

МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ПРИВОДЯЩИХ К НЕГАТИВНЫМ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ ПРИ ГАЗОДОБЫЧЕ

Амшинов Н.М., Ажмухамедов И.М.

Цель. Изложение разработанной методики управления рисками чрезвычайных ситуаций, приводящих к негативным экологическим воздействиям при газодобыче, позволяющей отобрать эффективный набор мероприятий для устранения или уменьшения указанных рисков.

Методы. В основу разработки представленной методики положен теоретико-множественный подход.

Результаты. Изложены этапы разработанной методики управления рисками чрезвычайных ситуаций, приводящих к негативным экологическим воздействиям при газодобыче: построение кривой приемлемого риска; определение значимых экологических рисков, требующих немедленного устраниния; определение эффективных управляющих воздействий, позволяющих снизить риски до приемлемых значений путем «обрыва» наиболее опасных цепочек чрезвычайных ситуаций.

Область применения исследований. Применение изложенной методики по снижению экологических рисков при газодобыче позволит эффективно снижать уровень рисков компаний и уменьшать риски чрезвычайных ситуаций, приводящих к негативным экологическим воздействиям при эксплуатации газодобывающих скважин.

Ключевые слова: риски чрезвычайных ситуаций, негативные экологические воздействия, система поддержки принятия решений, эксплуатация газодобывающих скважин, приемлемый риск.

(Поступила в редакцию 26 августа 2025 г.)

Введение

Обеспечение безопасности при возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС) является приоритетной задачей эксплуатации опасных производственных объектов (ОПО). Одним из направлений в рамках данной задачи является предупреждение чрезвычайных ситуаций, способных привести к негативным экологическим последствиям. Количество такого рода ЧС стало стремительными темпами возрастать в связи с увеличением доли используемых пожаро-, взрыво-, химически опасных технологий, являющихся основными источниками загрязнения природы. Несмотря на то что разработано множество нормативных документов федерального и отраслевого уровня, направленных на предупреждение чрезвычайных ситуаций, воздействие на природу со стороны ОПО остается на очень высоком уровне.

Оценке и управлению рисками при газодобыче посвящен ряд работ отечественных [1–3] и зарубежных авторов [4–7]. Отмечается, что эффективное управление рисками может быть осуществлено в рамках одного из двух основных подходов: детерминированного и вероятностного. Однако для реализации данных подходов необходимо большое количество статистических данных, собрать которые часто не представляется возможным. Кроме того, задача оценки рисков ЧС, приводящих к негативным экологическим воздействиям (НЭВ) при газодобыче, содержит большую долю как объективной, так и субъективной неопределенности, что затрудняет формализацию процесса оценки и управление указанными рисками.

В работе [8] была изложена методика оценки подобных рисков при эксплуатации газодобывающих скважин (ГДС). В ее основе лежит рассмотрение цепочки событий, приводящих к негативным экологическим последствиям от ЧС:

«**Осложнения на ГДС (О)**» → «**Техногенная ЧС (ТЧС)**» →
→ «**Поражающее воздействие источника техногенной ЧС на окружающую среду (ПВ)**» → (1)
→ «**Экологические последствия от ПВ (ЭППВ)**».

Согласно указанной методике прежде всего определяются потенциально возможные осложнения на ГДС и перечень связанных с ними ТЧС и ПВ.

После этого оцениваются вероятности возникновения экологических последствий от ПВ в результате поражающих воздействий источника техногенной ЧС, возникших в связи с ТЧС, которые, в свою очередь, были вызваны осложнениями. Таким образом, выявляются цепочки событий, которые необходимо устраниить.

Расшифруем понятия ТЧС, ПВ и экологические последствия от ПВ.

Под термином техногенная чрезвычайная ситуация – понимается ЧС, при которой происходит опасное техногенное происшествие, создающее на объекте, определенной территории или акватории угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушению производственного или транспортного процесса, а также к нанесению ущерба окружающей природной среде.

Под поражающим воздействием источника техногенной ЧС на окружающую среду понимается ЧС, в связи с которой происходит негативное влияние одного или совокупности поражающих факторов источника техногенной чрезвычайной ситуации на окружающую природную среду.

Экологические последствия от ПВ – это следствие негативного экологического воздействия на окружающую среду в результате указанных поражающих воздействий.

В свою очередь, по методике, изложенной в работе [8], оценивается вероятность возникновения последствий от ПВ ($P_{\text{ПВ}}$) и ущерб от этих последствий ($U_{\text{ПВ}}$). В результате при перемножении двух данных параметров получаем величину R – риск чрезвычайной ситуации, приводящей к негативному экологическому воздействию при газодобыче.

Изложенная методика по оценке вышеуказанных рисков позволяет определить, насколько вероятно наступление экологических последствий от ПВ с учетом числовых значений параметров и верbalных оценок экспертов, рассчитать риски ЧС, приводящих к НЭВ при газодобыче, и оценить, насколько данный риск является приемлемым.

Лицу, принимающему решения (ЛПР), при выборе управляющих воздействий (УВ), направленных на ликвидацию потенциально возможных причин возникновения экологических последствий от ПВ или минимизацию указанных последствий, необходимо учесть множество факторов: наличие необходимого количества финансовых средств и времени, квалифицированного персонала, необходимого оборудования и т.п. Кроме этого, ЛПР необходимо определить приоритетность проведения работ по снижению экологических рисков и при этом подобрать наиболее эффективный набор мер, позволяющих «оборвать» наиболее опасные цепочки событий, приводящих к экологическим последствиям от ПВ.

Таким образом, данная задача является плохо формализуемой (из-за большого количества верbalных, нечисловых оценок экспертов) и слабоструктурированной (из-за наличия значительного числа взаимосвязанных между собой факторов, наличие которых необходимо учесть при принятии решений).

Исходя из этого, целью данной работы явилось изложение результатов разработки методики управления рисками чрезвычайных ситуаций, приводящих к негативным экологическим воздействиям при газодобыче, позволяющей отобрать эффективный набор мероприятий для устранения или уменьшения указанных рисков.

Формальная постановка задачи. Для формальной постановки задачи необходимо выполнить следующие шаги. Получив по методике, изложенной в работе [8], список цепочек событий, которые способны привести к экологическим последствиям от ПВ, ранжируем их следующим образом.

Экологические последствия от ПВ могут быть разбиты на 3 класса по степени ущерба (незначительный, средний, значительный). Отнесение к определенному классу в дальнейшем влияет на оценку ущерба от того или иного экологического последствия от ПВ. Например, наименование экологического последствия от ПВ может выглядеть как «Значительный выброс углеводородов в атмосферу». Далее согласно нормативным документам будет определен ущерб от данного экологического последствия от ПВ с учетом его степени отрицательного влияния на окружающую среду. Если объем выбросов значительный и вред от воздействия высокий, то и ущерб будет оценен как высокий. Конкретные численные значения для каждого экологического последствия от ПВ рассчитываются по соответствующим формулам оценки рисков ЧС, приводящих к НЭВ при газодобыче, которые отражены в нормативных документах [9–13].

В свою очередь, множество управляющих воздействий A , способных прервать выявленные цепочки событий, делится на следующие подмножества:

A^O – подмножество управляющих воздействий, направленных на недопущение возможновения осложнений;

$A^{T\text{ЧС}}$ – подмножество управляющих воздействий для недопущения ТЧС при возникших осложнениях;

$A^{\text{ПВ}}$ – подмножество управляющих воздействий для недопущения ПВ при уже возникших ТЧС;

$A^{\text{ЭППВ}}$ – подмножество управляющих воздействий для недопущения ЭППВ от возникших ПВ.

$$A = \{A^O, A^{T\text{ЧС}}, A^{\text{ПВ}}, A^{\text{ЭППВ}}\}. \quad (2)$$

Каждое из подмножеств включает управляющие воздействия, для которых как существуют достаточные ресурсы для их реализации, так и для которых они отсутствуют. Эксперты формируют полный перечень УВ. После этого необходимо выделить набор управляющих воздействий, имеющих достаточные ресурсы. Для данного набора было введено понятие «Активный арсенал управляющих воздействий».

Управляющее воздействие, которое не обеспечено достаточным количеством ресурсов (например, кадровыми, финансовыми и т.п.), не входит в активный арсенал. Если ЛПР считает, что такое управляющее воздействие следует в дальнейшем реализовать, то он может дать команду по обеспечению данного УВ необходимыми ресурсами.

Таким образом, подмножества, указанные в формуле (2), примут вид:

$$A^O = \{a_i^O\}_{i=[1\dots N]}; \quad A^{T\text{ЧС}} = \{a_k^{T\text{ЧС}}\}_{k=[1\dots K]}; \quad A^{\text{ПВ}} = \{a_j^{\text{ПВ}}\}_{j=[1\dots J]}; \quad A^{\text{ЭППВ}} = \{a_b^{\text{ЭППВ}}\}_{b=[1\dots B]}.$$

Сформированные новые подмножества представляют из себя активный арсенал управляющих воздействий, которые можно применить для устранения одного или нескольких событий в опасных с точки зрения возникновения ЭППВ цепочках.

При этом риск ЧС, приводящий к НЭВ, в свою очередь, состоит из суммы двух рисков:

$$R = R^{\text{ЭППВ}} + R^\Pi, \quad (3)$$

где $R^{\text{ЭППВ}}$ – риск экологических последствий от поражающих воздействий источника ТЧС, рассчитанный по методике, изложенной в работе [8];

R^Π – побочный риск, возникающий в результате использования управляющего воздействия для устранения одного из событий.

Например, если $R^{\text{ЭППВ}}$ был изначально по степени критичности классифицирован как средний по степени критичности ущерба, то R^Π должен иметь незначительную степень критичности ущерба.

С учетом вышеизложенного из множества A выделяется соответствующее подмножество $\bar{A} = \{\bar{A}^O, \bar{A}^{T\text{ЧС}}, \bar{A}^{\text{ПВ}}, \bar{A}^{\text{ЭППВ}}\}$ управляющих воздействий, применение которых не приводит к рискам, равным или превышающим те риски, на устранение которых данные управляющие воздействия направлены.

Получив набор управляющих воздействий, снижающих риски до приемлемого уровня, необходимо выбрать такой набор воздействий, для реализации которого требуются минимальные затраты Z .

При этом затраты на управляющие воздействия выражаются следующей формулой:

$$Z = \alpha_1 F + \alpha_2 P + \alpha_3 T + \alpha_4 E + \alpha_5 M, \quad (4)$$

где F – финансовые затраты;

P – количество персонала для определенного управляющего воздействия;

T – время для реализации управляющего воздействия;

E – количество необходимого оборудования;

M – количество необходимых материалов;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ – весовые коэффициенты для каждого из параметров F, P, T, E, M , отражающие их значимость для ЛПР.

Необходимо добиться ситуации, при которой текущий риск не превышает приемлемого значения и при этом затраты не будут превышать заданного уровня.

Таким образом, формальная постановка задачи выглядит следующим образом:

$$\text{def } \bar{A}: R \leq R^{\Delta}, Z \leq Z^*, \quad (5)$$

т.е. необходимо найти набор таких управляющих воздействий \bar{A} , который позволит снизить риск ЧС, приводящий к НЭВ, при газодобыче до приемлемых значений допустимого риска R^{Δ} либо ниже него (в (5) def – это оператор определения). При этом уровень затрат не должен превышать уровень допустимых затрат Z^* , которые компания может потратить на реализацию управляющих воздействий.

Для оценки приемлемых значений риска в работе [8] было введено понятие «приемлемый риск» – это такой риск, значение которого компания готова принять. С целью определения критических рисков для компании в работе была предложена методика оценки приемлемых экологических рисков, в которой согласно построению кривой приемлемого риска (КПР) определяются текущие значимые риски (ТЗР).

Основная часть

Методика управления рисками ЧС, приводящих к НЭВ, в процессе газодобычи.

Для решения поставленной задачи предлагается методика управления рисками ЧС, приводящих к НЭВ, в процессе газодобычи, общая схема которой представлена на рис. 1.

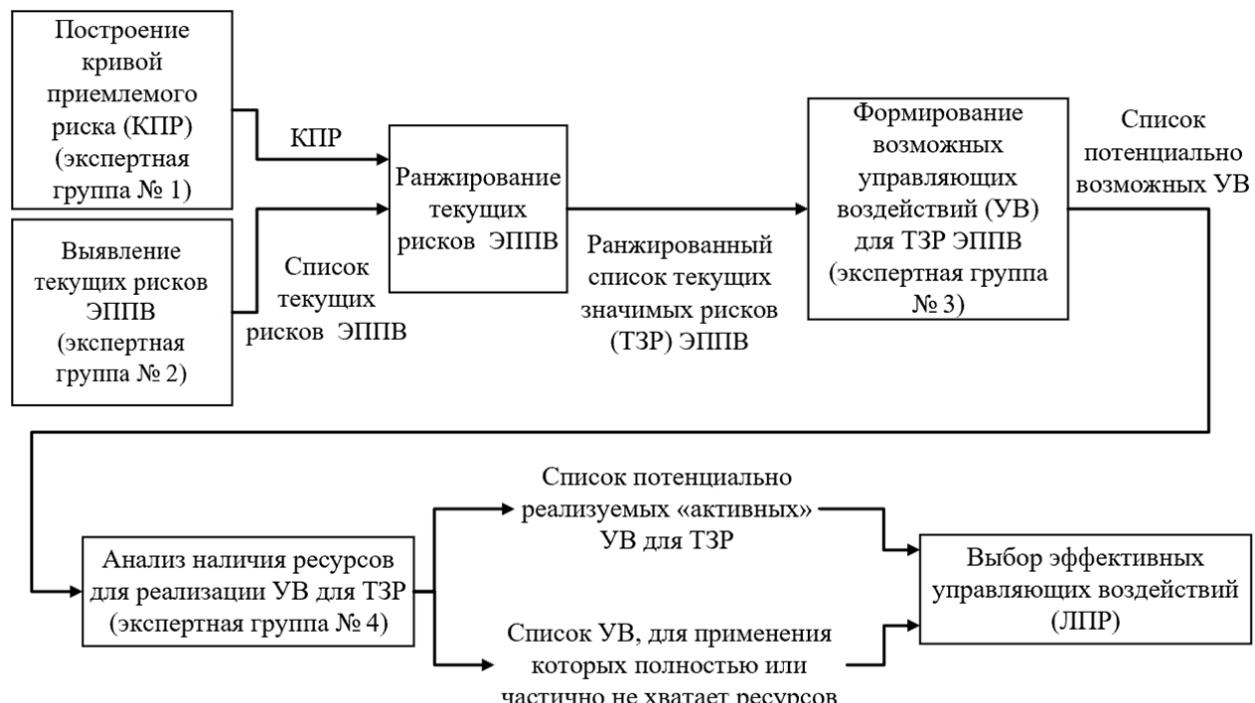


Рисунок 1. – Общая схема методики управления рисками ЧС, приводящих к НЭВ, в процессе газодобычи

Рассмотрим каждый блок общей схемы подробнее. На рисунке 2 представлена схема построения КПР.



Рисунок 2. – Схема построения КПР

В общем виде функциональная зависимость приемлемой вероятности (P^{Π}) возникновения различных значений ущерба от ЭППВ на ГДС имеет вид [8]:

$$P^{\Pi} = P^{\Pi}(U^{\text{ЭППВ}}), \quad (6)$$

где $P^{\Pi}(U^{\text{ЭППВ}})$ – монотонно убывающая функция от $U^{\text{ЭППВ}}$ (ущерб от последствий ПВ), отражающая приемлемую вероятность возникновения различных значений ущерба.

В качестве функции $P^{\Pi}(U^{\text{ЭППВ}})$ могут быть использованы различные зависимости. При малых уровнях ущерба может сохраняться постоянное значение приемлемой вероятности ущерба от ЭППВ, равное «1», до тех пор, пока не начнется его снижение. В этом случае целесообразно применить функцию вида:

$$P^{\Pi} = a \cdot \left[1 + e^{-b(U^{\text{ЭППВ}} - U_{\text{НЗ}}^{\text{ЭППВ}})} \right]^{-1}, \quad (7)$$

где a и b – константы, определяемые экспертным оцениванием возможных положений отдельных точек КПР, которые задаются экспертной группой, при заданных значениях $U^{\text{ЭППВ}}$ и последующей их аппроксимацией по методу наименьших квадратов;

$U_{\text{НЗ}}^{\text{ЭППВ}}$ – незначительный ущерб, который организация готова безусловно принять (т.е. с $P^{\Pi} = 1$).

Если изменение вероятности P^{Π} начинается сразу, то можно использовать функцию вида:

$$P^{\Pi} = a \cdot e^{-b(U^{\text{ЭППВ}} - U_{\text{НЗ}}^{\text{ЭППВ}})}. \quad (8)$$

Для определения параметров в формулах (7) и (8) формируется экспертная группа № 1, в состав которой могут входить:

- представители руководства компании, курирующие направление «Добыча газа и газового конденсата»;
- сотрудники подразделений, занимающихся технологическим обеспечением ГДС;
- сотрудники подразделений, занимающихся финансовым сопровождением деятельности организации по добыче газа;
- внешние эксперты (при необходимости).

Критерии, по которым должен проводиться отбор, могут быть следующими: независимость экспертов, отсутствие какого-либо коммерческого, финансового или другого фактора, способного повлиять на принимаемые решения. Состав группы не должен быть меньше четырех человек.

Необходимо отметить, что существует некоторая величина критического ущерба $U_{\text{кр}}^{\text{ЭППВ}}$, превышение которой является для газодобывающей компании неприемлемой. Данный параметр определяется руководством компании и прописывается в нормативных документах как процент от капитализации компании. Например, если капитализация компании $C = 1$ млрд руб., а приемлемый процент ущерба, который компания готова принять $k = 1\%$, то $U_{\text{кр}}^{\text{ЭППВ}} = C \cdot \frac{k}{100\%} = 10$ млн руб.

При опросе экспертам предлагается оценить приемлемую вероятность различных значений ущерба, определенных как часть $U_{\text{кр}}^{\text{ЭППВ}}$. Для согласования мнений экспертов целесообразно использовать метод Дельфи.

Например, пусть после согласования мнений экспертов получена следующая вербальная оценка: приемлемую вероятность ущерба в 40 % от $U_{\text{кр}}^{\text{ЭППВ}}$ эксперты сочли равной «Выше среднего». Такую вербальную оценку необходимо перевести в числовую форму. Воспользуемся шкалой Харрингтона. Приемлемой вероятности «Выше среднего» соответствует промежуток от 0,64 до 0,8. За значение приемлемой вероятности, согласованное экспертами, возможно принять среднее значение данного промежутка, т.е. 0,72. Аналогичным образом получаются другие значения классов приемлемых вероятностей. Первый класс – допустимая вероятность «Низкая (Н)», промежуток по шкале Харрингтона находится в пределах [0; 0,2), приемлемая вероятность $P_{\text{Н}}^{\Pi} = 0,1$; второй класс – «Ниже среднего (НС)», промежуток [0,2; 0,37), $P_{\text{НС}}^{\Pi} = 0,29$; третий класс – «Средняя (С)», [0,37; 0,64), $P_{\text{С}}^{\Pi} = 0,51$; четвертый класс – «Выше среднего (ВС)», [0,64; 0,8), $P_{\text{ВС}}^{\Pi} = 0,72$; пятый класс – «Высокая вероятность (ВВ)», [0,8; 1], $P_{\text{ВВ}}^{\Pi} = 0,9$.

Согласовав мнения экспертов, получаем пары значений допустимых вероятностей и приемлемых ущербов. Данные пары наносим на график в виде точек, которые аппроксимируются по методу наименьших квадратов функцией вида (7). В результате получаем кривую приемлемого риска (рис. 3).

Выявление текущих рисков ЭППВ. В работе [8] была предложена методика оценки рисков возникновения ЭППВ при газодобыче, основанная на рассмотрении цепочки событий (1).

Реализация данной методики требует поэтапной организации работ, к которым в первую очередь относится формирование соответствующей экспертной группы.

Согласно разработанной методике для определения рисков ЧС, приводящих к НЭВ, формируется экспертная группа № 2, состоящая из представителей мастеров по добыче газа, службы главного инженера, экологического отдела. Эта группа выполняет следующие шаги:

- определяет потенциально возможные осложнения на ГДС и перечень связанных с ними ТЧС, ПВ;
- оценивает вероятности возникновения ЭППВ в результате реализации возможных событий, возникших в связи с осложнениями;
- рассчитывает ущерб от ЭППВ;
- составляют список текущих рисков.

Далее необходимо определить ТЗР.

Ранжирование текущих рисков. Значения вероятностей и ущербов текущих рисков, которые были выявлены в предыдущем блоке, позволяют нанести соответствующие точки на рисунок, содержащий КПР (рис. 4).

Если некоторые точки, характеризующие текущие риски, находятся выше КПР, необходимо снизить риски.

Значимость каждого риска определяется как площадь криволинейного треугольника, образованного КПР и отрезками, характеризующими расстояние по вероятности и ущербу от точки, соответствующей риску, до КПР. Примеры подобных фигур для 1-го и 3-го рисков приведены на рисунке 4.

Площади таких криволинейных треугольников характеризуют величину, для которой было введено понятие «количество “избыточного” риска». Данная величина в дальнейшем будет обозначаться как ΔR_n .

Исходя из введенного определения, для вычисления количества «избыточного» риска предложено воспользоваться следующими формулами:

$$U^* = (\ln P_n - \ln a)/b + U_{\text{НЗ}}^{\text{ЭППВ}}, \quad (9)$$

$$\Delta R_n = P_n \cdot (U_n - U^*) - a \cdot \int_{U^*}^{U_n} e^{-b(U-U_{\text{НЗ}}^{\text{ЭППВ}})} dU = P_n \cdot (U_n - U^*) + \frac{a}{b} e^{bU_{\text{НЗ}}^{\text{ЭППВ}}} \left(e^{-bU_n} - e^{-bU^*} \right), \quad (10)$$

где P_n и U_n – это вероятность и ущерб, характеризующие определенный риск;

U^* – максимально допустимый ущерб при вероятности P_n .

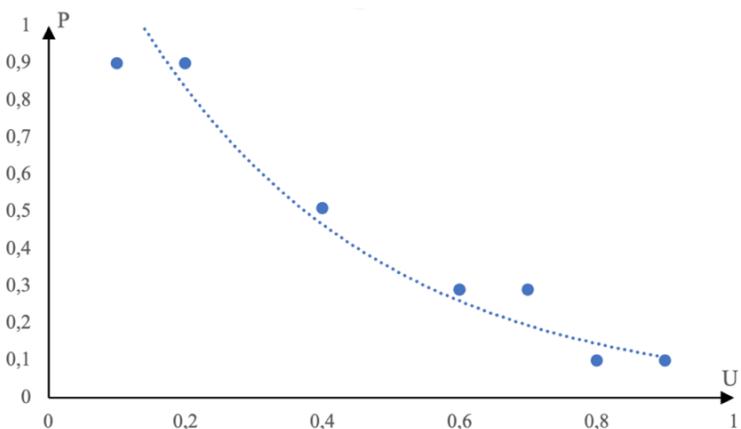


Рисунок 3. – Кривая приемлемого риска ЭППВ на ГДС

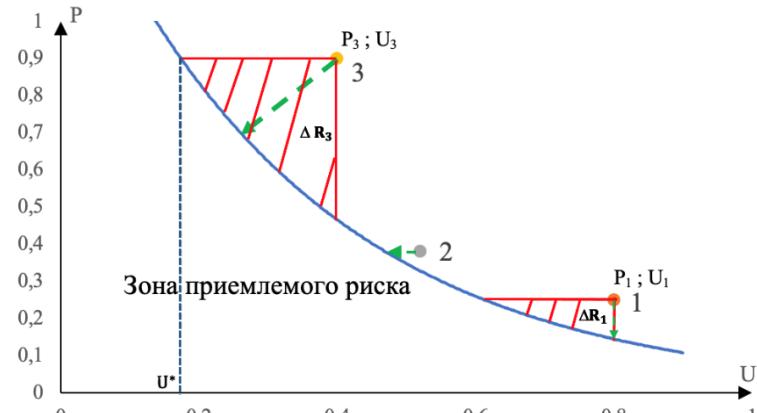


Рисунок 4. – График функции приемлемого риска с возможными траекториями снижения текущих рисков

После вычисления ΔR_n для каждого риска формируется список текущих значимых рисков, где риски будут расположены по уменьшению количества «избыточного» риска. Например, самым значимым на рисунке 4 является риск 3.

Снижение риска можно осуществить либо путем воздействия на вероятность его возникновения (снижение риска 1 на рис. 4), либо путем смягчения последствий от определенного риска, т.е. путем снижения ущерба (как это проиллюстрировано для риска 2 на рисунке 4). Кроме того, возможно использовать комбинированное воздействие, которое будет снижать и вероятность, и ущерб (снижение риска 3). При этом для риска 3 ни снижение ущерба, ни снижение вероятности его возникновения не являются достаточными для перемещения в зону приемлемого риска. Однако совместное использование данных управляемых воздействий приводит к тому, что риск становится приемлемым.

Формирование возможных управляемых воздействий для текущих значимых рисков. Определив ТЗР, необходимо для каждого из них уменьшить количество «избыточного» риска. Каждый риск возможно устранить одним или способами.

Для определения набора возможных способов устранения необходимо руководствоваться следующими основными критериями: стоимость реализации, надежность устранения риска, требовательность к ресурсам, время необходимое для реализации. Далее формируется ранжированный список возможных мер устранения каждого риска. Согласно вышеуказанным критериям определяется наиболее предпочтительный способ устранения ЭППВ, который будет находиться на 1-м месте по списку. Для определения способов устранения ТЗР и количества необходимых ресурсов требуется сформировать экспертную группу № 3, состоящую из представителей служб главного инженера, главного технолога, охраны труда, охраны окружающей среды.

Далее полученный список необходимо проанализировать на наличие ресурсов для реализации.

Анализ наличия ресурсов для реализации управляемых воздействий. Сформированный список возможных управляемых воздействий необходимо проанализировать на наличие у предприятия необходимых ресурсов. Алгоритм определения реализуемых управляемых воздействий представлен на рисунке 5.

Согласно данной схеме выбирается наиболее предпочтительное управляемое воздействие. Производится оценка на предмет наличия всех необходимых ресурсов для его реализации. Если необходимые ресурсы имеются, то данное УВ включается в список управляемых воздействий как способ устранения рассматриваемого риска. осуществляется переход к рассмотрению списка УВ для следующего риска. Если же наиболее предпочтительное УВ не может быть реализовано в связи с отсутствием какого-либо ресурса, анализируется возможность реализации следующих по списку УВ. В случае если ни одно из управляемых воздействий, входящих в список по устранению рассматриваемого риска, не представляется возможным реализовать в связи с отсутствием каких-либо ресурсов, то данный риск остается необработанным. Он включается в отдельный список и выдается поручение по поиску необходимых ресурсов для реализации наиболее предпочтительного (т.е. стоящего во главе списка) УВ для данного риска.

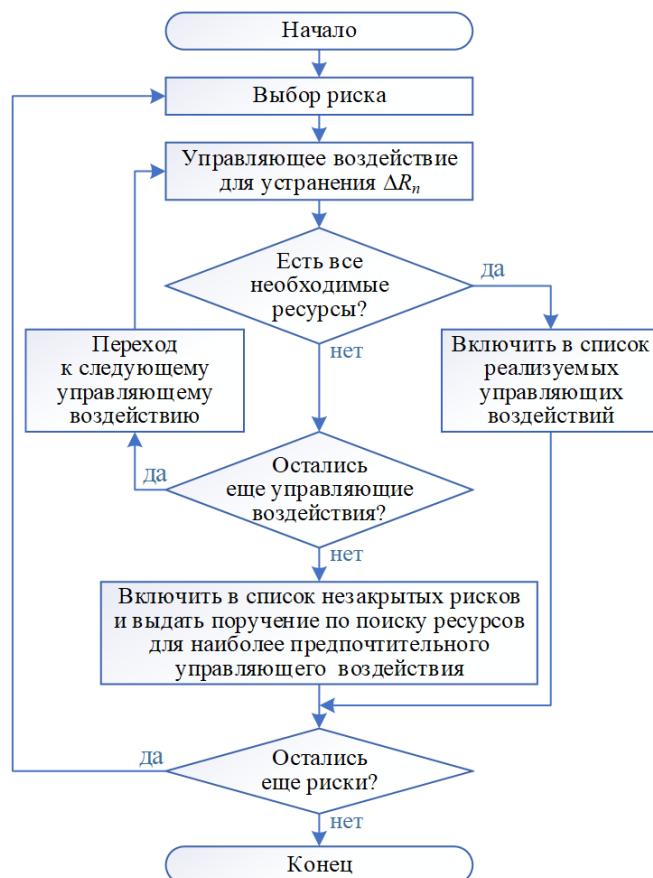


Рисунок 5. – Алгоритм определения УВ, реализация которых возможна с точки зрения обеспеченности ресурсами

Для реализации предложенного алгоритма необходимо сформировать экспертную группу № 4, состоящую из следующих специалистов: представителей финансового, кадрового блока, блока материально-технического обеспечения и т.д. (в соответствии со структурой каждого предприятия).

Заключение

В связи с ростом востребованности природного газа газодобывающим компаниям необходимо решать две противоположные задачи: с одной стороны, необходимо увеличивать объемы добычи; с другой стороны – снижать уровень негативного воздействия на экологию из-за различных происшествий, возникающих при эксплуатации газодобывающих скважин (**ГДС**). Для их предупреждения и недопущения необходимо учитывать большое количество факторов, значительная часть которых не имеет числовых оценок и часто оценивается экспертами в вербальной форме. Лицу, принимающему решения (**ЛПР**), трудно оперировать таким разнородным массивом информации, что часто приводит к принятию недостаточно обоснованных, а иногда неверных решений по снижению рисков ЧС, приводящих к негативным экологическим воздействиям (**НЭВ**), при газодобыче.

Изложенная в данной работе методика по управлению рисками ЧС, приводящих к НЭВ, при газодобыче предусматривает выполнение ряда этапов: построение кривой приемлемого риска (**КПР**), определение текущих значимых рисков, требующие немедленного устранения; определение эффективных управляющих воздействий, позволяющих снизить выявленные риски до приемлемых значений путем «обрыва» наиболее опасных цепочек событий. При выборе управляющих воздействий учитывается максимально полное множество факторов, таких как: наличие финансовых средств и времени, квалифицированного персонала, необходимого оборудования и т.п. Кроме этого, указанная методика позволяет ЛПР определить приоритетность проведения работ по снижению рисков ЧС, приводящих к НЭВ.

Таким образом, принятые ЛПР на основании предложенной методики решения позволяют эффективно прогнозировать риски ЧС, приводящих к НЭВ, и их последствия в процессе эксплуатации ГДС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Басова, Е.А. Особенности протекания крупных пожаров на объектах нефтегазового комплекса и методика снижения аварийной эмиссии CO₂ / Е.А. Басова, С.Г. Ивахнюк, Л.А. Королева, В.В. Семенов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2024. – Т. 8, № 3. – С. 325–336. – DOI: 10.33408/2519-237X.2024.8-3.325. – EDN: RWFTST.
2. Горленко, Н.В. Комплексная оценка экологических рисков объектов нефтегазодобычи / Н.В. Горленко, М.А. Мурзин, С.С. Тимофеева // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2020. – № 1. – С. 48–52. – DOI: 10.24411/0131-4270-2020-10110. – EDN: DCSZYA.
3. Панасенко, Н.Н. Техногенные риски строительства и эксплуатации нефтегазовых комплексов в акватории Каспийского моря / Н.Н. Панасенко, А.В. Синельщикова, П.В. Яковлев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2019. – № 4. – С. 46–59. – DOI: 10.24143/2073-1574-2019-4-46-59. – EDN: ZPOVJF.
4. Broderick, J.W. Environmental risk management and the role of environmental insurance / J.W. Broderick, D.R. Lavoie, A.J. Perel // Environmental Quality Management. – 2000. – Vol. 10, No. 1. – P. 3–12. – EDN: FMTYPH.
5. Bedford, T. Probabilistic risk analysis: foundations and methods / T. Bedford, R. Cooke. – Cambridge: Cambridge University Press, 2001. – 393 p.
6. Eckhard, R. Stanislav Ulam, John von Neumann and the Monte Carlo method / R. Eckhard // Los Alamos Science. – 1987. – № 15. – P. 131–137.
7. Abrahamsson, M. Treatment of uncertainty in risk based regulations and standards for risk analysis / M. Abrahamsson. – Lund: Lund university, 2000. – Report 3116. – 84 p. – URL: <https://portal.research.lu.se/ws/files/5392136/1259307.pdf> (date of access: 11.08.2025).
8. Amshinov, N. Assessment of risks of negative ecological impacts on the environment during operation of gas wells / N. Amshinov, O. Vybornova, I. Azhmukhamedov // Proc. of 12th Computer science online conference «Software Engineering Research in System Science» (CSOC 2023); ed. by R. Silhavy, P. Silhavy / Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 722. – Cham: Springer, 2023. – Vol. 1 – P. 712–722. – DOI: 10.1007/978-3-031-35311-6_68.

9. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях: 30 дек. 2001 г. № 195-ФЗ: принят Государственной Думой 20 дек. 2001 г.; одобр. Советом Федерации 26 дек. 2001 г. // Информационно-правовой портал Гарант.ру. – URL: <https://base.garant.ru/12125267> (дата обращения: 11.08.2025).
10. Методика исчисления размера вреда, причиненного атмосферному воздуху как компоненту природной среды: утв. приказом М-ва природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 28 янв. 2021 г. № 59 // Информационно-правовой портал Гарант.ру. – URL: <https://base.garant.ru/400289242> (дата обращения: 11.08.2025).
11. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами: утв. Роскомземом 10 нояб. 1993 г. и Минприроды России 18 нояб. 1993 г. // Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9033369> (дата обращения: 11.08.2025).
12. Методика исчисления размера ущерба от загрязнения подземных вод: утв. приказом Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды 11 февр. 1998 г. № 81 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901742368> (дата обращения: 11.08.2025).
13. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства: утв. приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 13 апр. 2009 г. № 87 // Информационно-правовой портал Гарант.ру. – URL: <https://base.garant.ru/12167365> (дата обращения: 11.08.2025).

Методика управления рисками чрезвычайных ситуаций, приводящих к негативным экологическим воздействиям при газодобыче

Methodology for managing the risks of situations leading to negative environmental impacts during gas production

Амишнов Ника Мерабович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева», кафедра информационной безопасности, преподаватель-исследователь

Адрес: ул. Татищева, 20а,
414056, г. Астрахань,
Южный федеральный округ, Россия
Email: amshinov.nika@yandex.ru
SPIN-код: 8808-2648

Nika M. Amshinov

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev», Chair of Information Security, Lecturer and Researcher

Address: Tatishchev str., 20a,
414056, Astrakhan,
Southern Federal District, Russia
Email: amshinov.nika@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-7107-1610

Ажмухамедов Искандар Маратович

доктор технических наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева», кафедра информационной безопасности, профессор

Адрес: ул. Татищева, 20а,
414056, г. Астрахань,
Южный федеральный округ, Россия
Email: aim_agtu@mail.ru
SPIN-код: 5598-9820

Iskandar M. Azhmukhamedov

Grand PhD in Technical Sciences, Professor
Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev», Chair of Information Security, Professor

Address: Tatishchev str., 20a,
414056, Astrakhan,
Southern Federal District, Russia
Email: aim_agtu@mail.ru
ORCID: 0000-0001-9058-123X

METHODOLOGY FOR MANAGING THE RISKS OF SITUATIONS LEADING TO NEGATIVE ENVIRONMENTAL IMPACTS DURING GAS PRODUCTION

Amshinov N.M., Azhmukhamedov I.M.

Purpose. Presentation of the developed methodology for managing the risks of emergency situations leading to negative environmental impacts during gas production, which allows for the selection of an effective set of measures to eliminate or reduce these risks.

Methods. The development of the presented methodology is based on the set-theoretical approach.

Findings. The stages of the developed methodology for managing the risks of emergency situations leading to negative environmental impacts during gas production are presented: construction of an acceptable risk curve; identification of significant environmental risks requiring immediate elimination; determination of effective management measures that can reduce risks to acceptable levels by «breaking» the most dangerous chains of emergency situations.

Application field of research. The application of the described methodology for reducing environmental risks during gas production will effectively reduce the company's risk level and mitigate the risks of emergency situations leading to negative environmental impacts during the operation of gas production wells.

Keywords: emergency risks, negative environmental impacts, decision support system, operation of gas wells, acceptable risk.

(The date of submitting: August 26, 2025)

REFERENCES

1. Basova E.A., Ivakhnyuk S.G., Koroleva L.A., Semenov V.V. Osobennosti protekaniya krupnykh pozharov na ob'ektakh neftegazovogo kompleksa i metodika snizheniya avariynoy emissii CO₂ [Particularities of the occurrence of large fires at oil and gas facilities and methods of reducing emergency CO₂ emissions]. *Journal of Civil Protection*, 2024. Vol. 8, No. 3. Pp. 325–336. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2024.8-3.325. EDN: RWFTST.
2. Gorlenko N.V., Murzin M.A., Timofeeva S. S. Kompleksnaya otsenka ekologicheskikh riskov ob'ektorov neftegazodobychi [Comprehensive assessment of environmental risks at oil and gas production facilities]. *Transport and Storage of Oil Products and Hydrocarbons*, 2020. No. 1. Pp. 48–52. (rus). DOI: 10.24411/0131-4270-2020-10110. EDN: DCSZYA.
3. Panasenko N.N., Sinel'shchikov A.V., Yakovlev P.V. Tekhnogennye riski stroitel'stva i eks-pluatatsii neftegazovykh kompleksov v akvatorii Kaspiyskogo morya [Technogenic risks of building and operation of oil and gas complexes in offshore area of the Caspian Sea]. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*, 2019. No. 4. Pp. 46–59. (rus). DOI: 10.24143/2073-1574-2019-4-46-59. EDN: ZPOVJF.
4. Broderick J.W., Lavoie D.R., Perel A.J. Environmental risk management and the role of environmental insurance. *Environmental Quality Management*, 2000. Vol. 10, No. 1. Pp. 3–12. EDN: FMTYPH.
5. Bedford T., Cooke R. *Probabilistic risk analysis: foundations and methods*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 393 p.
6. Eckhard R. Stanislav Ulam, John von Neumann and the Monte Carlo method. *Los Alamos Science*, 1987. No. 15. Pp. 131–137.
7. Abrahamsson M. *Treatment of uncertainty in risk based regulations and standards for risk analysis*. Lund: Lund university, 2000. Report 3116. 84 p. URL: <https://portal.research.lu.se/ws/files/5392136/1259307.pdf> (accessed: 11.08.2025)
8. Amshinov N., Vybornova O., Azhmukhamedov I. Assessment of risks of negative ecological impacts on the environment during operation of gas wells. *Proc. of 12th Computer science on-line conference «Software Engineering Research in System Science» (CSOC 2023)*; ed. by R. Silhavy, P. Silhavy. In the series «Lecture Notes in Networks and Systems» (vol. 722). Cham: Springer, 2023. Vol. 1 Pp. 712–722. DOI: 10.1007/978-3-031-35311-6_68.
9. *Kodeks Rossiyskoy Federatsii ob administrativnykh pravonarusheniakh* [Code of the Russian Federation on Administrative Offenses]: December 30, 2001 No. 195-FZ: adopted by the State Duma on December 20, 2001: approved by the Federation Council on December 26, 2001. Information and legal portal Garant.ru. URL: <https://base.garant.ru/12125267> (accessed: August 11, 2025).
10. *Metodika ischisleniya razmera vreda, prichinenного atmosfernomu vozdukhу kak komponentu prirodnoy sredы* [Methodology for calculating the amount of damage caused to atmospheric air as a component of the natural environment]: approved by order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the

Russian Federation dated January 28, 2021, No. 59. Information and legal portal Garant.ru. URL: <https://base.garant.ru/400289242> (accessed: August 11, 2025).

11. *Poryadok opredeleniya razmerov ushcherba ot zagryazneniya zemel' khimicheskimi veshchestvami* [The procedure for determining the amount of damage from land pollution with chemical substances]: approved by the Committee of the Russian Federation on Land Resources and Land Management on November 10, 1993 and the Ministry of Natural Resources of Russia on November 18, 1993. Electronic fund of legal and regulatory-technical information. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9033369> (accessed: August 11, 2025).
12. *Metodika ischisleniya razmera ushcherba ot zagryazneniya podzemnykh vod* [Methodology for calculating the amount of damage from groundwater pollution]: approved by order of the State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection dated February 11, 1998, No. 81. Electronic fund of legal and regulatory-technical information. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901742368> (accessed: August 11, 2025).
13. *Metodika ischisleniya razmera vreda, prichinennogo vodnym ob"ektam vsledstvie narusheniya vodnogo zakonodatel'stva* [Methodology for calculating the amount of damage caused to water bodies due to violation of water legislation]: approved by order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated April 13, 2009, No. 87. Information and legal portal Garant.ru. URL: <https://base.garant.ru/12167365> (accessed: August 11, 2025).

Copyright © 2025 Amshinov N.M., Azhmukhamedov I.M.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.