УДК 624.121:656.3

СТРАТЕГИЯ ЛИКВИДАЦИИ БАРЬЕРНЫХ МЕСТ С ОПАСНЫМИ ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НА СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПРИАМУРЬЯ

Едигарян А.Р., Квашук С.В.

ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Хабаровск, e-mail: s_kvashuk@mail.ru

Участки сети железных дорог с различными формами проявления опасных геологических процессов зачастую являются барьерными местами, ухудшающими надежностные и эксплуатационные показатели работы существующих железных дорог. Значительное количество таких участков приходится на железные дороги, расположенные в регионах, характеризующихся сложными природно-климатическими и инженерно-геологическими условиями, таких, к примеру, как Забайкалье и Приамурье. В Приамурье присутствуют районы, характеризующиеся очень сложными инженерно-геологическими условиями, определяемые специфическими геодинамическими условиями, делающими особенно проблемной эксплуатацию железных дорог. Для них свойственны сложные экзогенные условия: суровый резко континентальный климат, наличие многолетнемерзлых пород на севере региона, проявление опасных геологических процессов и явлений, среди которых преобладают геокриологические и гравитационные, а также характерные эндогенные условия: геологическое строение и тектоника, неотектоника и современные движения земной коры, высокая сейсмическая опасность. В статье авторами предлагается стратегия ликвидации барьерных мест на сети железных дорог, с системных позиций учитывающая комплекс природно-климатических, геологических и техногенных условий, сопровождающих возникновение, развитие опасных геологических процессов в открытой природно-технической системе «геологическая среда – техническая система (сеть железных дорог)», приводящих к отказам технической системы в результате проявления опасных геологических процессов. Принимая во внимание то обстоятельство, что таких барьерных мест на сети железных дорог большое количество и мероприятий по их ликвидации достаточно много, решаемая задача может оказаться значительной размерности и трудоемкости. Разработанная стратегия апробирована для участка железнодорожной линии Комсомольск – Советская Гавань протяженностью 135 км, на котором находится двадцать семь участков активного проявления обвалов, вывалов и осыпей. Решение осуществлялось с помощью разработанного в Дальневосточном государственном университете путей сообщения программного комплекса, в основе которого лежит модифицированный метод динамического программирования (алгоритм Кеттеля).

Ключевые слова: сеть железных дорог, опасные геологические процессы, стратегия ликвидации барьерных мест

STRATEGY FOR ELIMINATION INSECURE PLACES WITH HAZARDOUS GEOLOGICAL PROCESSES ON PRIAMURYE RAILROAD NETWORK

Edigaryan A.R., Kvashuk S.V.

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail: s_kvashuk@mail.ru

The railway sections with different kinds of dangerous geological processes are often insecure places that decrease safety and operational characteristics of the railways in use. A considerable amount of these sections are located in the regions of difficult natural climatic and geological engineering conditions, like in the Zabaikalye and the Priamurye. There some areas in the Priamurye where the difficult geological engineering conditions are characterized by specific geodynamic features that make railway operations especially problematic. The areas represent a complex of exogenous conditions such as a severe and extreme continental climate, permafrost soils in the northern part, hazardous geological processes and events most of which are the geocryological and gravitational ones. They are also characterized by some hazardous endogenous conditions concerning the geological structure and tectonics, neotectonics and modern crustal movements as well as a high seismicity. In the paper the authors offer an elimination strategy for insecure places in the railway networks. The strategy accounts the systematic complex of natural climatic, geological and man-made conditions that accompany a formation and development of hazardous geological processes in the open system «geological environment-technical system (railroad network)» which as a result can lead to the technical system failures. Taking into account a great amount of the insecure places and the preventing measures for their elimination the problem solution is considerable as far as its volume and labour required. The developed strategy is tested for the Komsomolsk – Sovetskaya Gavan' railroad of 135 km long. It has 27 insecure sections of active hazardous geological processes such as falls, outbursts and slides of rock. The solution is carried out with the help of the soft program developed in the Far East State Transport University (FESTU), Khabarovsk, Russia. The soft program is based on the modified method of dynamic programming (the Kettele's Algorythm).

Keywords: railroad network, hazardous geological processes, elimination strategy for unsecure places

Эксплуатация сети железных дорог страны, история которой насчитывает уже более полутора веков, представляет собой сложнейшую инженерную задачу со множеством «ограничений», так или иначе препятствующих достижению главных целей – повышению пропускной и провозной способности при безусловном обеспечении безопасности перевозки пассажиров и грузов.

Одними из таких «ограничений» являются участки с различными формами про-

явления опасных геологических процессов (ОГП), ухудшающие эксплуатационные показатели работы железных дорог. Значительное количество таких участков приходится на железные дороги, расположенные в регионах, характеризующихся сложными природно-климатическими и инженерно-геологическими условиями, таких, к примеру, как Забайкалье и Приамурье [1].

Целью исследований является разработка стратегии, позволяющей из многообразия возможных проектных решений для каждого участка сформировать такие их сочетания для всей линии (перегона, участка), которые будут высокоэффективны и рациональны по стоимости.

Результаты исследования и их обсуждение

Особенности инженерно-геологических условий определяются сложностью геологического строения и тектонических условий территорий. Так, к примеру, геологические особенности юга Хабаровского и Приморского краев, Амурской области, представляющие собою Приамурье, обусловлены торцевым сочленением двух крупных складчатых поясов Земли – Центрально-Азиатского и Тихоокеанского. Эти геологические структуры планетарного уровня находятся в сложнейших взаимодействиях. По инженерно-геологическому районированию Приамурье входит в регионы юга Дальнего Востока и включает в себя несколько регионов II порядка, характеризующихся сложным геологическим строением, тектоникой, сейсмическими и неотектоническими условиями [2, 3].

В Приамурье присутствуют районы, характеризующиеся очень сложными инженерно-геологическими условиями, определяемые специфическими геодинамическими условиями, делающими особенно проблемной эксплуатацию железных дорог. Для них свойственны сложные экзогенные условия: суровый резко континентальный климат, наличие многолетнемерзлых пород на севере региона, проявление опасных геологических процессов и явлений, среди которых преобладают геокриологические и гравитационные, а также характерные эндогенные условия: геологическое строение и тектоника, неотектоника и современные движения земной коры, высокая сейсмическая опасность.

В таких условиях проявляется весь спектр опасных геологических процессов и явлений, которые существенно затрудняют безопасную работу магистралей в регионе, а также сложные сейсмические и неотектонические условия, повышенную сейсмическую опасность и риск функционирования железных дорог.

Анализируемый объект представляет собою открытую природно-техническую систему «геологическая среда – техническая система (сеть железных дорог)», функционирование которой вызывает возникновение и развитие опасных геологических процессов приводящих к отказам технической системы в результате их проявления (рис. 1).

Авторами настоящей статьи разработана стратегия ликвидации барьерных мест на сети железных дорог, с системных позиций учитывающая комплекс природно-климатических, геологических и техногенных условий, их сопровождающих. Эта стратегия работоспособна, при разработке любых других протяженных линейных сооружениях.

Очевидно, что решение такой сложной задачи должно осуществляться в несколько этапов. Оно включает мониторинг и ретроспективный анализ, синтез и прогноз опасных процессов на железных дорогах для создания надежной геоинформационной базы.

Только при наличии такой информации возможна разработка планов мероприятий по ликвидации участков проявления ОГП. Для составления планов предварительно производится экспертная оценка возможных конструктивных решений и технологических процессов по борьбе с ОГП. Мониторинг направлен на оценку всех постоянных и изменяющихся системных факторов возникновения опасных экзогенных геологических процессов [4, 5].

После реализации плана мероприятий производится комплексный анализ последствий решений и мероприятий. Алгоритм выполнения перечисленных задач немедленно запускается вновь вследствие того, что сеть железных дорог – это сложная динамическая система, подверженная постоянным изменениям, требующая непрерывного наблюдения. Результатами исследований является комплект инженерно-геологических карт, разрезов, аналитических материалов. На их основе разрабатываются проекты и комплексные схемы инженерной защиты железных дорог от ОГП на основе использования всех возможных конструкций и мероприятий.

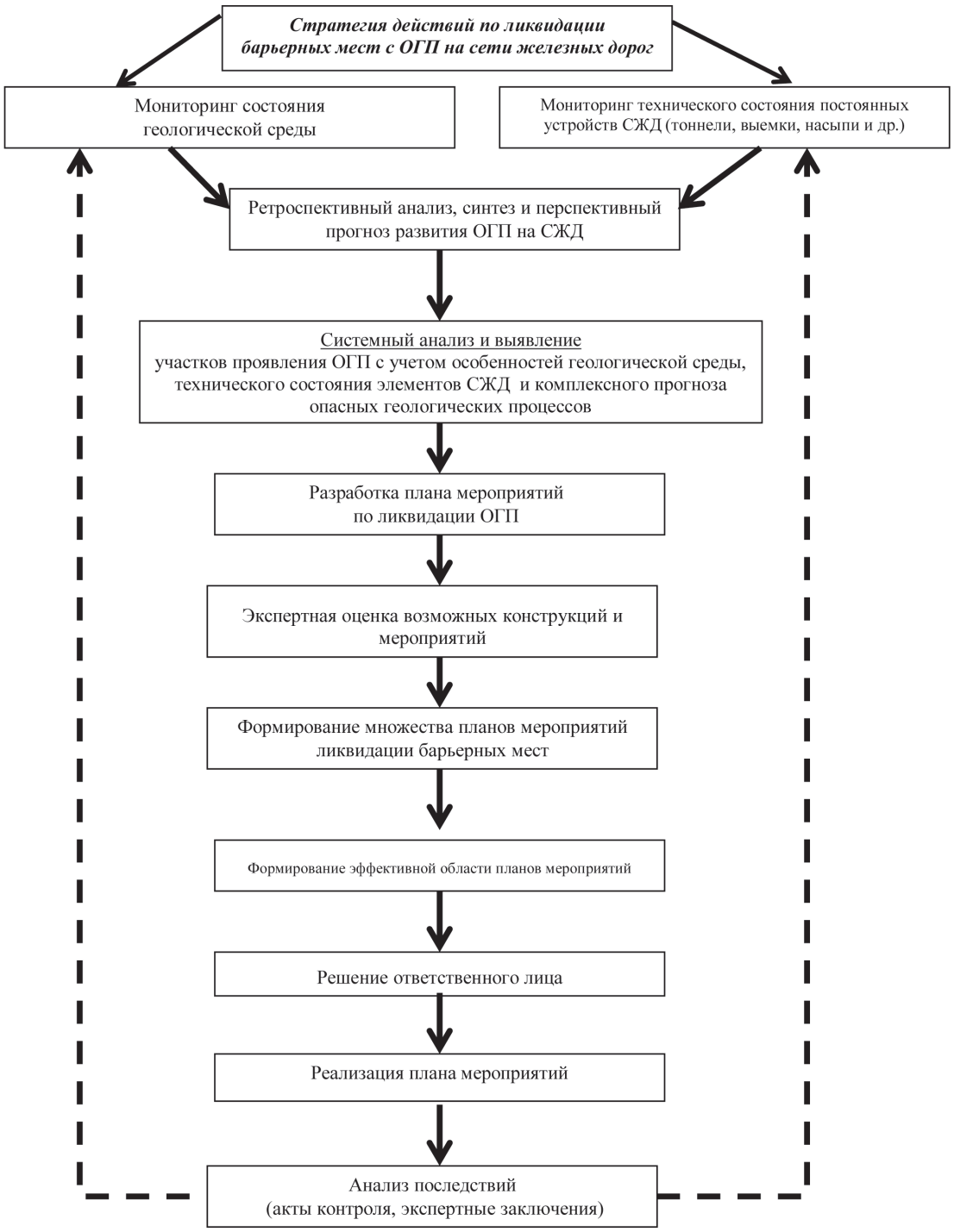


Рис. 1. Схема стратегии ликвидации барьерных мест с ОГП на сети железных дорог

Поставленная задача по своей сути и содержанию является инженерно-геологической. В конечном итоге знание природы ОГП на объектах железных дорог и умение управлять ими влияет на безопасность движения и экономическую эффективность работы системы. Решение проблемы ликвидации ОГП глубоко и всесторонне учитывает влияние инженерно-геологических условий региона, районов, подрайонов, участков на экономические показатели функционирования сети железных дорог.

Инженерно-геологическая оценка мест, на которых проявляются ОГП, производится с целью экспертной оценки возможных мероприятий по их ликвидации или «смягчению» негативного воздействия, осложняющего эксплуатацию. Конечным этапом стратегических действий является экономический анализ принятого комплексного решения по ремонту (реконструкции) участка, линии или всей дороги с целью ликвидации или смягчения ОГП.

Поскольку участков проявления ОГП на сети железных дорог большое количество (тысячи) и мероприятий по их ликвидации достаточно много, то количество их совокупностей (планов мероприятий) может составить значительную величину и будет являться задачей огромной размерности и трудоемкости (рис. 2).

Число сочетаний применения возможных мероприятий (для участка, линии или всей дороги) определяется как

$$S = \prod_{j=1}^{i} (M_j + 1),$$

где M_j – число возможных мероприятий по ликвидации опасного процесса на i-ом участке.

Так, к примеру, для сорока обвальных участков на железнодорожном направлении Комсомольск – Советская Гавань, при восьми возможных на каждом участке мероприятиях, число сочетаний планов мероприятий составит

$$S = (8 + 1)^{40}.$$

Поэтому становятся очевидными большие трудности поиска экономически рационального стратегического плана (минимальный объем инвестиций – максимальное сокращение эксплуатационных расходов) мероприятий, приводящих к наилучшему результату работы системы – ликвидации или смягчению ОГП.

На этом этапе решается задача, содержание которой следующее: из множества возможных планов мероприятий ликвидации ОГП необходимо сформировать эффективную область, удовлетворяющую поставленным граничным условиям (минимальный объем капитальных вложений, максимальное снижение эксплуатационных затрат) и позволяющую выбирать наиболее приемлемые (в том числе и по другим критериям) решения. Такая задача решалась авторами с помощью разработанного в Дальневосточном государственном университете путей сообщения программного комплекса, в основе которого лежит хорошо зарекомендовавший себя модифицированный метод динамического программирования (алгоритм Кеттеля). Данный программный комплекс уже применялся при разработке генеральной схемы реконструкции участков Забайкальской железной дороги [6].

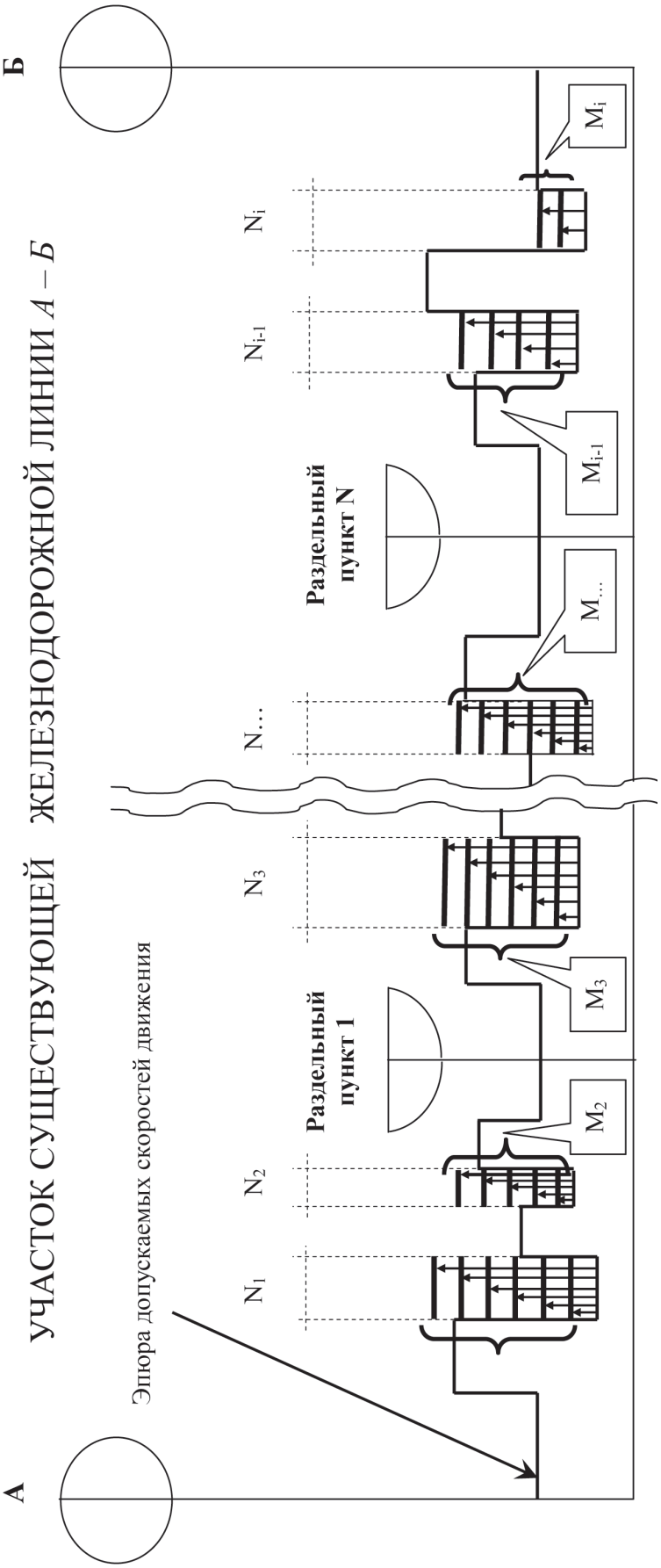
Разработанная стратегия апробирована для участка 195–330 км железнодорожной линии Комсомольск – Советская Гавань, на котором находится двадцать семь участков активного проявления обвалов, вывалов и осыпей. Рассматриваемый участок наиболее подвержен обвальным процессам на всей Дальневосточной железной дороге, находится в пределах перевальной части линии, пересекающей горную страну Сихотэ-Алинь на отметках 800–900 м.

Анализу подверглись стандартные типовые методы ликвидации обвальной опасности, применение которых возможно в описанных условиях исходя из реальных технологических возможностей строительных подразделений: без мероприятия (№ 0), анкерные крепления (мероприятие № 1), защита бетонным покрытием (№ 2), защита улавливающей стеной (№ 3), уполаживание откосов (№ 4), отвод пути (№ 5), а также комбинации этих методов: анкерные крепления и защита бетонным покрытием (№ 6), уполаживание откосов и защита бетонным покрытием (№ 7), отвод пути и защита улавливающей стеной (№ 8).

Методом экспертных оценок на всех участках было определено влияние способов защиты в результате реализации того или иного перечисленных выше мероприятий на изменение эксплуатационных затрат (в абсолютных цифрах). В результате компьютерного анализа сформировано исходное множество альтернатив для 27 участков, состоящее из 9^{27} планов мероприятий. После отсеивания неэффективных альтернатив сформировано допускаемое множество, включающее около 8 000 планов мероприятий. Фрагмент таблицы, включающий девять планов мероприятий, приведен в таблице.

В первом столбце предлагается комбинация мероприятий для ликвидации или смягчения опасности на линии, во втором столбце – объемы инвестиций, а в третьем – рассчитанные для них суммы сокращения эксплуатационных затрат на линии.

Для запланированных 12 млн рублей инвестиций максимальное сокращение эксплуатационных расходов составит 1,5497 млн рублей в год при реализации выделенного в таблице плана мероприятий.



$N_1 \ldots N_i$ – барьерные места с опасными геологическими процессами, ухудшающие надежностные и эксплуатационные показатели работы железнодорожной линии.

$M_1 \ldots M_i$ – множество мероприятий, направленных на ликвидацию барьерных мест (мощность множества на каждом участке может быть различна).

Рис. 2. Размерность задачи ликвидации барьерных мест с опасными геологическими процессами

Экономический анализ вариантов применения противообвальных мероприятий на железнодорожной линии Комсомольск – Советская Гавань

Применяемые мероприятия на участках	Объем инвестиций, тыс. руб.	Сокращение экспл. расходов, тыс. руб./год
7–6–2–0–4–5–3–2–0–0–0–3–4–4–4–4–0–0–0–0–0–3–0–5–4–4–5	11692,4	1547,4
7–6–2–0–4–5–3–2–0–0–0–3–4–2–4–4–0–0–0–0–0–3–0–5–4–4–5	11702,1	1547,8
7–2–2–0–4–5–3–2–0–0–0–3–4–4–4–4–0–0–0–0–0–3–0–5–4–4–5	11764,1	1549,2
7–2–2–0–4–5–3–2–0–0–0–3–4–2–4–4–0–0–0–0–0–3–0–5–4–4–5	11773,8	1549,6
7–2–2–0–4–5–3–2–0–0–0–0–0–4–4–4–0–0–0–0–0–3–0–5–4–4–3	**12007,2**	**1549,7**
7–2–2–0–4–5–3–2–0–0–0–0–0–2–4–4–0–0–0–0–0–3–0–5–4–4–3	12016,9	1550,1
5–6–2–0–4–5–3–2–0–0–0–0–4–4–4–4–0–0–0–0–0–3–0–5–4–4–5	12041,2	1553,3
7–6–2–0–4–5–3–2–0–0–0–3–0–4–4–4–0–0–0–0–0–3–0–5–4–4–3	12046,3	1557,7
7–6–2–0–4–5–3–2–0–0–0–3–0–2–4–4–0–0–0–0–0–3–0–5–4–4–3	12056,0	1558,1

При этом на первом участке целесообразно применять уполаживание откосов и защиту бетонным покрытием (7-е мероприятие), на втором и третьем – защиту бетонным покрытием (№ 2), на четвертом участке нецелесообразно применение мероприятий, так как это не даст экономического эффекта, на пятом участке рационально применение отвода пути и т.д.

Рассчитанное число планов уже возможно анализировать лицу, принимающему решение: крупному специалисту или руководителю для принятия окончательного решения. Эффективным результатом работ является снятие ограничения скоростей движения подвижного состава и весовых норм, вследствие ликвидации или смягчения барьерных мест [7]. Вся информация может отражаться в виде табличной или картографической информации о состоянии и изменениях элементов геологической среды, а также в виде экспертных заключений, актов контроля, служебной документации.

Разработанная стратегия ликвидации ОГП с системных позиций учитывает совокупность сложных экзогенных и усугубляющих их сложных эндогенных условий функционирования железных дорог в Приамурье и позволяет корректно назначать экономические рациональные комплексные стратегические планы ликвидации участков ОГП. Данная стратегия, по мнению авторов, является универсальной и может быть применена на всей сети железных дорог Российской Федерации. Представляется, что она может быть эффективна и при решении аналогичных комплексных проблем на линейных транспортных сооружениях другого назначения – автомобильных магистралях, нефте- и газопроводах и других.

Список литературы

1. Соктина Е.И. Проблемы и перспективы наращивания пропускной способности участка Комсомольск-на-Амуре – Советская гавань северного широтного хода / Е.И. Соктина, А.П. Широков // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2012 – Т. 2. – С. 68–73.

2. Инженерная геология СССР. В 8-ми томах. – Т.4. Дальний Восток / Под. ред. Е.Г. Чаповского. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 502 с.

3. Лапердин В.К. Опасные геологические процессы в зоне Байкальского рифта и сопредельных территорий / В.К. Лапердин, В.С. Имаев // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2010. – Т. 37. – С. 40–55.

4. Ермолов А.А. Исследование опасных экзогенных геологических процессов в рамках комплексных инженерных изысканий и производственного мониторинга на линейных объектах / А.А. Ермолов // Инженерные изыскания. – 2014. – № 12. – С. 39–41.

5. Колтун П.А. Последствия инженерных ошибок при модернизации транспортных сооружений / П.А. Колтун, Г.А. Злобин, С.В. Квашук // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2011 – Т. 2. – С. 137–132.

6. Разработка генеральной схемы реконструкции геометрии трассы на примере Шилкинской и Сковородинской дистанции пути Забайкальской железной дороги / А.Р. Едигарян [и др.] // Проектирование развития региональной сети железных дорог: сб. науч. тр. Вып. 1. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2013. – С. 21–36.

7. Едигарян А.Р. Основы методологии формирования генеральной схемы этапной реконструкции геометрии трассы существующего железнодорожного направления / А.Р. Едигарян, С.М. Гончарук, А.И. Нератов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2013. – № 3(39). – С. 294–299.

References

1. Soktina E.I. Problemy i perspektivy narashhivanija propusknoj sposobnosti uchastka Komsomolsk-na-Amure Sovetskaja gavan severnogo shirotnogo hoda / E.I. Soktina, A.P. Shirokov // Nauchno-tehnicheskoe i jekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke. 2012 T. 2. S. 68–73.

2. Inzhenernaja geologija SSSR. V 8-mi tomah. T.4. Dalnij Vostok / Pod. red. E.G. Chapovskogo. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1977. 502 p.

3. Laperdin V.K. Opasnye geologicheskie processy v zone Bajkalskogo rifta i sopredelnyh territorij / V.K. Laperdin, V.S. Imaev // Voprosy inzhenernoj sejsmologii. 2010. T. 37. pp. 40–55.

4. Ermolov A.A. Issledovanie opasnyh jekzogennyh geologicheskih processov v ramkah kompleksnyh inzhenernyh izyskanij i proizvodstvennogo monitoringa na linejnyh obektah / A.A. Ermolov // Inzhenernye izyskanija. 2014. no. 12. pp. 39–41.

5. Koltun P.A. Posledstvija inzhenernyh oshibok pri modernizacii transportnyh sooruzhenij / P.A. Koltun, G.A. Zlobin, S.V. Kvashuk // Nauchno-tehnicheskoe i jekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke. 2011 T. 2. pp. 137–132.

6. Razrabotka generalnoj shemy rekonstrukcii geometrii trassy na primere Shilkinskoj i Skovorodinskoj distancii puti Zabajkalskoj zheleznoj dorogi / A.R. Edigarjan [i dr.] // Proektirovanie razvitija regionalnoj seti zheleznyh dorog: sb. nauch. tr. Vyp. 1. Habarovsk: Izd-vo DVGUPS, 2013. pp. 21–36.

7. Edigarjan A.R. Osnovy metodologii formirovanija generalnoj shemy jetapnoj rekonstrukcii geometrii trassy sushhestvujushhego zheleznodorozhnogo napravlenija / A.R. Edigarjan, S.M. Goncharuk, A.I. Neratov // Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. 2013. no. 3(39). pp. 294–299.