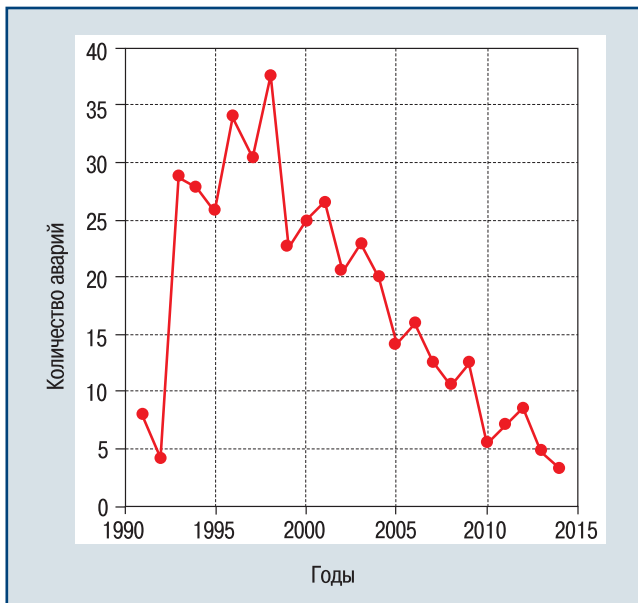
Окончание табл. 3

Год	Показатели опасности аварий на магистральном трубопроводном транспорте					
	Удельная интенсивность аварий, (1000 км·год) <sup>-1</sup>	Удельная частота аварий за год, (трлн т·км) <sup>-1</sup>	Средний ущерб на 1 аварию, млн руб.	Удельный ожидаемый ущерб от аварии, млн руб./(1000 км·год)	Смертельная тяжесть аварий, количество аварий на 1 погибшего	Аварийная смертность, количество погибших на 10 аварий
2009	0,12	12,5	13,3	1,6	28	0,4
2010	0,06	5,5	11,2	0,6	4	2,3
2011	0,07	7,0	9,5	0,7	9	1,2
2012	0,09	8,6	7,4	0,6	21	0,5
2013	0,05	4,8	26,6	1,3	—	0
2014	0,03	3,3	12,1	0,4	4	2,5
В среднем за 2010–2014 гг.	0,06±0,02	5,8 ± 1,8	13,0 ± 7,0	0,7 ± 0,3	10 ± 7	1,3 ± 1,0

Таблица 4

Степень опасности аварии	Удельная интенсивность аварий, (1000 км·год) <sup>-1</sup>	Удельная частота аварий за год, (трлн т·км) <sup>-1</sup>	Средний ущерб на 1 аварию, млн руб.	Удельный ожидаемый ущерб от аварии, млн руб./(1000 км·год)	Количество погибших на 10 аварий
Малая	Менее 0,02	Менее 2	Менее 3	Менее 0,2	Менее 0,15
Средняя	0,02–0,20	2–20	3–30	0,2–2,0	0,15–1,50
Высокая	0,20–2,00	20–200	30–300	2,0–20,0	1,50–15,00
Чрезвычайно высокая	Более 2,00	Более 200	Более 300	Более 20,0	Более 15,00

1990-х годов (рис. 7). При этом на одну аварию в 2011–2014 гг. регистрировали в среднем 17 инцидентов. В абсолютных величинах почти 70 % всех аварий на магистральном трубопроводном транспорте регистрируют на газопроводах, но на них приходится и приблизительно 70 % протяженности всех магистралей.



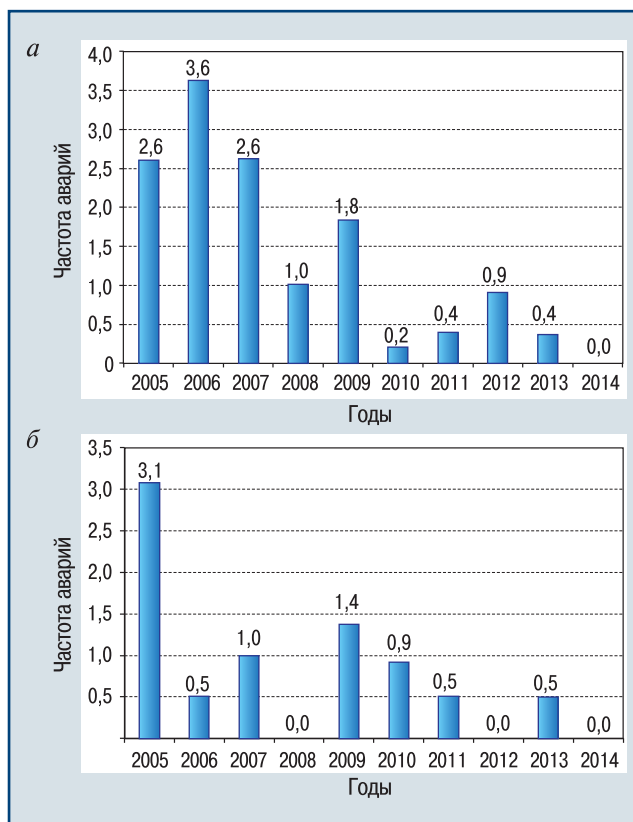
▲ Рис. 7. Динамика количества зарегистрированных аварий на 1 трлн тонно-километров грузооборота с 1990 по 2015 г.

На основании ретроспективных данных об аварийности за последние 10 лет оценены фоновые показатели опасности аварий для опасных производственных объектов магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Фоновая частота промышленных аварий на магистральных нефтепроводах в 2005–2014 гг. достигала 2,1 аварии на 10 тыс. км (в среднем  $(1,4 \pm 0,8) \cdot 10^{-4}$  аварии на 1 км в год), а на магистральных нефтепродуктопроводах — 0,8 аварии на 10 тыс. км (в среднем  $5 \cdot 10^{-5}$  аварии на 1 км в год). Динамика этого показателя в 2005–2014 гг. представлена на рис. 8.

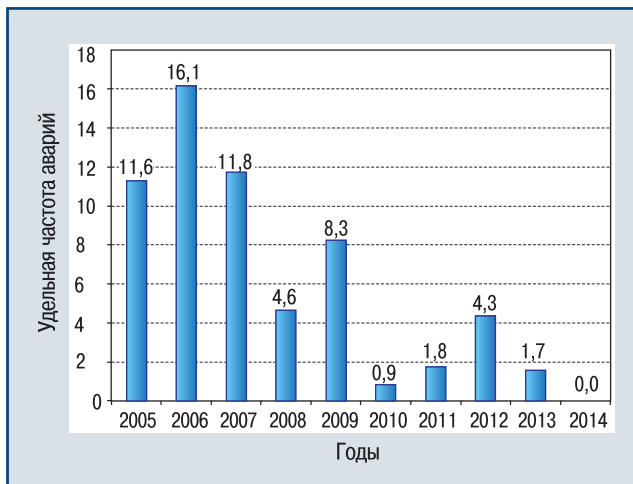
За последние 10 лет фоновая удельная частота аварий на магистральных нефтепроводах достигала 9,5 аварии на 1 трлн тонно-километров грузооборота магистральных нефтепроводов, в среднем  $(6,1 \pm 3,4)$  аварии на 1 трлн тонно-километров грузооборота. Динамика этого показателя приведена на рис. 9.

Показатели аварийности для магистральных нефтепроводов с начала 1990-х годов представлены на рис. 10, фоновые значения за 2005–2014 гг. составляют  $(1,4 \pm 0,8)$  аварии на 10 тыс. км и  $(6,1 \pm 3,4)$  аварии на 1 трлн тонно-километров.

При рассмотрении и использовании данных об аварийности на магистральных трубопроводах необходимо принимать во внимание изменения в регистрации фактов аварий и инцидентов на опас-

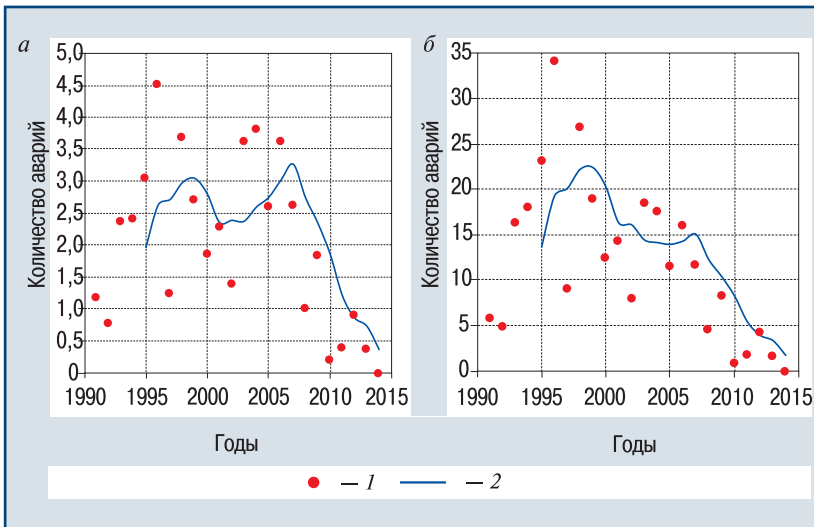


▲ Рис. 8. Динамика частоты аварий на магистральных нефтепроводах (а) и нефтепродуктопроводах (б) на 10 тыс. км длины



▲ Рис. 9. Динамика удельной частоты аварий на магистральных нефтепроводах на 1 трлн тонно-километров грузооборота

ных производственных объектах. Подавляющая часть современной промышленной и транспортной инфраструктуры России создана в советское время. При проектировании промышленных и транспортных объектов не учитывали существующие в настоящее время внешние угрозы антропогенного характера, такие как диверсии или самовольные врезки в целях хищения и последующей загрузки мощностей разросшихся мини-НПЗ. Изменение социально-экономической действи-

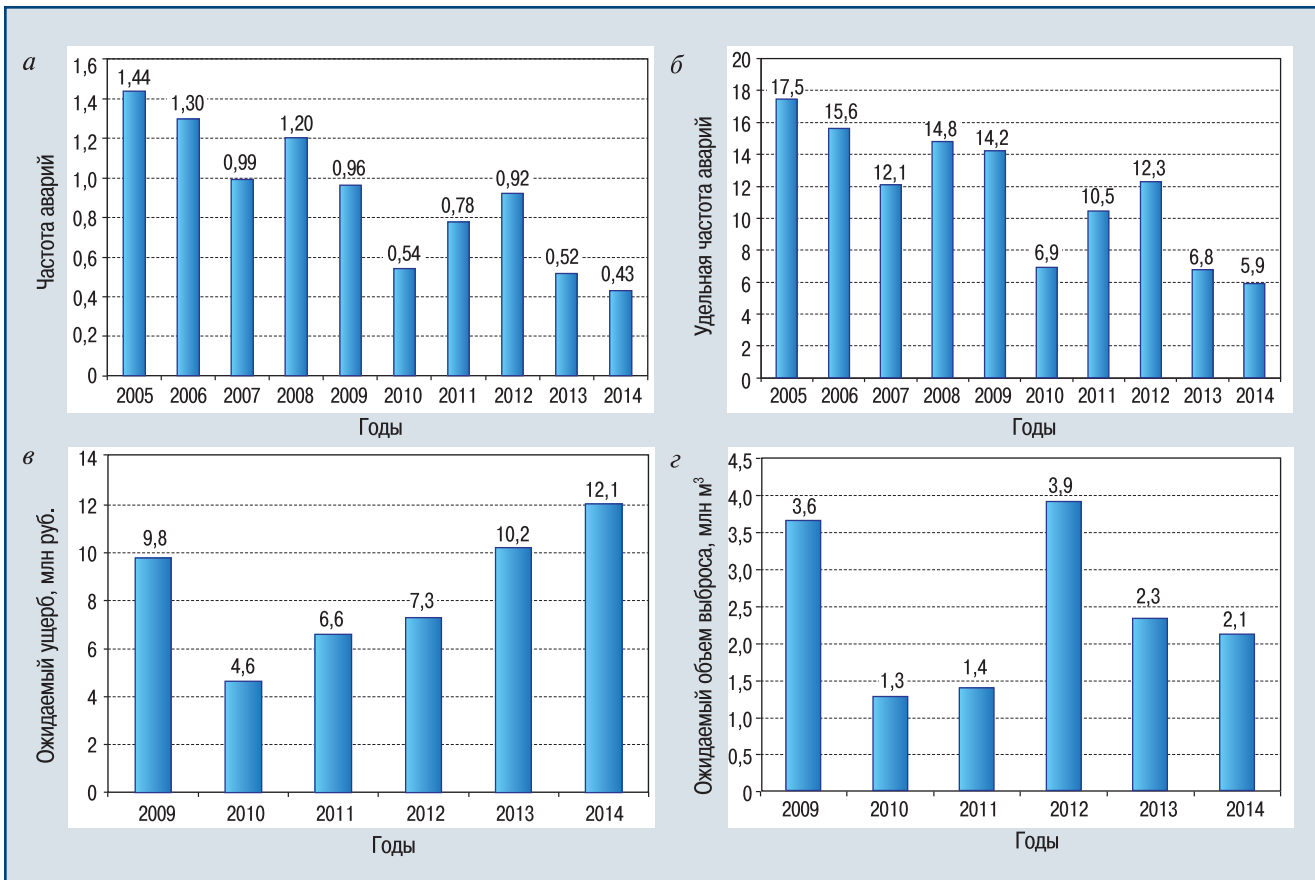


▲ **Рис. 10.** Динамика аварийности на магистральных нефтепроводах России:

*a, б* — количество зарегистрированных аварий соответственно на 10 тыс. км, на 1 трлн тонно-километров грузооборота; 1 — в текущем году; 2 — в среднем за предыдущие 5 лет

тельности в России принесло не только блага магистральной свободы транспортирования нефти и нефтепродуктов платежеспособным потребителям, но и рост аварийности на трубопроводах из-за внешних антропогенных воздействий, в том числе преступных.

На основании ретроспективных данных об аварийности и смертельном травматизме за последние 10 лет оценены фоновые показатели опасности аварий для опасных производственных объектов магистральных газопроводов: частота аварий на 10 тыс. км (рис. 11, *a*), удельная частота аварий на 1 трлн тонно-километров грузооборота (рис. 11, *б*), ожидаемый ущерб от аварии (рис. 11, *в*), ожидаемый объем выброса при аварии (рис. 11, *г*). Фоновая частота промышленных аварий на магистральных газопроводах в 2005–2014 гг. достигала 1,1 аварии на 10 тыс. км (в среднем  $(9 \pm 2) \cdot 10^{-5}$  аварий на 1 км в год). За последние 10 лет фоновая удельная частота аварий составляла 13 аварий на 1 трлн тонно-километров грузооборота магистральных газопроводов (в среднем  $(11 \pm 2,3)$  аварий на 1 трлн тонно-километров). За 2009–2014 гг. фоновый ожидаемый ущерб на одну аварию достигал 10,6 млн руб. (в среднем  $(8,4 \pm 2,2)$  млн руб., максимум в 2014 г. — 12,1 млн руб.). За этот же период фоновый ожидаемый объем аварийного выброса газа на одну аварию достигал 3,3 млн м<sup>3</sup> (в среднем  $(2,4 \pm 0,9)$  млн м<sup>3</sup>, максимум в 2012 г. —



▲ **Рис. 11.** Динамика фоновых показателей опасности аварий для магистральных газопроводов

3,9 млн м<sup>3</sup>). Стоимость аварийного 1 м<sup>3</sup> газа в 2009–2014 гг. составляла в среднем 2,8–5 руб., максимум отмечен в 2014 г. — 5,7 руб. за 1 м<sup>3</sup> (что сравнимо с ценой 1 м<sup>3</sup> газа, отпускаемого в Подмосковье для населения).

За последние 10 лет фоновые показатели частоты возникновения регистрируемых аварий на магистральных газопроводах снижались (см. рис. 11, а, б). Это характерная тенденция присуща и другим большим системам, находящимся в динамическом равновесии, когда изменения ключевых технологических параметров (протяженность, грузооборот, технология работ и др.) относительно незначительны (см. рис. 5, 6). Сходные тенденции сокращения числа аварий наблюдаются на североамериканских и европейских магистральных трубопроводных системах. Однако соотношение между числом регистрируемых аварий и инцидентов на магистральных трубопроводах косвенно свидетельствует о недостаточности анализа причин аварийности и травматизма в рамках производственного контроля и о непоступлении предупредительных организационно-технических мер в широкий оборот для предотвращения возникновения промышленных аварий на магистральных трубопроводах. Особенно эта проблема опасна для сильно изношенных объектов. Об этом свидетельствует в целом рост «средней цены одной аварии» (см. рис. 11, в) при сохранении среднего выброса при аварии (см. рис. 11, г). Более трети аварий за 2012–2014 гг. произошло на газопроводах с износом основных фондов выше 85 %, а 60 % материального ущерба пришлось на аварийные трубопроводы с износом более чем 50 %. Распределение числа и тяжести аварий за 2012–2014 гг. на магистральных газопроводах в зависимости от срока эксплуатации представлено в табл. 5, а в зависимости от износа основных фондов — в табл. 6.

Таблица 5

Срок эксплуатации, лет	Распределение аварий, %		
	по числу зарегистрированных	по размеру экономического ущерба	по объемам аварийного выброса газа
0–10	3	1	0,09
10–20	6	13	9,00
20–40	66	61	52,00
Более 40	25	25	39,00

Таблица 6

Износ основных фондов, %	Распределение аврий		
	по числу зарегистрированных	по размеру экономического ущерба	по объемам аварийного выброса газа
До 25	0,13	0,31	0,21
25–50	0,90	0,10	0,20
50–85	0,41	0,31	0,15
Более 85	0,38	0,29	0,62

Проблема забвения уроков аварий и зашумления предаварийных сигналов выявляется не только при рассмотрении соотношения регистрации числа аварий и инцидентов, но и в заявляемой оценке ущерба от аварий. Сейчас объявляемые ущербы от аварий на магистральных газопроводах таковы, что не позволяют планировать меры экономического стимулирования предупреждения аварий. В последние пять лет средняя стоимость 1 м<sup>3</sup> аварийно выброшенного газа (т.е. с учетом всех составляющих ущерба от аварии) сравнима со стоимостью товарного газа для населения. Другими словами, продажа газа населению и его аварийное рассеивание стоит примерно одинаково. Можно предположить, что реальный ущерб от аварий «поглощается системой», а скорее «размывается» по тарифу для платежеспособных потребителей.

И все же в Российской Федерации следят за угрозой крупных промышленных аварий на магистральных трубопроводах. В отличие от многих других отраслей здесь сохранены и укреплены научные институты, достигнуты значительные научные и практические результаты по внутритрубной диагностике. Есть еще чему поучиться в обеспечении безопасной эксплуатации опасных производственных объектов у российских магистральных трубопроводчиков.

Чтобы развивать и совершенствовать действительно эффективные системы обеспечения безопасности, требуется подробная и динамичная карта опасностей. Она должна давать беспристрастную картину происходящего: какие и где опасности имеются в системе поднадзорных объектов, что с ними происходит, как меняются. Карта опасностей должна давать целостную и динамическую картину текущего накала аварийных опасностей, тогда на ее основе можно планировать адекватные меры предупреждения и соответствующие регулирующие воздействия. Фактически карта опасностей — это упорядоченный набор значений соответствующих показателей исследуемого явления, в данном случае — опасности аварий.

Приведенные в настоящей статье риск-ориентированные показатели опасности аварий на магистральном трубопроводном транспорте не отменяют, а только дополняют традиционные показатели аварийности и травматизма — высвечивают опасности аварий в переходные и кризисные периоды. Для относительно стабильных, динамически устоявшихся систем поднадзорных опасных производственных объектов (находящихся в состоянии гомеостаза) традиционные показатели аварийности и травматизма вполне пригодны, в достаточной степени представительны для формирования соответствующей карты опасностей. Если же основная производственная деятельность претерпевает существенные качественные и количественные изменения, то абсолютные показатели аварийности и

травматизма необходимо дополнять риск-ориентированными показателями опасности аварий.

От состояния и качества исходной карты опасностей (актуальность, масштабность, динамичность, наглядность и т.п.) во многом зависит результативность всей системы обеспечения безопасности, а также эффективность защищаемой от опасностей деятельности в целом. На этих общих закономерностях базируется и российское нормативно-правовое обеспечение промышленной безопасности, отражающее приоритетный принцип предупреждения наиболее опасных проявлений аварийности и травматизма в системе поднадзорных опасных производственных объектов. Обширные знания для предупреждения катастрофических последствий в значительной степени накапливаются из трагического опыта происшедших аварий. Помимо недопущения прошлых просчетов и ошибок в современных условиях требуется систематизированное выявление, анализ и прогнозирование известных и новых опасностей аварий в быстро изменяющейся промышленности и особенно в ее базовой и наиболее опасной топливно-энергетической части — на объектах топливно-энергетического комплекса и смежных отраслей промышленности.

### Список литературы

1. Гражданкин А.И., Кара-Мурза С.Г. Белая книга России. Строительство, перестройка и реформы: 1950–2013 гг. — М.: Научный эксперт, 2015. — 728 с.
2. Гражданкин А.И., Печеркин А.С., Сидоров В.И. Заменит ли количественная оценка риска выполнение требований промышленной безопасности?// Безопасность труда в промышленности. — 2012. — № 10. — С. 43–48.
3. Гражданкин А.И., Печёркин А.С., Сидоров В.И. Допустимый риск — мера неприемлемой опасности промышленной аварии// Безопасность труда в промышленности. — 2015. — № 3. — С. 66–70.
4. О реализации положений Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности для опасных производственных объектов магистральных трубопроводов»/ С.А. Жулина, В.Л. Титко, М.В. Лисанов, В.В. Симакин// Безопасность труда в промышленности. — 2014. — № 3. — С. 30–34.
5. Жулина С.А., Лисанов М.В., Савина А.В. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах// Безопасность труда в промышленности. — 2013. — № 1. — С. 50–55.

gra@safety.ru

Материал поступил в редакцию 2 ноября 2015 г.

УДК 681.3

© Т.В. Савицкая, А.Ф. Егоров, Е.В. Мищенко, 2015

## Моделирование последствий аварий с использованием программного комплекса FLACS



**Т.В. Савицкая,**  
д-р техн. наук,  
проф.



**А.Ф. Егоров,**  
д-р техн. наук, зав.  
кафедрой



**Е.В. Мищенко,**  
аспирант

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева

Представлены результаты моделирования последствий разгерметизации горизонтальных резервуаров и вертикального изотермического резервуара в поддоне с опасными химическими веществами с использованием программного комплекса FLACS.

*The results of modeling of consequences of depressurization of the horizontal tanks and the vertical isothermal tank in the tray with hazardous chemical substances using software FLACS are presented in the Article.*

**Ключевые слова:** промышленная безопасность, опасный производственный объект, хранение продукции, авария, моделирование рассеяния.

**Key words:** industrial safety, hazardous production facility, product storage, accident, dispersion modeling.

В настоящее время в Российской Федерации уделяют большое внимание обеспечению промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых хранятся запасы химических продуктов и полупродуктов [1–5]. В зависимости от назначения, агрегатного состояния и класса опасности условия хранения химической

продукции варьируются в широком диапазоне. При несоблюдении регламентируемых условий хранения химической продукции могут возникнуть аварии, сопровождающиеся выбросами в атмосферу токсичных, взрыво- и пожароопасных веществ, значительным материальным ущербом и большими человеческими жертвами. Для предотвращения