

МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕПРОДУКТООБЕСПЕЧЕНИЯ В ЗОНЕ ПРОЯВЛЕНИЯ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК
629.039.58

THE METHODOLOGY OF OPERATIONAL RISK ASSESSMENT EMERGENCY SITUATIONS AT THE OBJECTS OF PETROL MAINTENANCE IN THE AREA OF KARSTIC PROCESSES

**А.Н. Елизарьев, Р.Р. Габдулхаков,
Р.Г. Ахтямов**
ФГБОУ ВПО Уфимский
государственный авиационный
технический университет

**A.N. Elizariev, R.R. Gabdulkhakov,
R.G. Akhtyamov**
FSBEI Ufa state aviation
technical university

Проанализирована проблема оценки воздействия карстового процесса на объекты нефтепродуктообеспечения. Изучена нормативно-техническая документация в области прогнозирования геологических процессов. Разработана методика оперативной оценки риска возникновения чрезвычайной ситуации на объектах нефтепродуктообеспечения в зоне проявления карстовых процессов. Проведена апробация разработанной методики расчёта на примере участка слива-налива нефтепродуктов №1 Уфимского филиала ОАО «Башкирнефтепродукт».

The problem of an estimation of influence of karstic process on objects of petrol maintenance is analysed. The specifications and technical documentation in the field of forecasting of geological processes is studied. The technique of an operative estimation of risk of occurrence of an emergency situation on objects of petrol maintenance in a zone of karstic processes is developed. Approbation of the developed design procedure on an example of a site of oil products №1 Ufa branches of Open Society "Bashkirnefteproduct" is spent.

Ключевые слова: промышленная безопасность, объект нефтепродуктообеспечения, нефтепродукт, карстовый процесс, геометрическая вероятность, анализ риска

Key words: industrial safety, object of petrol maintenance, mineral oil, karstic process, geometrical probability, the risk analysis

Природные и техногенные чрезвычайные ситуации находятся в парагенетической связи: как правило, опасные природные процессы являются иницирующими событиями техногенных аварий и чрезвычайных ситуаций. В этой связи, в современных условиях, когда урбанизация принимает стремительные темпы и масштабы, увеличивается застройка территорий, ранее признававшихся непригодными для промышленного и гражданского строительства, особую актуальность приобретает исследование взаимосвязи природных и техногенных катастроф. Примером возникновения техногенной катастрофы вследствие опасного природного процесса является катастрофа в Японии, где разрушительные землетрясение и цунами вызвали радиационную аварию на АЭС «Фукусима-1».

Одним из наиболее опасных природных процессов способных привести к техногенной катастрофе является карст вследствие внезапности его проявления в виде изменений рельефа, негативно

влияющих на устойчивость фундаментов зданий, сооружений или инженерных коммуникаций.

С ростом урбанизации территорий увеличивается активность карстовых процессов, так как возрастающее антропогенное вмешательство в геологическую среду обуславливает изменение характера циркуляции и режима грунтовых вод, изменение рельефа местности при ландшафтных работах, сброс агрессивных и бытовых стоков, что в совокупности приводит к катализу процесса химического растворения горных пород. Схема негативного проявления карстовых процессов представлена на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1, карстовый процесс приводит к просадке основания, в результате чего возникают нерасчётные режимы эксплуатации, приводящие к образованию точек концентрации напряжений в конструкции, а также деформациям оснований и фундаментов, что в конечном итоге может привести к их разрушению. Особую опасность при этом представляет развитие такого процесса на территории пожаровзрывоопасного объекта, где в обращении находятся значительное количество легковоспламеняющихся и горючих жидкостей.

Сложность прогнозирования карстовых явлений и оценки их воздействия на объекты нефтепродуктообеспечения обусловлена необходимостью учёта индивидуальных особенностей очагов развития карста, режимов и состава грунтовых вод,



Рисунок 1. Схема негативного проявления карстовых процессов

слоёв залегания горных пород и прочих факторов. Таким образом, основным методом, применяемым на сегодняшний день, является фактическая оценка карстовой обстановки путём инженерно-геологических изысканий на рассматриваемой территории.

Инженерно-геологические изыскания являются весьма трудоёмким процессом и предполагают исследование особенностей грунта на строительной площадке специализированными организациями, имеющими лицензию на выполнение инженерно-геологических работ, либо, при наличии собственных специалистов, на основании справки о геологических и гидрологических условиях данного участка.

В то же время, карстовый процесс имеет динамику развития, и территория, ранее считавшаяся безопасной для строительства, особенно в условиях высокой антропогенной нагрузки, через некоторое время может стать карстоопасной. Современная активность карста и скорости карстовой денудации в настоящих условиях настолько велики, что при условии сосредоточенного развития процесса по отдельным зонам за амортизационные сроки службы сооружений могут возникнуть полости, а на поверхности провалы.

Таким образом, для обеспечения пожарной и промышленной безопасности функционирования объектов нефтепродуктообеспечения расположенных на территориях, подверженных действию карстовых процессов необходима разработка оперативной методики оценки риска техногенных ЧС, вызванных карстовыми процессами.

В условиях недостаточной изученности сложных причинно-следственных связей, определяющих поведение карста, авторами статьи предлагается использовать вероятностный метод геоморфологического и инженерно-геологического моделирования. Он основан на представлении процессов и явлений как случайных событий, которые при данных условиях могут происходить, или не происходить, либо проявляться в тех или иных масштабах лишь с некоторой вероятностью [2].

Вероятностные методы эффективны как при изысканиях, так и при проектировании сооружений в карстовых районах. Особенно важно, что одни и те же параметры вероятностной оценки могут использоваться инженерами-геологами и инженерами-строителями. При этом оценка вероятности может проводиться на любом этапе строительства и изучения от предпроектного до этапа полноценного функционирования.

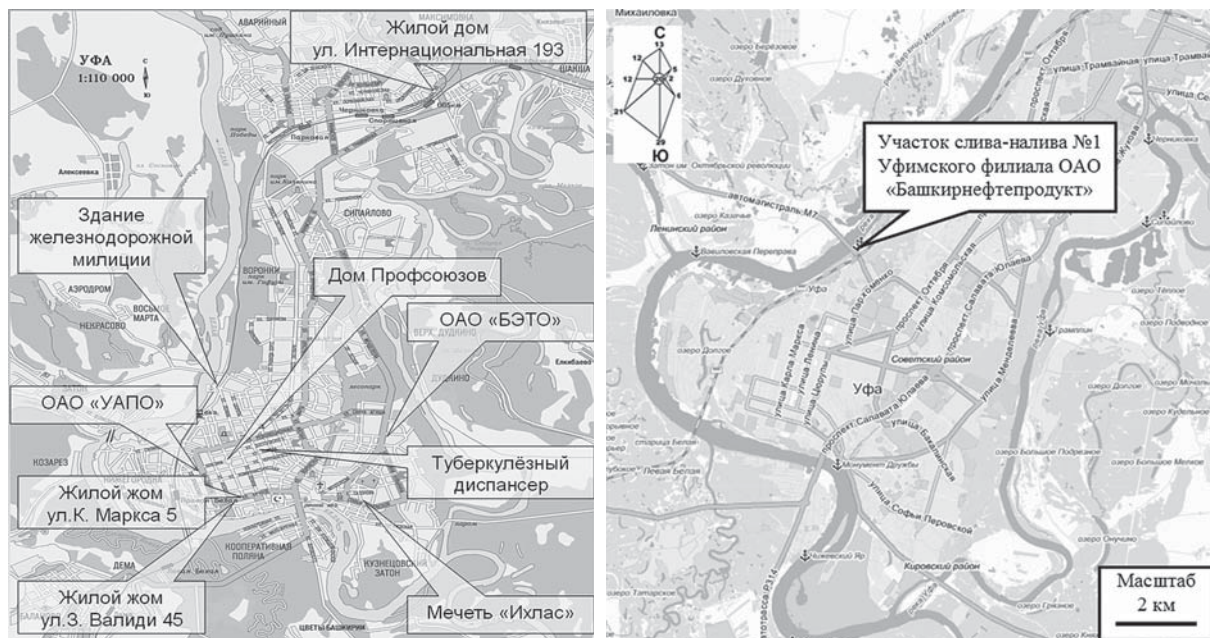


Рисунок 2. Здания г. Уфа, подвергшиеся деформациям вследствие активизации карстовых процессов (слева) и местоположение УСН №1 (справа)

Геометрическое определение вероятности события применимо в случае, когда исследуемые области обе площадные или объёмные. В данном случае, для вероятностной оценки устойчивости объектов нефтепродуктообеспечения при карстовых процессах, применяется геометрическое определение вероятности для условий равновероятного проявления карста на территории объекта.

На сегодняшний день разработана методика оценки геологического риска [3], в соответствии с которой вероятность возникновения негативного влияния карстового процесса оценивается по формуле:

$$R_c(H) = P^*(H) \cdot P_s(H) \cdot V_c(H) \cdot D_c \quad (1)$$

$$R_{sc}(H) = R_c(H)/S_o \quad (2)$$

где $R_c(H)$ и $R_{sc}(H)$ – соответственно полный (руб./год) и удельный (руб./м²·год, руб./га·год, руб./км²·год) риск потерь от опасности H определенного генезиса и интенсивности;

$P^*(H)$ - повторяемость опасности H в пределах определенной по площади территории, численно равная ее статистической вероятности (случаев/год);

$P_s(H)$ - геометрическая вероятность поражения оцениваемого объекта опасностью H в пространстве;

$$P_s(H) = S_o/S_t \quad (3)$$

S_o - площадь объекта (м², га);

S_t - площадь, в пределах которой может проявиться опасность H (м², га);

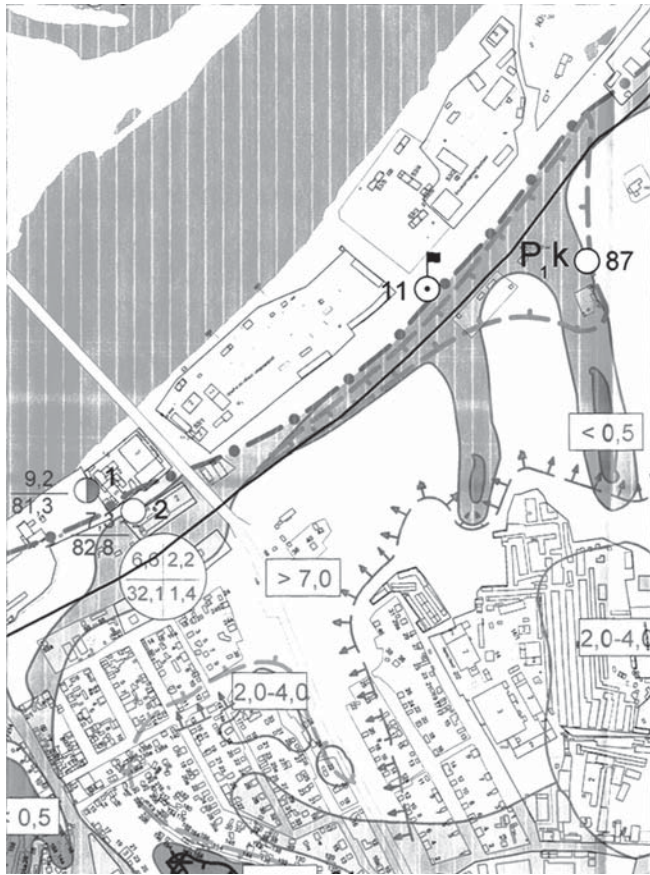
$V_c(H)$ - экономическая уязвимость оцениваемого объекта для опасности H ;

D_c - стоимость объекта до его поражения (руб.).

Однако данная методика при оценке вероятностной составляющей риска учитывает только количество случаев проявления карста, и не учитывает размеры полостей и просадок, глубины их образования и прочие индивидуальные параметры, определяющие меру негативного воздействия.

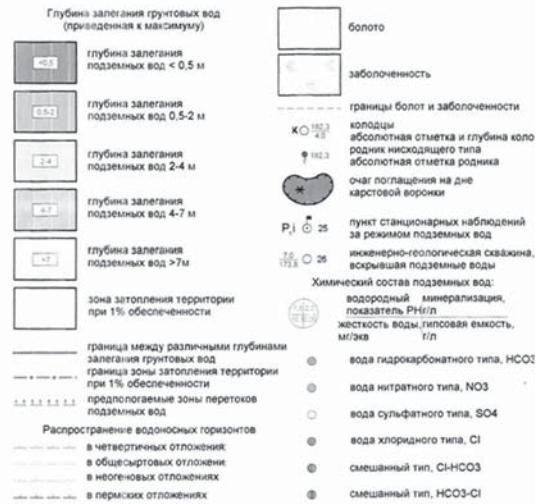
В то же время установлено, что чем ближе территория расположена к базису эрозии, тем более поверхностный и горизонтально протяжённый характер имеют карстовые полости [4]. В этой связи авторами предложена методика, учитывающая влияние площади горизонтальной проекции карстового проявления на вероятность негативного воздействия на объект нефтепродуктообеспечения.

Разработанная методика включает в себя три этапа. На первом этапе основной задачей является сбор данных по территориальным особенностям расположения объекта нефтепродуктообеспечения с учётом гидрогеологических условий. т.к. площадь территории является основным параметром при расчёте геометрической вероятности. При установлении границ площади закарстованной территории необходимо учесть равномерность распределения карстовой опасности, т.е. сравнительно постоянную плотность карстовых воронок на квадратный метр закарстованной территории. Также на основании данных о гидрогеологических условиях определяется количество поверхностных кар-



Гидрогеологическая карта
М 1:10000

Условные обозначения



Приведена из отчета ЗАО "ЗапУралТИСИС" заказ № 18716, инв. № 546 в архиве Главархитектуры

Рисунок 3. Гидрогеологическая карта района расположения нефтебазы

стовых проявлений с регистрацией площадей их горизонтальных проекций.

Далее определяются участки потенциально негативного воздействия карстовых процессов на территории объекта нефтепродуктообеспечения - горизонтальные проекции наружных установок с ЛВЖ, участки технологических трубопроводов и т.д.

На втором этапе, на основании полученных значений площадей проводится расчёт вероятности по формуле:

$$P = P_{об} \cdot P_{к.п.} = \frac{S_{п.о.}}{S_{т.о.}} \cdot \frac{S_{к.п.}}{S_{и.т.}} \quad (4)$$

где $S_{п.о.}$ – суммарная площадь проекций опасных объектов, м²;

$S_{к.п.}$ – суммарная площадь горизонтальных проекций карстовых провалов, м²;

$S_{и.т.}$ – площадь исследуемой территории, м²;

$S_{т.о.}$ – общая площадь объекта нефтепродуктообеспечения, м².

Полученное значение вероятности при анализе риска может быть использовано как значение одного из звеньев «дерева отказов», либо как вероятность инициирующего события в «дерево событий», либо как вероятностная составляющая значения риска.

На территории РФ типичным примером промышленно развитой территории, подверженной воздействию карстового процесса является Республика Башкортостан. Учитывая, что большая часть территории республики сложена осадочными горными породами, а объекты нефтепродуктообеспечения располагаются, в том числе, в пойменных частях рек с высокой циркуляцией грунтовых вод, оперативная оценка риска возникновения чрезвычайной ситуации вызванной карстовыми процессами является практически значимой.

На территории республики Башкортостан в карстоопасной зоне расположены такие крупные города как Салават, Стерлитамак, а также крупнейший промышленный центр РБ - г. Уфа, на территории которого функционирует порядка 200 потенциально опасных объектов. Здания г. Уфа, подвергшиеся деформациям вследствие активизации карстовых процессов представлены на рисунке 2. В этих условиях расположена участок слива нефти нефтепродуктов №1 Уфимского филиала ОАО «Башкирнефтепродукт» (УСН №1), расположенный в пойменной части р. Белая (рисунок 2, справа).

Производственная деятельность УСН №1 заключается в приёме нефтепродуктов по желез-

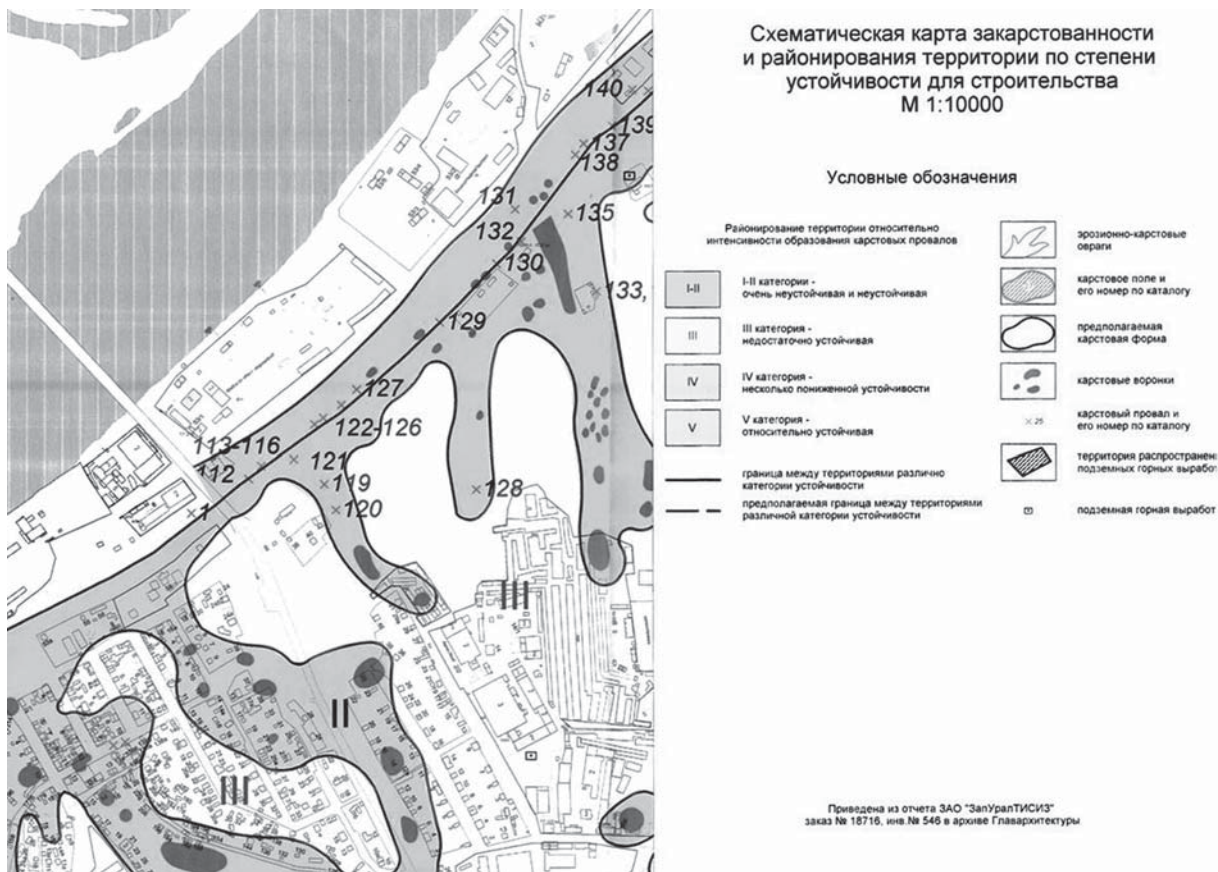


Рисунок 4. Схематическая карта закарстованности и районирования территории по степени устойчивости

ной дороге и по р. Белая, а также хранения и реализации нефтепродуктов в автомобильный транспорт потребителя.

Нефтебаза построена в 1901 году, и выбор места под строительство обусловлен в первую очередь близостью расположения к основным транспортным магистралям – главной ветке железной дороги, идущей от станции Уфа, а также судоходному участку р. Белая. В то же время, на данной территории имеются все условия для активного развития карстовых процессов:

- наличие в геологическом разрезе легкорастворимых пород (гипсы, ангидриды);
- их хорошая водопроницаемость;

- наличие движущихся подземных вод;
- высокая растворяющая способность и агрессивность подземных вод.

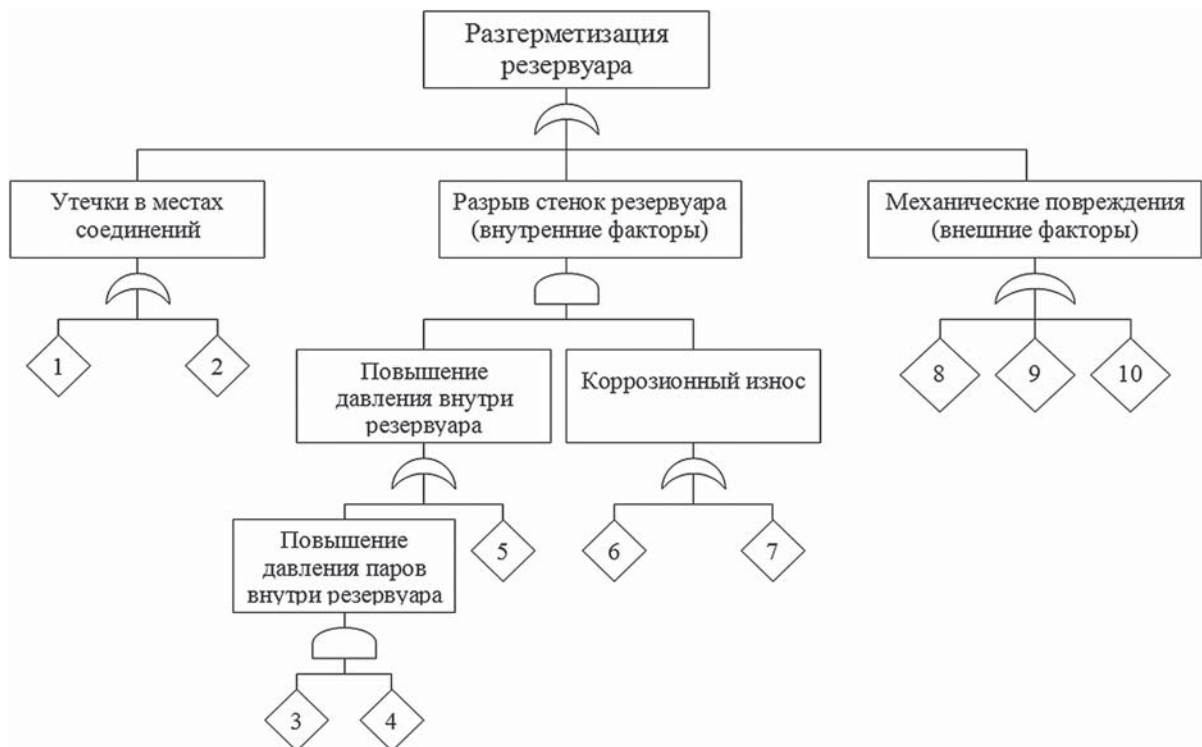
Гидрогеологическая карта района расположения нефтебазы, приведённая из отчёта ЗАО «ЗапУралТИСИЗ» в архиве Главархитектуры г. Уфа, представлена на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что территория нефтебазы находится в зоне затопления при 1% обеспеченности параметров водного режима р. Белая, что свидетельствует о наличии активной циркуляции подземных вод на её территории в периоды половодья.

Таблица 1. Результаты расчёта параметров карстовых процессов

Параметр	Значение
Среднегодовое количество карстовых провалов на 1 км ²	P = 0,3 провалов/км ² ·год
Коэффициент закарстованности (KЗ)*	KЗ = 0,073
Плотность карстовых воронок	f = 5,88 шт/км ²
Интенсивность карстового процесса	I = 132 м ³ /км ² ·год
Время достижения критических размеров полостью	T = 1,46 лет
Объём выносимой растворимой породы из массива	Wоб = 61,45 м ³ /год
Скорость химической денудации сульфатных пород	WT = 147,5 т/год

*Коэффициент закарстованности (KЗ) - отношение суммы площадей воронок (S_v) к площади карстового поля ($S_{к.п.}$).



- | | |
|--|---|
| 1 - Повреждение креплений разъёмных соединений | 6 - Коррозия стенок резервуара |
| 2 - Повреждение уплотнений разъёмных соединений | 7 - Коррозия сварных швов резервуара |
| 3 - Отказ предохранительного клапана | 8 - Стихийные бедствия |
| 4 - Тепловое воздействие от пожара пролива нефтепродукта | 9 - Умышленные действия (диверсия) |
| 5 - Переполнение резервуара | 10 - Нарушение техники безопасности при работах |

Рисунок 6. «Дерево отказов» разгерметизации резервуара на УСН № 1

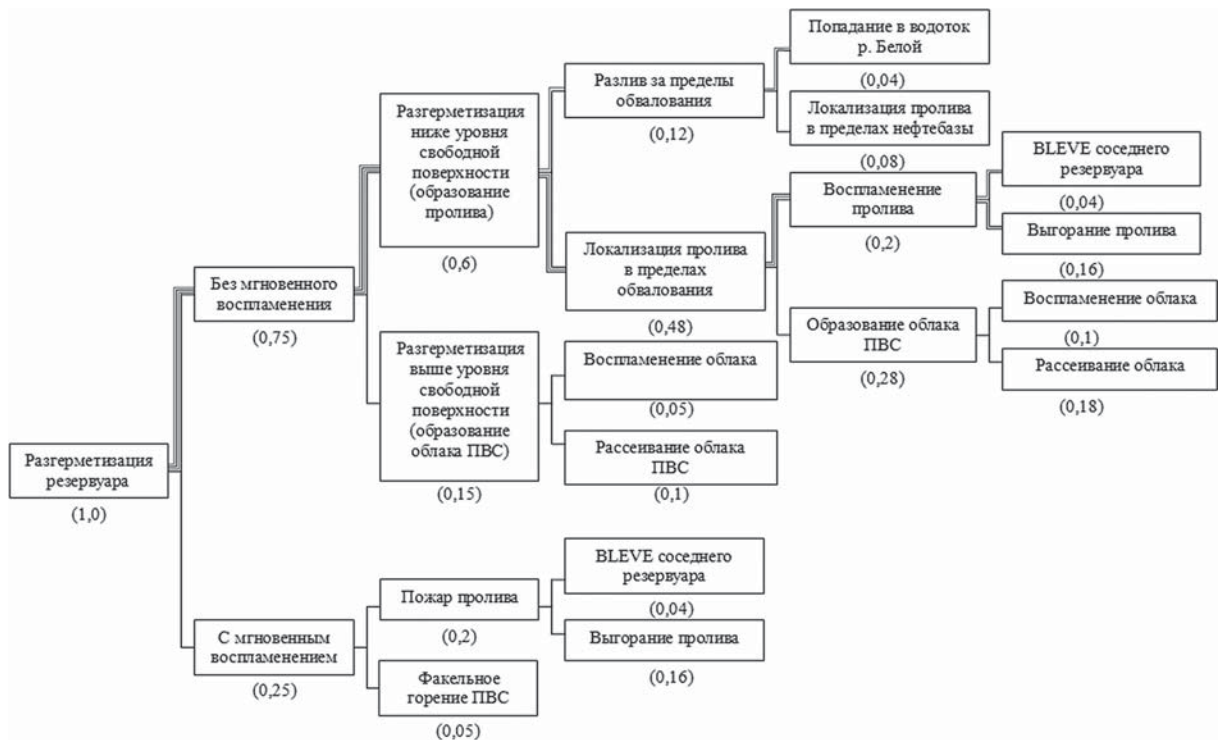


Рисунок 7. «Дерево событий» разгерметизации резервуара на УСН №1

$$\sum \pi \cdot r^2 \cdot n = 3720 \text{ м}^2 \quad (6)$$

В соответствии с формулами вероятность образования карстовой полости под резервуаром будет равна $P = 9,5 \cdot 10^{-5}$. Возможность применения полученного значения вероятности реализуется при оценке вероятности возникновения той или иной чрезвычайной ситуации на УСН №1.

На основе анализа возможных причин, приводящих к возникновению ЧС наряду с негативными проявлениями карста, проведён количественный анализ риска возникновения ЧС на УСН №1, представленный в виде «дерева отказов» (рисунок 6).

На основе анализа возможных сценариев развития аварии проведён количественный анализ риска, представленный в виде «дерева событий» при разгерметизации резервуара на УСН №1 (рисунок 7).

Наибольшую опасность при ЧС на УСН №1 представляет возможность возгорания паров нефтепродуктов при разливах вследствие нарушения герметичности оборудования, трубопроводов и сооружений, с последующим тепловым воздействием на соседний резервуар и образованием эффекта BLEVE.

Вероятность реализации различных сценариев аварии рассчитывают по формуле:

$$Q(A) = Q_{ав} \cdot Q(A)_{ст}, \quad (7)$$

где $Q_{ав}$ — вероятность аварийного выброса ЛВЖ (разгерметизации резервуара), принимается равна $1,3 \cdot 10^{-4}$ на основании «дерева отказов».

$Q(A)_{ст}$ — статистическая вероятность развития аварийной ситуации.

Вероятность реализации наиболее опасного сценария составит:

$$Q = 0,04 \cdot 1,3 \cdot 10^{-4} = 5,2 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Выводы

Таким образом, установлено, что существующие методики не являются в полной мере универсальными и ограничено пригодны для применения в условиях больших перепадов высот. Предложена методика, которая позволяет оценить вероятность возникновения карстового проявления в основании объекта нефтяной промышленности на любой территории с учётом локальных особенностей карстового процесса вне зависимости от рельефа местности.

Проведена апробация методики при анализе риска возникновения ЧС на объекте нефтепродуктообеспечения г. Уфа, по итогам которой установлено, что разработанная методика пригодна для расчёта вероятности на различных типах объектов нефтяной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 22.0.06-1995. Источники природных чрезвычайных ситуаций. Поражающие факторы. М.: Госстандарт России, 1996. 5 с.

2. Шилова Е.В. Дублянская Г.Н. Моделирование в карсте // Гидрогеология и карстование: межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 2004. - Вып. 15. С. 218—224.

3. Рекомендации по оценке геологического риска на территории г. Москвы. М.: Москомархитектуры, 2002. 32 с.

4. Максимович Г. А. Основы карстования. Пермь, 1963. 63 с.

5. Правобережная зона моста Уфа – Затон через реку Белая: Отчёт о результа-

тах выяснения причин активизации карстово-суффозионного процесса на базе обобщения архивных материалов. Уфа: ЗАО «ЗапУралТИСИЗ», 2003. С.11.

6. ТСН 302-50-95. РБ. Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях. Уфа: Госстрой Республики Башкортостан, 1996. 30 с.

Елизарьев А.Н., к. географ. наук, доцент кафедры «Безопасность производства и промышленная экология», ФГБОУ ВПО УГАТУ

Elizariyev A.N., cand. geograph. sci., associate professor of chair «Safety of production and industrial ecology», FSBEI USATU

Габдулхаков Р.Р., студент кафедры «Безопасность производства и промышленная экология», ФГБОУ ВПО УГАТУ
Gabdulkhakov R.R., student of chair «Safety of production and industrial ecology», FSBEI USATU

Ахтямов Р.Г., канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Безопасность производства и промышленная экология», ФГБОУ ВПО УГАТУ

Ahtyamov R.G., cand. tech. sci., senior lecturer of chair «Safety of production and industrial ecology», FSBEI USATU

e-mail: gabdulkhakov.r@yandex.ru