

УДК 584.83: 627.7

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ РИСКА ТРУБОПРОВОДОВ, ПРОЛОЖЕННЫХ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Капитонова Т.А., Стручкова Г.П., Тарская Л.Е., Ефремов П.В.

*Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова
Сибирского отделения РАН, Якутск, e-mail: administration@iptpn.ysn.ru*

Рассматривается влияние факторов риска трубопроводов, проложенных на территории Республики Саха (Якутия) и в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока, на их функционирование. Оценивается влияние природных, техногенных и природно-техногенных факторов риска на безопасность трубопроводного транспорта. Сформированы базы геоинформационных данных по источникам антропогенных воздействий на территории Республики Саха (Якутия). На примере газопровода Мастах-Берге-Якутск показано, что наибольшую опасность для магистральных трубопроводов представляют участки с высокой динамикой геокриологических процессов. Оценка факторов риска необходима для принятия научно обоснованных решений по уменьшению антропогенного воздействия на экологическую ситуацию. Для обеспечения бесперебойной работы магистральных трубопроводов и уменьшения риска возникновения ЧС и последствий аварийных ситуаций необходимо вести постоянный мониторинг критически важных объектов, их техническую диагностику и использовать информационные технологии для выработки системы принятия решений в случае возникновения ЧС.

Ключевые слова: факторы риска, магистральный трубопровод, криолитозона, мониторинг, геоинформационные системы

ANALYSIS OF RISK FACTORS FOR PIPELINES LAID IN THE PERMAFROST USING GIS-TECHNOLOGIES

Капитонова Т.А., Стручкова Г.П., Тарская Л.Е., Ефремов П.В.

The Institution of the Russian Academy of Sciences the V.P. Larionov's Institute of Physical and Technical Problems of the North, Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, e-mail: administration@iptpn.ysn.ru

The influence of risk factors for pipelines laid in the Sakha Republic (Yakutia) and in the regions of the Eastern Siberia and the Far East on their functioning is considered. The impact of natural, anthropogenic and natural-anthropogenic risk factors on the safety of pipeline transport is estimated. The geospatial data base according to the sources of anthropogenic impacts on the territory of the Sakha Republic (Yakutia) has been formed. On the example of the gas main Mastakh-Bergeh-Yakutsk it is shown that areas with high dynamics of permafrost processes are the most dangerous for the main gas lines. The risk factors assessment is necessary to make science-based solutions to reduce the anthropogenic impact on the environment situation. To ensure smooth operation of main pipelines and reduce the risk of an extreme situation occurrence and consequences of emergency situation, it is necessary to continuously monitor important objects, their technical diagnostic and use of information technology for the development of decision-making system in the case of extreme situation occurrence.

Keywords: risk factors, gas main, cryolitozone, monitoring, geo information systems

Строительство и эксплуатация нефте- и газопроводов в районах Сибири и Дальнего Востока являются стратегически важными для Российской Федерации и имеют геополитическое значение.

Следует отметить, что магистральные трубопроводы, проложенные в регионах холодного климата, относятся к критически важным объектам, и обеспечение их безопасности является первостепенной задачей [1], а их защищенность рассматривается как важнейший показатель по критериям риска, так как нарушение их работы влияет на состояние безопасности целого региона.

Опасность от предприятий газовой и нефтяной отраслей обуславливается возможностью химического поражения людей и заражения значительных площадей, также взрыво- и пожароопасностью. Уровень риска и негативные последствия от техногенных аварий и природно-техногенных катастроф за последние годы становится

неприемлемым для дальнейшего социально-экономического развития территорий Сибири и Крайнего Севера. Здесь крайне важно учитывать риски, связанные со спецификой строительства, прокладкой и эксплуатацией магистральных трубопроводов для защиты людей и окружающей среды от нанесения ущерба в результате вероятных аварий и техногенных катастроф.

Аварии на магистральных трубопроводах часто несут существенный ущерб окружающей среде, нередко бывают причиной гибели людей и приводят к значительному экологическому и экономическому ущербу.

Магистральные нефте-газопроводы отличаются по сравнению с другими видами транспорта высокой производительностью и значительной протяженностью, а также высокой уязвимостью от агрессивных воздействий со стороны внешней среды. Кроме того, из-за большой протяженности по длине трассы меняются конструктивно-техно-

логические параметры и эксплуатационные условия, что ведет к изменению вдоль трассы как интенсивности аварий, так и сценариев их развития и величины ущерба.

Под опасностью или риск-фактором понимается потенциальный источник потерь (вреда), который может быть нанесен людям, имуществу или окружающей среде, а также любое неконтролируемое событие или условие, способное самостоятельно или в совокупности с другими событиями и условиями привести к инциденту, аварийной или чрезвычайной ситуации. При этом выделяются опасности, которые при наличии неопределенной ситуации могут привести к возможным серьезным последствиям [2]. Для расчета возможных экономических последствий от нанесенного ущерба используется моделирование возникновения чрезвычайных и аварийных ситуаций.

Проведенный анализ действующих нормативных документов [3, 4] показал, что разработанные методики и модели не всегда позволяют оценить напряженно-деформируемое состояние трубопровода при его работе в сложных природно-геологических условиях.

При анализе риск-факторов магистральных трубопроводов следует разделять природные и техногенные риски.

К природным относятся такие факторы, как наличие снежного покрова различной толщины; наводнения; затопления объектов нефте- и газопроводов; подводные переходы; лесные пожары; изменения ландшафта; землетрясения; термоэрозия; термокарстовые явления; ветровые нагрузки; обледенение; оползневые участки; заболачивание трассы.

Следует отметить, что в связи с большой протяженностью магистральных трубопроводов в регионах Севера отдельные их участки могут подвергаться затоплению паводковыми водами, которые превышают критические отметки. Для прогнозирования уровня затопления применяются цифровые модели рельефа [5, 6].

К техногенным рискам можно отнести следующие: ошибки в проектировании; коррозия металла; ошибки персонала; отказ оборудования; перемещение трубопровода при взаимодействии с мерзлыми грунтами; нерегулярное электроснабжение; изменение ландшафта после прокладки трубопроводов; образование трещин-свищей; образование газоконденсатных и гидратных пробок; изменение пластичности и предела текучести металла; утонение толщины стенок; длительность эксплуатации, старение изоляции.

Помимо факторов риска, связанных с техническим состоянием объектов магистральных трубопроводов, необходимо

учитывать такие обстоятельства, как близость трубопровода к населенным пунктам и природным объектам, подверженным экологическому загрязнению; внешние антропогенные (например, несанкционированные врезки в магистральный трубопровод), а также природные воздействия (землетрясения, оползни).

Для предупреждения возникновения внештатных ситуаций при транспортировке углеводородного сырья необходимо разработать систему мониторинга на случаи возникновения аварийных ситуаций, выявить потенциально опасные участки прохождения трубопроводов. Выявление таких участков наряду с аэровизуальным обследованием, мониторингом планово-высотного положения трубопровода, внутритрубной диагностикой, исследованием напряженно-деформированного состояния проводится с помощью технических средств и позволяет определить причины потери устойчивости трубопроводов.

При оценке безопасности участков магистральных трубопроводов, которые эксплуатируются в сложных инженерно-геологических условиях, важно знать динамику развития процессов на участках со сложными геологическими условиями. Как правило, на таких участках вследствие взаимовлияния трубопровода и окружающих грунтов в металле трубы возникают дополнительные нагрузки в виде изгибающих моментов и растягивающих или сжимающих сил. Если на таких участках трубопровода имеются различные концентраторы напряжений, то перенапряжение представляет реальную угрозу безопасности трубопровода. Во избежание этой угрозы необходимо оценить напряжения в трубопроводе с учетом происходящих грунтовых изменений в разных условиях.

При этом принимаются следующие допущения:

а) допустимое напряженно-деформированное состояние для трубопроводов находится в пределах упругого состояния металла труб и сварных соединений;

б) общее напряженное состояние трубопровода включает составляющие: напряжения, зависящие от внутреннего рабочего давления; напряжения, зависящие от температуры трубопровода; напряжения, определяемые внешними силами (реакции грунта, воды);

в) при расчетах напряжений от воздействия внешних сил трубопровод рассматривается как бесконечно протяженная упругая балка, находящаяся под действием поперечных и продольных сил;

г) магистральные трубопроводы относятся к тонкостенным сосудам. При этом

радиальными напряжениями можно пренебречь по сравнению с окружными и продольными напряжениями.

Оценка риска постепенно становится механизмом, влияющим на принятие научно обоснованных решений по уменьшению техногенного и антропогенного воздействия на окружающую среду. Для решения этих задач необходимо формирование геоинформационной базы данных о распределении природных и техногенных источников опасности, вероятностях их перерастания в реальные угрозы и зонах возможных поражений с учетом взаимодействия потенциально опасных объектов с окружающей средой.

В ходе данной работы были сформированы базы геоинформационных данных по источникам антропогенных воздействий на территории Республики Саха (Якутия), идентифицированы опасности (сбор информации, проведен ретроспективный анализ динамики аварийных ситуаций на опасных объектах с обобщением основных причин аварий и отказов).

В качестве примера рассматриваются аварии на магистральном газопроводе Магда-Берге-Якутск.

Конструкция магистральных трубопроводов, как правило, представляет собой сложную пространственную систему значительной протяженности с множеством разветвлений, пересечений, тройников, отводов и т.д., находящуюся в условиях действия многих нагрузок (внутреннее давление, неоднородное поле температур, сопротивление грунта и т.д.). Одной из особенностей этой конструкции является наличие связанных между собой надземных и подземных (горизонтальных, вертикальных и наклонных) участков трубопроводов, что объективно обуславливает как относительно высокую вероятность образования различных дефектов, так и выброс в окружающую среду в случае аварии большого количества взрывопожароопасных веществ.

Поэтому даже относительно незначительные отклонения фактических условий эксплуатации от проектных могут привести к разрушению магистрального газопровода [5].

Как показывает практика эксплуатации магистральных трубопроводов в условиях Севера, аварии и отказы оборудования, обусловленные опасными природными явлениями, геотехническими и технологическими факторами влекут за собой значительные последствия, особенностями которых являются:

- значительные масштабы экологических бедствий;
- непредсказуемость и значительные темпы развития аварийной ситуации;
- трудности ликвидации аварий и их последствий;

- возможность значительных разрушений и гибели людей.

Для решения задач мониторинга и обеспечения безопасной эксплуатации объектов нефтегазового комплекса с использованием ГИС формируется база данных (БД) (рис. 1), имеющая ряд особенностей, проявляющихся через следующие характеристики:

- определение и структура объекта, данные о котором содержатся в БД;
- выявление связей между объектами;
- определение основных свойств объектов, которые хранятся в БД;
- выявление связей между свойствами объектов;
- составление логической записи общей таблицы, включающей все свойства объекта;
- создание нескольких таблиц из общей на основе процедур нормализации;
- определение операций при использовании таблиц и создание на их основе запросов;
- создание форм ввода и вывода данных.

Как показывает анализ статистики аварийных ситуаций, частота аварий трубопровода повторяется в одних и тех же местах (рис. 2) и наибольшую опасность представляют участки с высокой динамичностью геокриологических процессов [6].

Среди причин аварий наряду с чисто техногенными и природными отмечают воздействие процессов, которые возникают в результате взаимодействия природных и техногенных факторов. По своей интенсивности и опасным последствиям они нередко не только не уступают природным процессам, но весьма часто превосходят их, вызывая аварии и катастрофы.

Возникновение природно-техногенных аварий происходит в результате негативной обратной реакции природной среды на техногенное воздействие. Особенно характерна подобная негативная реакция в криолитозоне. Под влиянием строительства и эксплуатации инженерных сооружений происходит интенсификация природных мерзлотных процессов, что является предвестником критических ситуаций в состоянии инженерных сооружений и окружающей среды.

Для оценки с помощью ГИС параметров опасных процессов, нарушающих равновесное состояние геологической среды, созданы следующие цифровые модели: рельефа; водотоков; растительности; сейсмических воздействий; температурного поля, формирующегося вокруг трубопровода.

Все перечисленные объекты, включая картографическую основу, элементы трубопроводной системы, средства мониторинга, зоны и цифровые модели, являются элементами содержания БГД (базы геоинформационных данных).

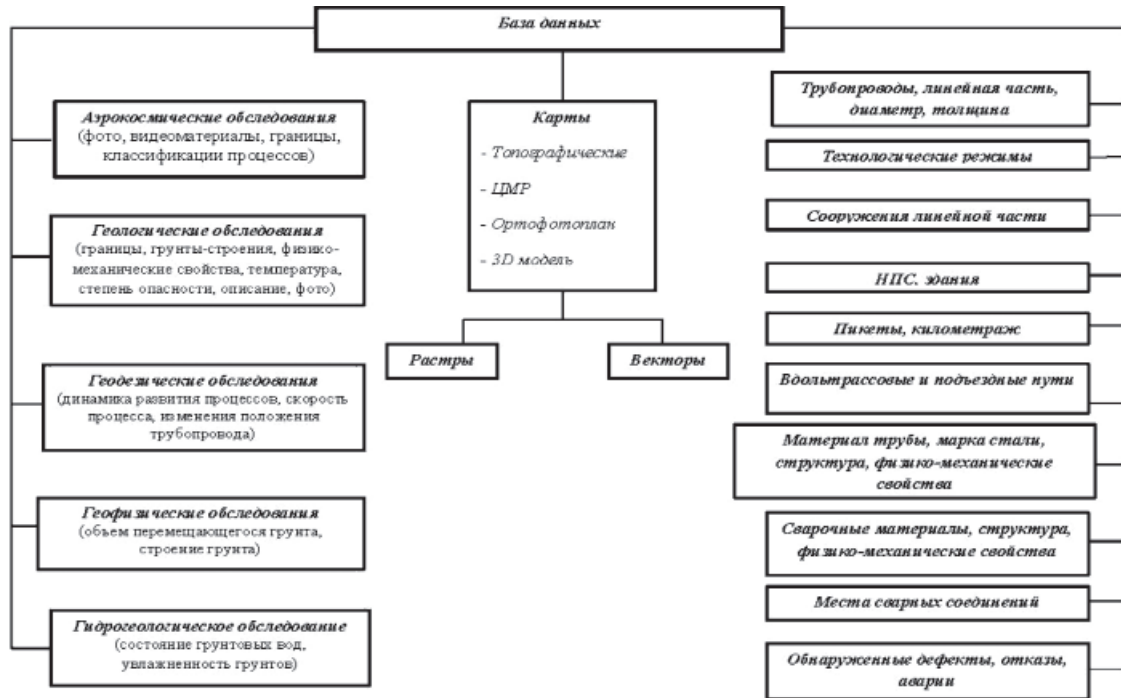


Рис. 1. Структура базы данных

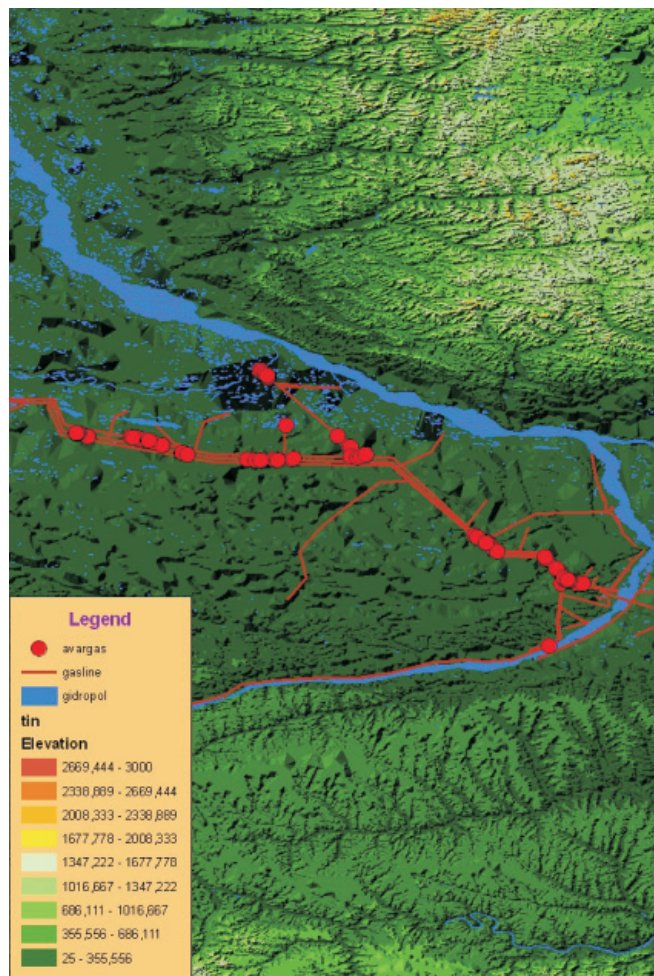


Рис. 2. Распределение аварий и отказов газопровода Мастах-Берге-Якутск

Для прогнозирования возникновения аварийных ситуаций и возникновения ЧС необходимо использовать информационные технологии, предусматривающие моделирование и использование цифровых карт местности на основе максимально точных прогнозных данных на случай затопления, распространения лесных пожаров, заболачивания местности, сейсмической активности территории и других факторов риска с учетом технического состояния систем [7, 8].

Список литературы

1. Махутов Н.А., Петров В.П., Гаденин М.М., Юдина О.Н. Разработка стратегий обеспечения заданного уровня защищенности критически важных объектов на основе анализа опасных процессов в природно-техногенной сфере // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2009. – № 6. – С. 16–32.
2. Слепцов О.И., Левин А.И., Стручкова Г.П. Безопасность газодобывающей отрасли // в книге Безопасность Республики Саха (Якутия): социальные, экономические и техногенные проблемы. – Новосибирск: Наука, 2008. – 296 с.
3. СТО РД Газпром 39-1.10.084-2003. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО Газпром.
4. РД 03-418-01 Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов.
5. Слепцов О.И., Лыглаев А.В., Капитонова Т.А., Стручкова Г.П. Исследование техногенных аварий и антропогенных воздействий на экологическую безопасность Республики Саха (Якутия) // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2007. – № 4. – С. 88–94.
6. Стручкова Г.П., Капитонова Т.А., Слепцов О.И. Оценка влияния экзогенных процессов на объекты нефтегазового комплекса в условиях криолитозоны // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
7. Слепцов О.И., Аковецкий В.Г., Стручкова Г.П. К вопросу управления безопасностью магистральных газопроводов // Труды II Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Пленарные доклады. – Якутск, 2004. – С. 220–223.
8. Слепцов О.И., Капитонова Т.А., Стручкова Г.П. Моделирование возникновения аварийных ситуаций при

транспортировке углеводородного сырья в условиях криолитозоны // II Всерос. конф. «Безопасность и живучесть технических систем». – Красноярск, 2007. – С. 88–91.

References

1. Makhutov N.A., Petrov V.P., Gadenin V.V., Yudina O.N. Develop of strategies to ensure a given level of protection of critical facilities based on the analysis of hazardous processes in natural and technogenic area. Safety and emergencies problems, 2009, no. 6, pp. 16–32.
2. Sleptsov O.I., Levin A.I., Struchkova G.P. Security of the Republic of Sakha (Yakutia): social, economics and technological issues, Novosibirsk, Nauka, 2008, pp. 249–257.
3. STO Gasprom 39-1.110.084-2003 RD. Methodological guidelines for risk analysis for hazardous industrial facilities transport enterprises of Gasprom.
4. RD 03-418-01 Guidelines for risk analyses of hazardous production facilities.
5. Sleptsov O.I., Lyglayev A.V., Kapitonova T.A., Struchkova G.P. The study of industrial accidents and human impacts on the ecological security of the Republic of Sakha (Yakutia). Safety and emergencies problems, 2007, no. 4, pp. 88–94.
6. Struchkova G.P., Kapitonova T.A., Sleptsov O.I. Effect of exogenous processes on oil and gas complex installations under conditions of permafrost, 2011, no 2, pp. 53–59
7. Sleptsov O.I., Akovetskiy V.G., Struchkova G.P. On the question of the safety management of the gas mains, Materials of the II Eurasian Symposium of strength of materials and machines for cold climate regions. Plenary lectures. Yakutsk, 2004, pp. 220–223.
8. Sleptsov O.I., Kapitonova T.A., Struchkova G.P. Simulation of accidents during transportation of hydrocarbons in permafrost, All-Russia Conf. Safety and durability of technical system, Krasnoyarsk, 2007, pp. 88–91.

Рецензенты:

Левин А.И., д.т.н., зав. сектором отдела ритмологии и эргономики северной техники Якутского научного центра Сибирского отделения РАН, г. Якутск;

Старостин Е.Г., д.т.н., ведущий научный сотрудник отдела тепломассопереноса Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск.

Работа поступила в редакцию 26.03.2014.