

УДК 584.83: 627.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА БЕЗОПАСНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ

Стручкова Г.П., Капитонова Т.А., 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 концепция оценки риска магистральных трубопроводных систем, проложенных в условиях криолитозоны. Определены критерии показателей риска и основные причины аварий, приводящих к экологическим бедствиям. Проведена оценка вероятности аварий трубопроводов в зависимости от неоднородности профиля трассы, показано, что риск аварий возрастает на участках с большими перепадами высот, в местах водных переходов, на сейсмически активных участках. На основе базы данных составлены карты сейсмичности, образования заторов и паводков территории, прохождения трубопроводных систем. Показано, что для сохранения экологии региона необходимо минимизировать риски при эксплуатации нефтегазовых месторождений и ввести управление рисками с использованием новых технологий эксплуатации месторождений, создать системы мониторинга трубопроводных систем и компенсации ущерба, использовать ГИС-технологии для проведения комплексной оценки риска.

Ключевые слова: оценка риска, магистральный трубопровод, криолитозона, мониторинг, экология региона, геоинформационные системы

USE OF GIS TECHNOLOGIES FOR RISK ASSESSMENT OF PIPELINE SYSTEMS SAFETY

Struchkova G.P., Kapitonova T.A., Tarskaya L.E., Efremov P.V.

*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 concept of risk assessment for main pipeline systems laid in the permafrost is considered. The main causes of accidents leading to environmental disasters have been determined. The estimated probability of pipeline failures depending on uneven profile of the route has been carried out. It is shown that risk of accidents grows in areas with large differentials of altitudes, river crossing and seismically active areas. Based on a database the maps of seismicity, ice blockage and high waters formation, pipelines passages have been made. It is shown that to preserve the region's ecology it is necessary to minimize risks when operating oil and gas fields and introduce the risk management using new technologies of fields exploitation. It is also necessary to create the monitoring system of pipeline systems and compensation of loss and to use GIS-technologies for integrated risk assessment. The main approaches of ecological risks control at operation of oil and gas complex objects have been determined.

Keywords: risk assessment, main pipeline, permafrost, monitoring, ecology of the region, geographic information systems

В настоящее время безопасность в природной среде и техносфере является важнейшей проблемой. Объекты нефтегазового комплекса: резервуары, нефтепроводы, газопроводы относятся к высокорисковым. Неконтролируемое развитие аварийных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса, связанных с выбросом газа, разливом нефти, взрывами и пожарами, может привести к значительным разрушениям, гибели людей и, особенно в зимнее время в районах с низкими температурами (до – 50... –60 °С), к катастрофическим последствиям.

Согласно требованиям нормативных документов [1], развитие нефтегазового комплекса должно сопровождаться оценками влияния на окружающую среду. Для минимизации последствий и количественной оценки нанесенного ущерба в районах с естественно низкими температурами необходимо иметь концепцию риска, применимую к территориям Крайнего Севера и приравненным к ним.

Конструкция магистральных газопроводов, 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.

Анализ риска представляет собой один из существенных компонентов обеспечения безопасности и проводится для выявления отдельных источников опасности и оценки их потенциального влияния на возможные ущербы, которые могут быть причинены

населению, окружающей среде и хозяйственным объектам. Оценка степени риска всей трассы магистральных трубопроводов проводится на основе идентификации опасностей и оценки риска отдельных участков (секций), характеризующихся примерно одинаковым распределением удельных показателей риска по всей длине участка.

Одним из основных подходов к повышению эффективности процессов управления при возникновении чрезвычайных ситуаций, минимизации экономического ущерба от последствий аварий и катастроф, возможного их предупреждения является внедрение информационных технологий, моделирование природных и технологических процессов, возникающих при ЧС, и оценка антропогенного риска с использованием ГИС-технологий.

Использование ГИС для задач обеспечения безопасной эксплуатации трубопроводного транспорта позволяет:

- осуществить районирование исследуемой территории по интенсивности проявления природно-техногенных ЧС;
- осуществить идентификацию и инвентаризацию потенциально опасных объектов;
- произвести комплексный экологический мониторинг сложных природно-технических систем;
- осуществить прогнозную оценку миграции загрязняющих веществ, как при фоновом антропогенном воздействии, так и при аварийных выбросах.

Аварии при добыче и транспортировке углеводородного сырья по нефте- и газопроводам могут стать причинами крупных экологических бедствий. Наиболее характерные их последствия: полное уничтожение растительности в зоне отчуждения, безвозвратная потеря местообитаний и отдельных экземпляров редких и исчезающих растений, сокращение ресурсов хозяйственно-значимых видов растений, повышение пожароопасности территории и другое.

В исследованиях, выполненных по проблеме воздействий факторов природного и техногенного характера на трассу магистрального трубопровода, отмечено, что основными причинами возникновения и развития аварий являются [2, 3]:

- сложные природно-климатические условия эксплуатации;
- низкие температуры, снежный покров, обледенение, возможность подтопления;
- большая протяженность трубопровода;
- речные переходы;
- термоэрозия;
- термокарстовые явления;
- сложные геологические условия (курумы, перевиваемые пески, оползни, карсты и др.);

- неоднородность рельефа (резкие перепады высот);
- наводнения;
- лесные пожары;
- сейсмичность региона;
- человеческий фактор.

Рассмотрим результаты оценки риска аварий трубопровода, связанные с влиянием локализации и протяженности участков прохождения трубопровода с неоднородностями рельефа (перепадами высот), полученные с использованием ГИС.

Для оценки географических условий эксплуатации трубопроводов использованы цифровые ГИС-слои рельефа на исследуемую территорию прохождения трассы магистрального нефтепровода ВСТО, соответствующие детальности масштаба 1:200000. С помощью инструмента программного комплекса ArcGIS, ArcToolBox линейные векторные файлы рельефа интерполированы в поверхность и переведены в формат XYZ – сетку с шагом в 50×50 метров, каждый узел которой имеет географические координаты и высоту над уровнем моря. Полученная сетка разбита на квадраты 1×1 км, для каждого из которых вычислена средняя высота территории i -го пикселя $H(i)$ и дисперсия высоты $\sigma^2(i)$:

$$H_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j,k=1}^{m_i} h_{ijk};$$

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{m_i - 1} \sum_{j,k=1}^{m_i} [h_{ijk} - H_i]^2, \quad (1)$$

где m_i – число пикселей (элементарных участков), на которые разделена территория i -го лицензионного участка (ЛУ); h_{ijk} – высота в точке с координатами j, k в пределах i -го пикселя.

Предполагаем, что вероятности аварий по всей протяженности трассы зависят от неоднородности профиля трассы. На участках с большими перепадами высот риск аварий больше, поэтому для качественной оценки рисков была проанализирована изменчивость вертикального профиля трассы. Используя подход, описанный в работе [4], определяем величину стандартного отклонения от средней высоты трассы на отдельном десятикилометровом участке:

$$\sigma_k = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m [h_{km} - h_k]^2, \quad (2)$$

где m – число отсчетов на 10 км участка трассы ($m = 10$); h_{km} – высоты на 10 км профиле k -го участка трассы ($j = 1, \dots, 10$); h_k – средняя высота отдельного 10 км участка трассы.

Для примера нами были рассмотрены участки ВСТО от Нерюнгри до Алдана, для которых проводились вычисления величин уклонов рельефа для

линейных объектов при использовании SRTM. На рис. 1 представлены образцы цифровых моделей рельефа исследуемой местности.

Анализируемый участок в 3D-проекции

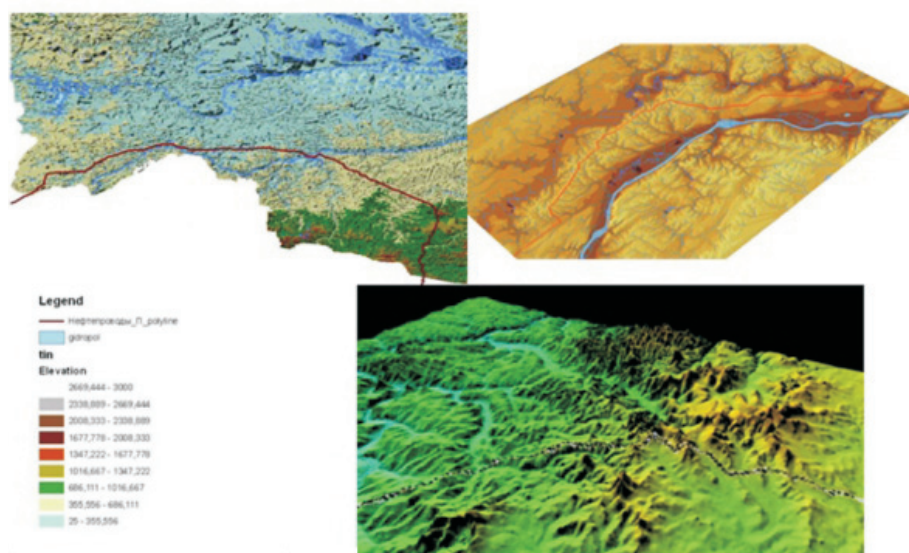


Рис. 1. Цифровые модели рельефа анализируемого участка прохождения трубопровода

Результат зонирования территории прохождения магистрального трубопровода по уровню потенциального риска аварий, связанного с резким перепадом высот



Рис. 2. Зонирование по уровню потенциального риска аварий

На рис. 2 представлены результаты зонирования территории прохождения магистрального трубопровода по уровню потенциального риска аварий, связанного с резким перепадом высот.

Для комплексной оценки параметров опасных процессов, представляющих угрозу для безопасности трубопровода, необходимо создать следующие цифровые модели:

- рельефа;
- водотоков;
- растительности;
- механики грунтовых масс;
- сейсмических воздействий;
- теплового поля, формирующегося вокруг трубопровода.

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

В свою очередь, величины вероятности возникновения аварийных ситуаций определенного типа не будут постоянными, а будут зависеть от характеристик интенсивности техногенного, антропогенного и природного воздействия. В результате для оценки экологического риска необходимо разработать достаточно сложные прогно-

стические модели риска воздействия НГК на природные экосистемы, оценить вероятность реализации определенного сценария воздействия и определить ущерб от такого воздействия по данным о площади повреждаемой территории.

Анализ данных причин аварий при эксплуатации МГ показал, что имеются участки [4], на которых удельная частота аварий выше по сравнению со средними показателями. Это:

- подводные переходы, обводненные участки трассы (повышенная коррозия, нарушение изоляционного покрытия), образование заторов, сильное русловое течение, заболачивание территории из-за нарушения поверхности;
- участки, примыкающие к насосным станциям (особенно для нефтепроводов) из-за повышения циклических нагрузок, связанных с изменением режима перекачки и возможным образованием гидравлического удара, особенно на непрямолинейных участках;
- неоднородности рельефа;
- сейсмические воздействия.

На рис. 3, 4 представлены интенсивность заторов и паводков на реке Лена и сейсмическая активность территории в районах прохождения трас МГ.

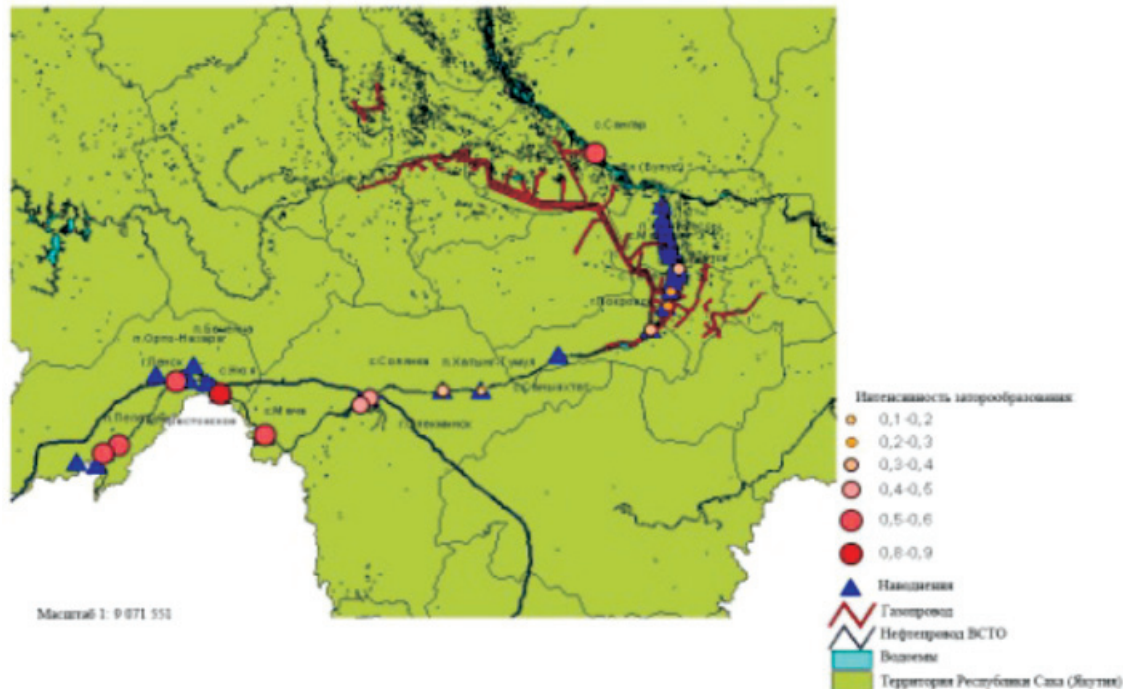


Рис. 3. Интенсивность заторов и паводков 1938–1968 гг.

Объекты нефтегазового комплекса (НГК), проложенные по территории РС(Я), оказывают негативное влияние на

ее экосистему. Территория прохождения трассы ВСТО на некоторых участках находится в зоне прерывистого распростране-

ния многолетнемерзлых пород различной мощности, что определяет особенности обеспечения устойчивости и безопасной эксплуатации инженерных сооружений. Трубопроводы, проложенные в сложных геокриологических условиях, испытывают ряд специфических нагрузок: скачки температурного режима, изменение физико-химических свойств грунта, перепад рабочего давления, взаимодействие с сейсмическими волнами, образование газовых гидратов и отложение парафинов, воздействие внешних

нагрузок. Все это обуславливает неравномерную осадку, выталкивание заглубленного трубопровода на поверхность, отклонение от проектного положения, что приводит к возникновению чрезмерных деформаций, являющихся одной из причин аварий. Для предотвращения аварий необходимо определить потенциально опасные участки залегания трубопроводов, которые содержат комплексы высокольдистых отложений, подземные стоки, талики, предопределяющие динамичное развитие криолитозоны.

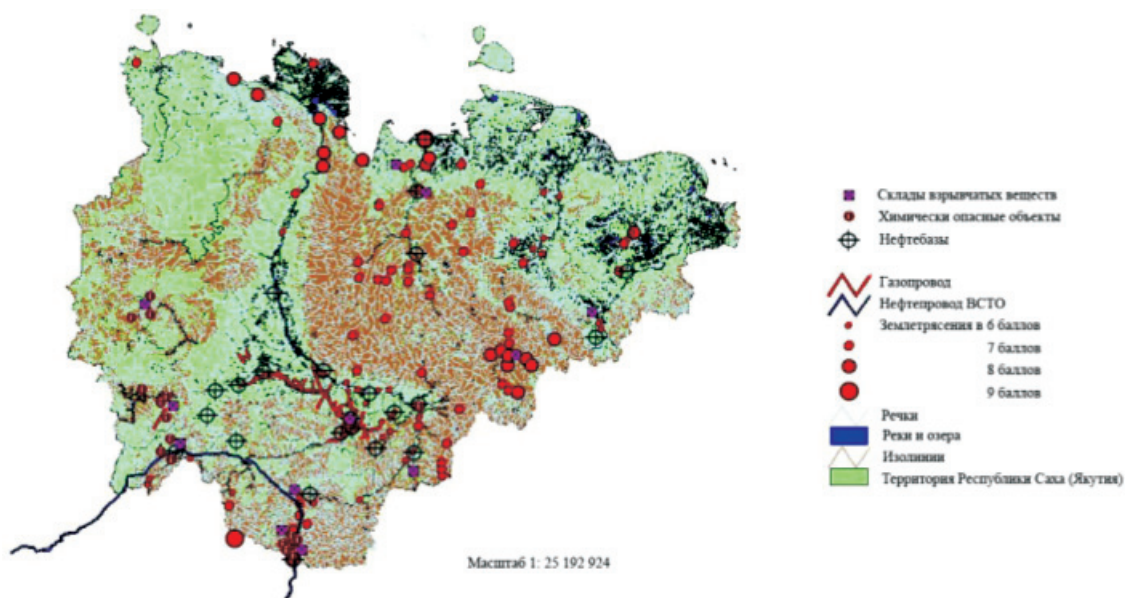


Рис. 4. Сейсмичность территории РС(Я) 1960–2008 гг.

Для сохранения экологии региона необходимо минимизировать риски при эксплуатации нефтегазовых месторождений. Управление экологическими рисками должно включать:

- применение новых технологий эксплуатации месторождений;
- создание системы мониторинга, проведение аэровизуального обследования трассы, полевых работ по определению планово-высотного положения трубы в сложных геологических условиях; установка датчиков для определения температурного поля грунта, проведение прогнозных расчетов ореолов протаивания грунта и пространственного перемещения, вызванного протаиванием или промерзанием;
- создание принципов и технологий компенсации ущербов, наносимых природной среде при строительстве и эксплуатации объектов НГК;

– использование ГИС-технологий для проведения комплексной оценки риска.

Создание базы данных по мониторингу объектов НГК необходимо для определения оценки риска и разработки алгоритмов моделирования возникновения ЧС на магистральных трубопроводах РС(Я).

В зависимости от целей возможен сравнительный анализ риска территорий по заданному критерию, выделенному параметру или группе параметров [5], это дает возможность ранжирования опасности и управления риском за счет проведения превентивных мероприятий.

Список литературы

1. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ. – М., 2002. – 29 с.
2. Слепцов О.И., Левин, А.И., Стручкова Г.П., Семёнова Т.И. Безопасность РС(Я): социальные, экономические и техногенные проблемы / под ред. В.Ю. Фридовского, В.А. Прохорова. – Новосибирск: Наука, 2008. – 296 с., Раздел 4.

3. Слепцов О.И., Капитонова Т.А., Левин А.И., Стручкова Г.П. Интегрированная система моделирования и прогнозирования экологической безопасности нефтегазового комплекса Республики Саха (Якутия) // Труды IV Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Пленарные доклады. – Якутск, 2008. – С. 251–253.

4. Москвичев В.В., Перетокин С.А., Ничепорчук В.В., Якубайлик О.Э. Применение ГИС-технологий для оценки экологических рисков при эксплуатации трубопроводов // Труды V Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Пленарные доклады. – Якутск, 2010. – С. 225–235.

5. Лепихин А.М., Москвичев В.В., Ничепорчук В.В., Симонов К.В. Концепция оценки риска на примере Красноярского края // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2010. – № 1. – С. 31–42.

References

1. Federal law of 10.01.2002, no 7-FL «On environmental protection», Moscow, 2002, 29 p.
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. Sleptsov O.I., Kapitonova T.A., Struchkova G.P. The integral system of modeling and forecasting environmental safety

of oil gas complex of the Republic of Sakha (Yakutia). Materials of the IV Eurasian Symposium of strength of materials and machines for cold climate regions. Plenary lectures. Yakutsk, 2008, pp. 251–253.

4. Moskvichev V.V., Peretokin C.A., Nicheporchuk V.V., Yakubaylik O.E. Application of GIS technology to assess the environmental risks of pipelines. Materials of the V Eurasian Symposium of strength of materials and machines for cold climate regions. Plenary lectures. Yakutsk, 2010, pp. 225–235.

5. Lepikhin A.M., Moskvichev V.V., Nicheporchuk V.V., Simonov K.V. Estimation methods of ecological risk by the example of Krasnoyarsk region, Safety and emergencies problems, 2010, no. 1, pp. 31–42.

Рецензенты:

Тимофеев А.М., д.т.н., зав. отделом теплообменных процессов Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск;

Яковлева С.П., д.т.н., профессор, зав. отделом материаловедения Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск.

Работа поступила в редакцию 26.03.2014.