

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

УДК 629.10.061

**АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА  
В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ, РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
СТРАНАХ ЗАПАДНОЙ ЕВРОПЫ И США**

**А.Н. ВОРОНИН, д-р техн. наук, проф. В.К. ЛИПСКИЙ,**  
*(Полоцкий государственный университет);*  
**д-р техн. наук, проф. П.С. СЕРЕНКОВ**  
*(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

*Статья посвящена анализу аварийности магистрального трубопроводного транспорта в Республике Беларусь, Российской Федерации, странах Западной Европы и США. Магистральный трубопроводный транспорт относится к I категории опасных объектов. Критерием отнесения объектов к категории опасных является обращение опасных веществ в установленных предельных количествах. Основная часть объектов магистрального трубопроводного транспорта Республики Беларусь выработала свой нормативный срок службы. Это влечет за собой повышенную вероятность возникновения аварийных ситуаций, сопровождающихся негативными последствиями. Анализ аварий в магистральном трубопроводном транспорте позволяет выделить виды наиболее вероятных причин их возникновения и предпринять превентивные и митигационные меры.*

**Введение.** Республика Беларусь обладает развитой сетью магистральных трубопроводов общей протяженностью свыше 11 тыс. км. Это обстоятельство во многом обусловлено выгодным географическим положением страны. Транзит углеродных энергоносителей через территорию Беларуси помогает республике извлекать значительную экономическую выгоду, что позволяет рассматривать магистральный трубопроводный транспорт в качестве стратегически важного объекта для национальной экономики [1]. Ожидается, что в 2015 году по отношению к уровню 2010 года объем доходов от транзита нефти по магистральным трубопроводам составит 310,5 млн. долл. США, или 115,8 %, а от транзита природного газа по магистральным трубопроводам 590,9 млн. долл. США, или 127,5 %.

Целью Государственной программы развития транзитного потенциала Республики Беларусь на 2011 – 2015 годы [1] является создание условий и реализация мероприятий по развитию и эффективному использованию транзитного потенциала страны. Одно из приоритетных направлений Программы – обеспечение дополнительных объемов транзита трубопроводным транспортом. Практическая реализация данного приоритетного направления зависит от множества внешних и внутренних факторов, но может состояться лишь в условиях безаварийного штатного функционирования магистрального трубопроводного транспорта.

Магистральный трубопроводный транспорт характеризуется наличием большого количества процессов и вовлеченных в них объектов и является линейно протяженным на тысячи километров. Согласно теории надежности [2] вероятность безотказной работы группы объектов равна произведению вероятностей безотказной работы каждого объекта в этой группе:

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t) = \prod_k^n P_k(t). \quad (1)$$

Из этого следует, что чем больше объектов в группе, тем ниже надежность всей группы, так как если  $P_1(t) = P_2(t) = \dots = P_n(t)$ , тогда  $P(t) = [P_1(t)]^n$ . По этой причине магистральный трубопроводный транспорт с точки зрения возможности возникновения аварийных ситуаций является потенциально опасным.

В соответствии с Законом Республики Беларусь «О промышленной безопасности» [3] магистральный трубопроводный транспорт является опасным производственным объектом. Магистральный трубопроводный транспорт относится к I категории опасных объектов. Критерием отнесения объектов к категории опасных является обращение опасных веществ в установленных предельных количествах. В отношении магистрального трубопроводного транспорта предельные количества опасных веществ составляют: 200 т – для линейных сооружений, 50 тыс. т – для площадочных сооружений.

Количество опасного вещества на линейной части магистрального трубопроводного транспорта может превышать предельное значение в сотни раз. Проведенный расчет показывает, что нефтепровод с условным диаметром 1400 мм и длиной 151 м, в котором находится нефть плотностью 860 кг/м<sup>3</sup>, являет-

ся опасным производственным объектом I категории. Результаты расчета для различных условных диаметров нефтепровода показаны в таблице 1.

Таблица 1

Условный диаметр и длина нефтепровода с находящейся в нём нефтью, при которых нефтепровод является опасным производственным объектом I категории

| Условный диаметр нефтепровода, мм | Длина нефтепровода (опасного производственного объекта), км |
|-----------------------------------|---|
| 300                               | 3,29  |
| 400                               | 1,85  |
| 500                               | 1,19  |
| 600                               | 0,82  |
| 700                               | 0,60  |
| 800                               | 0,46  |
| 900                               | 0,37  |
| 1000                              | 0,30  |
| 1100                              | 0,24  |
| 1200                              | 0,21  |
| 1300                              | 0,18  |
| 1400                              | 0,15  |

Из этого следует, что участок магистрального трубопровода длиной 100 км содержит в себе несколько десятков единичных опасных производственных объектов и представляет потенциальную угрозу при возникновении аварийной ситуации.

При обеспечении безаварийного режима функционирования в магистральном трубопроводном транспорте широко применяется принцип «разумной достаточности» ALARA (as low as reasonably achievable) [4], что не исключает возникновения аварийных ситуаций. В различных странах мира, как показывают статистические данные, аварии в магистральном трубопроводном транспорте носят систематический характер.

**Основная часть.** Анализ аварий в магистральном трубопроводном транспорте позволяет выделить виды наиболее вероятных причин их возникновения и предпринять превентивные и митигационные меры. Выполнить анализ аварийных ситуаций в магистральном трубопроводном транспорте, используя статистику аварий по Республике Беларусь, не представляется возможным по причине небольшого количества произошедших аварий. Поэтому целесообразно использовать статистику аварийности в магистральном трубопроводном транспорте Соединенных Штатов Америки, стран Западной Европы и Российской Федерации.

Согласно данным Министерства Транспорта Соединенных Штатов Америки [5] за последние 20 лет (с 1991 по 2010 год) на магистральном трубопроводном транспорте общей протяженностью 321 тыс. км произошло 864 аварии и 43 несчастных случая со смертельным исходом. Статистика аварийных ситуаций с количеством аварий на магистральном трубопроводном транспорте США по годам показана на рисунке 1.



Рис. 1. Статистика аварийных ситуаций на магистральном трубопроводном транспорте США за 1991 – 2010 годы

Анализ аварийности трубопроводов Западной Европы за 40 лет (1971 – 2010), был проведен Европейской организацией по защите окружающей среды CONCAWE (Conservation of Clean Air and Water in Europe). В качестве аварии рассматривался розлив нефти. Протяженность подлежащей исследованию нефтепроводной системы составляет свыше 35 тыс. км. Географический регион Западной Европы включает 19 стран, за исключением Турции, куда входят 77 организаций, эксплуатирующих магистральные нефтепроводы. В соответствии с докладом [6] за последние 40 лет на магистральных нефтепроводах Западной Европы произошло 474 аварии<sup>1</sup>. Статистика аварийных ситуаций с количеством аварий на магистральных нефтепроводах Западной Европы по годам показана на рисунке 2.



Рис. 2. Статистика аварийных ситуаций на магистральных нефтепроводах Западной Европы с 1971 по 2010 год

По данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору Российской Федерации [7] за 9 лет (с 2001 по 2009 год) на магистральном трубопроводном транспорте общей протяженностью 242 тыс. км зафиксировано 363 аварии и 49 несчастных случаев со смертельным исходом. Статистика аварийных ситуаций с количеством аварий на магистральном трубопроводном транспорте Российской Федерации по годам показана на рисунке 3.



Рис. 3. Статистика аварийных ситуаций на магистральном трубопроводном транспорте Российской Федерации за 2001 – 2009 годы

В результате исследования статистических данных по аварийным ситуациям за последние 20 лет на магистральном трубопроводном транспорте США с применением анализа Парето было выявлено 5 видов основных причин, на которые приходятся 80 % аварийных случаев. Среди них наибольший удельный вес имеют такие причины, как внешнее механическое воздействие и коррозионное разрушение (33,4 и 18,8 % соответственно). Распределение причин аварий в процентах показано на рисунке 4.

<sup>1</sup> Перевод авторов.

В ходе исследования статистических данных по аварийным ситуациям за последние 40 лет в странах Западной Европы на магистральных нефтепроводах было выделено 5 видов причин аварий. Результат анализа показал, что среди них основными являются внешнее механическое воздействие и коррозионное разрушение (40 и 27,4 % соответственно). Распределение причин аварий в процентах показано на рисунке 5.

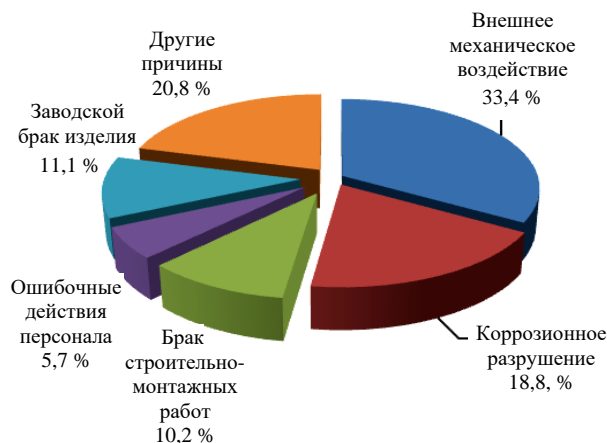


Рис. 4. Распределение причин аварий на магистральном трубопроводном транспорте США с 1991 по 2010 год



Рис. 5. Распределение причин аварий на магистральном трубопроводном транспорте стран Западной Европы с 1971 по 2010 год

Статистика аварийных ситуаций на магистральном трубопроводном транспорте Российской Федерации с 2005 по 2009 год составлена по данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору Российской Федерации и внесена в таблицу 2.

Таблица 2

Причины аварий на магистральном трубопроводном транспорте Российской Федерации с 2005 по 2009 год

| Причины аварий                            | Годы      |           |           |           |           | Ед.       |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|   | 2005      | 2006      | 2007      | 2008      | 2009      |           |
| <b>Магистральные газопроводы</b>          |           |           |           |           |           |           |
| Внешнее механическое воздействие          | 3         | 2         | 5         | 1         | 1         | 12        |
| Коррозионное разрушение                   | 14        | 8         | 7         | 15        | 6         | 50        |
| Брак строительно-монтажных работ          | 3         | 2         | 3         | 4         | 7         | 19        |
| Ошибочные действия персонала              | 1         | 3         | 0         | 0         | 1         | 5         |
| Заводской брак изделия                    | 2         | 4         | 1         | 1         | 1         | 9         |
| <b>Итого</b>                              | <b>23</b> | <b>19</b> | <b>16</b> | <b>21</b> | <b>16</b> | <b>95</b> |
| <b>Магистральные нефтепроводы</b>         |           |           |           |           |           |           |
| Внешнее механическое воздействие          | 12        | 12        | 10        | 3         | 4         | 41        |
| Коррозионное разрушение                   | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 1         |
| Брак строительно-монтажных работ          | 2         | 1         | 0         | 0         | 3         | 6         |
| Ошибочные действия персонала              | 0         | 0         | 0         | 2         | 0         | 2         |
| Заводской брак изделия                    | 2         | 0         | 3         | 0         | 0         | 5         |
| <b>Итого</b>                              | <b>16</b> | <b>13</b> | <b>12</b> | <b>5</b>  | <b>8</b>  | <b>55</b> |
| <b>Магистральные нефтепродуктопроводы</b> |           |           |           |           |           |           |
| Внешнее механическое воздействие          | 5         | 1         | 0         | 0         | 1         | 7         |
| Коррозионное разрушение                   | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| Брак строительно-монтажных работ          | 0         | 0         | 1         | 0         | 1         | 2         |
| Ошибочные действия персонала              | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         |
| Заводской брак изделия                    | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 1         |
| <b>Итого</b>                              | <b>6</b>  | <b>1</b>  | <b>2</b>  | <b>0</b>  | <b>2</b>  | <b>11</b> |

Нормативный срок службы большинства объектов магистрального трубопроводного транспорта, разработанный на основе норм износа и амортизационных отчислений, установленный Временным республиканским классификатором основных средств [8], равен 33 годам. Для некоторых объектов нормативный срок службы меньше.

Нормативные сроки службы для объектов магистрального трубопроводного транспорта проиллюстрированы в таблице 3. Данные представленной таблицы свидетельствуют, что основная часть объектов магистрального трубопроводного транспорта Республики Беларусь выработала свой нормативный срок службы. Это влечет за собой повышенную вероятность возникновения аварийных ситуаций, сопровождающихся негативными последствиями.

Таблица 3

Нормативный срок службы объектов магистрального трубопроводного транспорта

| №  | Наименование объекта магистрального трубопроводного транспорта      | Нормативный срок службы, лет |
|----|---|------------------------------|
| 1  | Задвижки линейные, установки циклонные                              | 10                           |
| 2  | Сооружения электрохимической защиты от коррозии                     | 15                           |
| 3  | Камеры приема-пуска   | 15,2                         |
| 4  | Резервуары для хранения нефтепродуктов (металлические)              | 20                           |
| 5  | Наземные и подземные емкости для сжиженных газов                    | 27                           |
| 6  | Магистральные газопроводы и нефтепродуктопроводы                    | 33                           |
| 7  | Переход газопроводов через естественные и искусственные препятствия | 33                           |
| 8  | Станция газораспределительная                                       | 33                           |
| 9  | Станция газоизмерительная   | 33                           |
| 10 | Эстакады сливные, наливные  | 33                           |
| 11 | Скважины подземных хранилищ газа                                    | 50                           |

**Заключение.** Анализ магистрального трубопроводного транспорта в качестве источника опасности позволил выделить ряд особенностей, свойственных данному виду транспорта.

1. Магистральный трубопроводный транспорт характеризуется большим разнообразием процессов и вовлеченных в них технических средств, устройств, сооружений, конструкций. При таком количестве процессов и объектов не всегда представляется возможным производить своевременный мониторинг безопасного режима функционирования магистрального трубопроводного транспорта, на что указывают произошедшие аварии.

2. Несмотря на прилагаемые операторами магистральных трубопроводов усилия, полностью избежать аварий на магистральном трубопроводном транспорте невозможно.

Не может быть абсолютной безопасности, так как возможность возникновения аварии будет оставаться. Поэтому продукция, процесс или услуга могут быть только относительно безопасными [9].

По приведенным данным количество аварий на магистральном трубопроводном транспорте США за последние 20 лет не сократилось, аварии регистрируются даже на коротких технологических трубопроводах протяженностью 1000 – 1500 км.

На магистральном трубопроводном транспорте стран Западной Европы за последние 40 лет (после 80-х годов) наблюдается тенденция к уменьшению аварийных ситуаций. Данные позитивные изменения появились после принятия Директивы Европейского Сообщества 82.501.ЕЕС «Directive Seveso» [10] в 1982 году, широко известной как «Директива по Севезо», содержащей требования проведения анализа промышленной безопасности на опасных производственных объектах [11].

На магистральном трубопроводном транспорте Российской Федерации за последние 5 лет также наблюдается тенденция к уменьшению количества аварийных ситуаций.

3. Анализ аварийных ситуаций по странам на магистральном трубопроводном транспорте позволяет выделить 3 основные причины, которые включают внешнее воздействие, коррозионное разрушение и брак строительно-монтажных работ, представляющие собой процессы на различных стадиях жизненного цикла магистрального трубопроводного транспорта, что свидетельствует о том, что причины аварий зарождаются в процессах.

4. Аварии на магистральном трубопроводном транспорте сопровождаются тяжестью последствий, что вызывает необходимость обеспечения безопасности магистрального трубопроводного транспорта не только как одного из важных элементов экономики, но и как опасного объекта. Анализ аварийных ситу-

аций позволяет выявить общие тенденции и факторы, которые могут быть использованы при совершенствовании методических документов по оценке риска на объектах трубопроводного транспорта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа развития транзитного потенциала Республики Беларусь на 2011 – 2015 годы: утв. Постановлением Совмина от 20.12.2010 № 1852.
2. Острейковский, В.А. Теория надежности: учебник для вузов / В.А. Острейковский. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.
3. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Закон Респ. Беларусь от 10 января 2000 г., № 363-3.
4. Воробьев, Ю.Л. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов. – М.: Ин-октаво, 2005. – 368 с.
5. Официальный сайт Министерства Транспорта США [Электронный ресурс] – 2011. – Режим доступа: [http://primis.phmsa.dot.gov/comm/reports/safety/sigpsi.html?nocache=1572#\\_ngtrans](http://primis.phmsa.dot.gov/comm/reports/safety/sigpsi.html?nocache=1572#_ngtrans). – Дата доступа: 21.03.2012.
6. Performance of European cross-country oil pipelines. Statistical summary of oil reported spillages in 2010 and since 1971, Concauwe, Brussels, December 2011. – 57 p.
7. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2009 г., М.: ООО «Полимедиа», 2010. – 460 с.
8. Временный республиканский классификатор основных средств и нормативные сроки их службы: Постановление Совета М-ва экономики Респ. Беларусь от 21.11.2001 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2002. – № 113, 8/8600.
9. Руководство 51 (Guide 51) Аспекты безопасности. Руководство по включению их в стандарты, 1999.
10. Council Directive of 27 June 1982 on the major-accident hazards of certain industrial activities (82/501/EEC) // Official Journal of the European Communities (OJ), N L 23D, 5.8.82. – P. 1.
11. Елохин, А.Н. Декларирование безопасности промышленной деятельности: методы и практические рекомендации / А.Н. Елохин. – М., 1999. – 114 с.

Поступила 05.06.2012

#### **THE ANALYSIS OF ACCIDENTAL RATE ON THE MAIN PIPELINE TRANSPORT IN THE REPUBLIC OF BELARUS, RUSSIAN FEDERATION, COUNTRIES OF WESTERN EUROPE AND THE UNITED STATES OF AMERICA**

**A. VORONIN, V. LIPSKY, P. SERENKOV**

*This article is devoted to the analysis of accidental rate on the main pipeline transport in the Republic of Belarus, Russian Federation, countries of Western Europe and the United States of America. Main pipeline transport is referred to the I category of dangerous industrial objects. The criterion of subsuming of objects to the category of dangerous ones is circulation of dangerous substances in the determined limits. The principal part of the main pipeline transport in the Republic of Belarus has depleted its normative durability. It entangles the higher probability of accidents accompanied by negative consequences. The analysis of accidental rate in the main pipeline transport allows to pick out kinds of the most probable reasons of their appearance and to take measures for their preventing.*