

Моделирование взаимодействия человека с природой и разработки месторождений полезных ископаемых с помощью математического аппарата теории игр

Modelling of interaction of the person with the nature and workings out of mineral deposits by means of a mathematical apparatus of the theory of games

Каренов Р.С.

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (e-mail: Karenov_r@inbox.ru)

Қазақстанда кен өндірісі қалдықтарымен қоршаған ортаны ластау мәселелерінің шиеленісуі себептері анықталған. Өндіріс барысындағы адамның табиғи ортамен бірізділікпен өзара әрекеттесу тәртібі ашылып көрсетілген. Адамның кен өнеркәсібі қызметінің қоршаған ортамен байланысын айқындауда ойындар теориясы принциптеріне негізделген модельді қолдануға болатындығы ұсынылған. Ойындар теориясы математикалық аппаратын қолдану арқылы пайдалы қазбалар кен орындарын игеру міндеттерін шешу алгоритмі алынған. Кен өнеркәсібінде экологиялық-экономикалық шешімдер қабылдауда ойындар теориясын пайдалану мүмкіндігінің кең ауқымдылығы көрсетілген.

The reasons of an aggravation of a problem of environmental contamination with a waste of mountain manufacture in Kazakhstan are allocated. The sequence of interaction of the person with an environment reveals during manufacture. At revealing of communication of mining activity of the person with environment it is recommended to be guided by model of interactions of the nature and the person, the theory of games based on principles. The algorithm of the decision of a problem of working out of mineral deposits with application of a mathematical apparatus of the theory of games is given. The wide range of possibilities of use of the theory of games is shown at acceptance of ekologo — economic decisions in a mining industry.

Разразившийся глобальный финансово-экономический кризис стал серьезным испытанием для мира. Но истинной катастрофой для всего человечества может обернуться назревающий экологический кризис. За последние 25–30 лет в мире использовано столько сырья, сколько за всю предшествующую историю человечества. Каждый год из недр планеты извлекается порядка 100 млрд. т различных минеральных ресурсов. В этой связи вопросы организации захоронения, складирования, обезвреживания и утилизации отходов стали занимать ведущее место среди природоохранных задач современности.

Решение проблемы накопления отходов производства и потребления является одним из приоритетных направлений Концепции экологической безопасности Казахстана. Обострение проблемы загрязнения окружающей среды отходами в республике вызвано рядом факторов: неэффективный механизм ответственности за природопользование, в том числе в сфере консервации и ликвидации накопленных отходов; отсутствие экономических стимулов для внедрения экологически чистых технологий обращения с отходами; нерациональное использование энергетических и природных ресурсов; неэффективная система контроля за деятельностью природопользователей; дефицит надежной информации о современных тенденциях выработки и размещения отходов в масштабе страны; отсутствие системы экологического просвещения и пропаганды чистых технологий по обращению с отходами на производстве и в быту.

Основной причиной прогрессирующего накопления отходов в стране является сырьевая направленность нашей экономики. В настоящее время на 450 полигонах страны накоплено более 22 млрд. т твердых отходов. Большая их часть расположена в Карагандинской (29,4 %), Восточно-Казахстанской (25,7 %), Костанайской (17 %) и Павлодарской (14,6 %) областях. Ежегодно в республике образуется до 20 млн. м³ бытовых, около 1 млрд. т промышленных, в том числе более 150 млн. т токсичных отходов [1; 60].

В сложившихся условиях остро ставится вопрос о невозможности поддерживать текущую модель развития, базирующуюся на хищническом разбазаривании ресурсов, уничтожении существующими методами производства экосистемы (загрязнение воды, земли и воздуха), повлекших непредсказуемое изменение климата и ставящих под угрозу выживание не только биоразнообразия растительного и животного мира, но и самого человека как биологического вида.

В настоящее время представители свыше 100 стран мира поставили подписи под Рамочной конвенцией ООН об изменении климата. В дополнение к этому основополагающему документу еще в декабре 1997 г. был подписан Киотский протокол, ратифицированный и в Казахстане. Следовательно, почти все развитые страны мира поставили задачу перехода к безопасному, чистому и неистощающемуся развитию.

Поскольку охрана окружающей среды, рациональное использование природных ресурсов и обеспечение экологической безопасности — одни из наиболее актуальных и глобальных проблем современности, их решение неразрывно связано с проблемой регулирования воздействия, оказываемого человеком на природу, с достижением равновесия в системе «общество-природа».

С одной стороны, окружающая среда и развитие общества тесно связаны между собой. С другой стороны, природа и общество руководствуются разными, не совпадающими друг с другом критериями. Поэтому результаты их деятельности часто бывают взаимно противоположными.

Там, где развитие отрасли входит в противоречие с состоянием природной среды, следует исходить из общего принципа недопустимости проектов «покорения» и радикальной перестройки природного окружения, всегда содержащих угрозу его разрушения и противоречащих принципу экологической безопасности.

Проектные предложения такого рода подлежат строгой тщательной экологической экспертизе. Главным критерием их допустимости являются оценки масштабов и вероятностей возникновения экологических нарушений. Недопустимы действия, не базирующиеся на четких представлениях характера и вероятности последствий, к которым может привести перестройка существующего природного механизма.

Комплекс мер, обеспечивающих должную экономическую эффективность и экологическую безопасность долгосрочного развития, нужно разрабатывать по всей сумме процессов воспроизводства промышленного потенциала отрасли либо предприятия (компании). Состав выделяемых процессов природопользования и характер подлежащих разработке мер должны отвечать следующему описанию взаимосвязей, этапов и характера работ и их исполнителей (рис. 1).

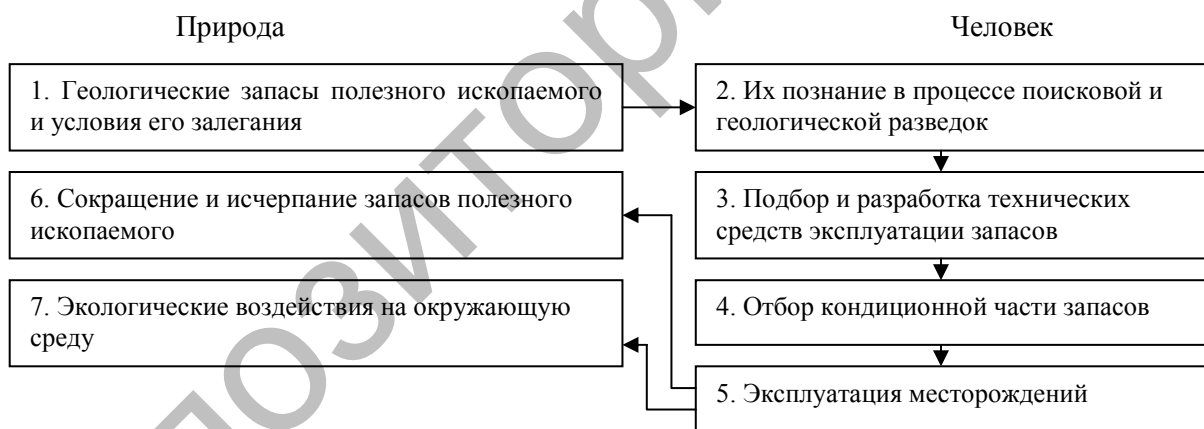


Рис. 1. Общая схема взаимодействий участников системы «человек – промышленное производство – природная среда» (данные работы [2; 33])

Схема представлена в виде технологически обусловленной цепочки последовательного взаимодействия человека и природы. Изображенное на схеме взаимодействие описывается применительно к горной промышленности следующим образом. Разведав природный ресурс (в данном случае — минеральные ресурсы соответствующих земельных участков) и оценив важнейшие его промышленно-экономические характеристики, человек мобилизует технические средства для его разработки и утилизации. В меру обеспеченности этими техническими средствами он отбирает для эксплуатации каждый раз лишь относительно лучшую часть имеющегося в его распределении природного ресурса.

В ходе последующих добычных процессов по извлечению природного запаса угля (руды) человек неизбежно воздействует на окружающую природную среду, истощая ее ресурс и оказывая другие неблагоприятные экологические воздействия. Чтобы уменьшить эти воздействия, он разрабатывает средозащитные мероприятия, с учетом которых и решаются общие вопросы эксплуатации месторождений.

В более детальном виде последовательность взаимодействий человека с природной средой в ходе производственной деятельности представлена на рисунке 2.

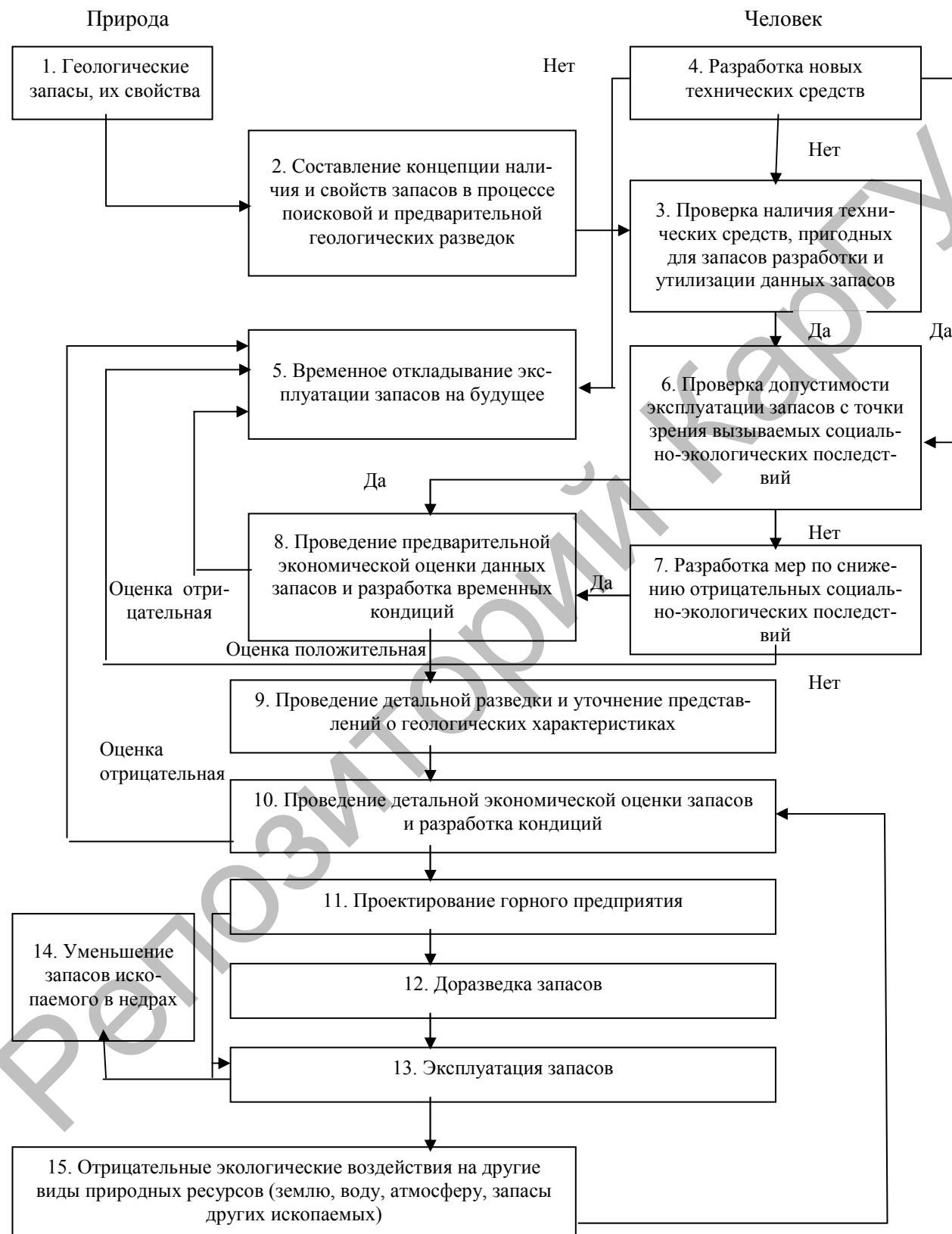


Рис. 2. Последовательность взаимодействия человека с природной средой в ходе производства (данные работы [2; 34])

Последовательные стадии производственных взаимодействий горно-промышленного производства с природой выглядят следующим образом:

- влияние природных факторов на производственную деятельность;
- ответные действия человека для снижения отрицательной компоненты этих влияний;
- влияние производственной деятельности на природную среду;
- влияние изменений природной среды на человека;
- действия человека для снижения неблагоприятных для него изменений природной среды.

Основные взаимодействия горно-промышленной деятельности человека с окружающей (природной) средой происходят через понятия «входных» и «выходных» производственных ресурсов.

С одной стороны, производство черпает из окружающей среды необходимые для него входные природные ресурсы, с другой — производственные процессы завершаются получением выходных ресурсов, поступающих в окружающую среду и зачастую для нее мало приемлемых.

Таким образом, связь горно-промышленной деятельности человека с окружающей средой выглядит обоюдной: завися от природы, человек одновременно сам оказывает на нее воздействие, а их результаты позднее вновь ощущает на себе.

При осуществлении рассматриваемых взаимодействий в ходе разработки программ рекомендуется руководствоваться моделью взаимодействий природы и человека, основанной на принципах теории игр [3–5].

Теория игр является математической теорией конфликтных ситуаций. Дело в том, что при решении экономических задач часто приходится анализировать ситуации, в которых сталкиваются интересы двух или более конкурирующих сторон, преследующих различные цели; это особенно характерно в условиях рыночной экономики. Такого рода ситуации называются конфликтными.

Чтобы проанализировать конфликтную ситуацию по ее математической модели, ситуацию необходимо упростить, учтя лишь важнейшие факторы, существенно влияющие на ход конфликта. Отсюда игра — это упрощенная математическая модель конфликтной ситуации, отличающаяся от реального конфликта тем, что ведется по определенным правилам. Поэтому можно сказать, что игра — это совокупность правил, определяющих возможные действия (чистые стратегии) участников игры. Суть игры в том, что каждый из участников принимает такие решения в развивающейся конфликтной ситуации, которые, как он полагает, могут обеспечить ему наилучший исход. Исход игры — это значение некоторой функции, называемой функцией выигрыша (платежной функцией), которая может даваться либо аналитически (выражением), либо таблично (матрицей).

Величина выигрыша зависит от стратегии, применяемой игроком. Стратегия — это совокупность правил, однозначно определяющих последовательность действий игрока в каждой конкретной ситуации, складывающейся в процессе игры. Всякая игра состоит из отдельных партий. Партией называют каждый вариант реализации игры определенным образом. В свою очередь, в партии игроки совершают конкретные ходы. Ход — это выбор и реализация игроком одного из допустимых вариантов поведения. Ходы бывают личные и случайные. При личном ходе игрок самостоятельно и осознанно выбирает и реализует ту или иную чистую стратегию. При случайном ходе выбор чистой стратегии производится с использованием какого-либо механизма случайного выбора, например, с применением таблицы случайных чисел.

Важными являются понятия оптимальной стратегии, цены игры, среднего выигрыша. Эти понятия находят отражение в определении решения игры: стратегии P^* и Q^* первого и второго игрока соответственно называются их оптимальными стратегиями, а число V — ценой игры, если для любых стратегий P первого игрока и любых стратегий Q второго игрока выполняются неравенства

$$M(P, Q^*) \leq V \leq M(P^*, Q), \quad (1)$$

где $M(P, Q)$ означает математическое ожидание выигрыша (средний выигрыш) первого игрока, если первым и вторым игроками избраны соответственно стратегии P и Q .

Из неравенств (1) следует, в частности, что $V = M(P^*, Q^*)$, т.е. цена игры равна математическому ожиданию выигрыша первого игрока, если оба игрока выберут оптимальные для себя стратегии [6; 327–328].

Конфликтные ситуации, встречающиеся в практике, порождают различные виды игр. Классифицировать игры можно по разным признакам. Различают, например, игры по количеству игроков. В игре может участвовать любое конечное число игроков. Если при этом игроки объединяются, напри-

мер, в две группы, преследующие противоположные цели, то имеет место игра двух «лиц» (парная игра). В зависимости от количества стратегий в игре они делятся на конечные или бесконечные. В зависимости от взаимоотношений участников различают игры бескоалиционные (участники не имеют права заключать соглашения), или некооперативные, и коалиционные, или кооперативные. По характеру выигрышей игры делятся на игры с нулевой и ненулевой суммой. В первых общий капитал игроков не меняется, а лишь перераспределяется в ходе игры, в связи с чем сумма выигрышей равна нулю (проигрыш принимается как отрицательный выигрыш). В играх с ненулевой суммой сумма выигрышей отлична от нуля. По виду функции выигрыша игры делятся на матричные, биматричные, непрерывные, выпуклые, сепарабельные и др. В матричных играх (при двух участниках) выигрыши первого игрока задаются матрицей, в биматричных выигрыши каждого игрока задаются своей матрицей. Другие типы таких игр различаются видом аналитического выражения платежной функции. По количеству ходов игры делятся на однокходовые (выигрыш распределяется после одного хода каждого игрока) и многоходовые (выигрыш распределяется после нескольких ходов). Многоходовые игры, в свою очередь, делятся на позиционные, стохастические, дифференциальные и др. В зависимости от объема имеющейся информации различают игры с полной и неполной информацией [7; 59].

Для формулировки задачи в игровой постановке необходимо реализовать следующие этапы [8; 138].

1-й этап. Определение участников игры (игроков).

На этом этапе анализируется условие задачи и делается попытка выделить участников игры, а также определить суть конфликта, который возникает между ними.

2-й этап. Определение стратегий игроков.

Определение стратегий игроков — процесс во многом неформальный. Чтобы выделить стратегии, необходимо сформулировать конечные цели игроков и найти пути достижения этих целей. В матричных играх с нулевой суммой цели игроков прямо противоположны.

3-й этап. Определение выигрышей игроков при использовании каждой стратегии.

Выигрыши (платежи) обязательно должны иметь количественное выражение. Выигрыши являются показателями степени достижения целей соответствующего игрока. Выигрыши определяются при сочетании различных стратегий игроков.

4-й этап. Представление матрицы выигрышей (платежей) в нормальной форме.

Представление осуществляется путем внесения найденных значений выигрышей (платежей) в матрицу.

Теория игр впервые была систематически изложена Дж. фон Нейманом и О. Моргенштерном в 1944 г., хотя отдельные результаты были опубликованы еще в 20-х годах прошлого столетия. Нейман и Моргенштерн написали оригинальную книгу [9], которая содержит главным образом экономические примеры, поскольку экономическому конфликту легче всего придать численную форму. Во время Второй мировой войны и сразу после нее теорией игр серьезно заинтересовались военные, которые увидели в ней аппарат для исследования стратегических решений. Затем главное внимание снова стало уделяться экономическим проблемам. Сейчас ведется большая работа, направленная на расширение сферы применения теории игр [10–12].

Известно, что в реальных конфликтных ситуациях каждый из игроков сознательно стремится найти наилучшее для себя поведение, имея общее представление о множестве допустимых для партнера ответных действий, но не ведая о том, какое же конкретное решение будет выбрано им в данный момент. В этом проявляется в равной мере неопределенность ситуации для каждого из партнеров. Игры, в которых участники стремятся добиться для себя наилучшего результата, сознательно выбирая допустимые правилами игры способы действий, называют иногда стратегическими [13; 7–8].

Однако в экономической практике нередко приходится формализовать (моделировать) ситуации, придавая им игровую схему, в которых один из участников безразличен к результату игры. Такие игры называют играми с природой, понимая под термином «природа» всю совокупность внешних обстоятельств, в которых сознательному игроку (его называют иногда «статистиком»), а соответствующую игру — статистической) приходится принимать решение.

В играх с природой степень неопределенности для сознательного игрока (статистика) возрастает: если в стратегических играх каждый из участников постоянно ожидает наихудшего для себя ответного действия партнера, то в статистических играх «природа», будучи индифферентной в отношении выигрыша инстанцией, может предпринимать и такие ответные действия (будем говорить: реализовать такие состояния), которые ей совершенно невыгодны, а выгодны сознательному игроку (статистику) [7; 60].

В качестве классического примера игры с природой можно рассматривать задачу разработки месторождений полезных ископаемых. Допустим, что в некотором районе нашей республики были открыты новые месторождения минерального сырья (например, угля, урана или руды) и нужно решить, разрабатывать их или нет. Разработка требует строительства шахт. Решение зависит от эффективности месторождений, которая, в свою очередь, зависит от глубины залегания месторождений (разработка глубоких залежей неэффективна).

Пусть множеством решений будет $A = \{a_1, a_2\}$, где a_1 соответствует решению о разработке месторождения, а a_2 — решению об отказе от разработки. Отметим, что геологические исследования, приведшие к открытию этого месторождения, не дали однозначной геологической карты.

Пусть неизвестное истинное расположение пластов будет соответствующим состоянием природы. Множество таких состояний природы обозначим через $\Omega = \{\theta_1, \theta_2, \theta_3\}$, где θ_1 означает, что месторождения находятся на благоприятной для разработки малой глубине; θ_2 означает, что пласты располагаются как на большой, так и на малой глубине; наконец, θ_3 означает, что месторождения расположены в основном на большой глубине. Расчет экономической эффективности разработки месторождений для различной глубины залегания пластов дал следующие показатели эффективности $W(\theta, a)$ решений:

$A \backslash \Omega$	θ_1	θ_2	θ_3
a_1	100	30	-30
a_2	0	0	0

Отрицательное значение экономической эффективности (-30) означает, что разработка глубоких пластов неэффективна и дает убыток в размере 30 млн. долл. США.

Отказ от разработки связан с нулевой эффективностью. Для рассматриваемой задачи можно уменьшить полную неопределенность и с помощью дополнительной статистической информации преобразовать ее в задачу принятия решения в условиях риска. Действительно, перед принятием решения можно осуществить некоторые дополнительные геологические исследования (например, поисковое бурение или сейсморазведка), которые помогут приблизительно определить среднюю глубину залегания пластов. Затраты такого поискового бурения в нескольких местах снизили бы экономическую эффективность решения о разработке месторождения, но достигаемое при этом снижение неопределенности состояния природы θ оказывается оправданным в статистических задачах принятия решений.

Допустим, что результаты дополнительного эксперимента образуют множество $X = \{x_1, x_2, x_3\}$, где x_1 означает, что дополнительные поисковые исследования показали, что средняя глубина пластов ископаемых мала; x_2 соответствует умеренной (не слишком высокой и не слишком низкой) средней глубине залегания пластов; наконец, x_3 соответствует большой глубине залегания пластов минералов. Понятно, что с учетом сложной геологической структуры пластов эти поисковые исследования не могут дать безошибочных результатов. Предположим, что, принимая во внимание опыт группы геологов, проводивших пробную добычу, можно оценить условные вероятности получения отдельных результатов $x_i \in X$ для соответствующих состояний природы $\theta \in \Omega$:

$$\begin{aligned}
 P\{x_1|\theta_1\} &= 0,7; & P\{x_1|\theta_2\} &= 0,3; & P\{x_1|\theta_3\} &= 0,1; \\
 P\{x_2|\theta_1\} &= 0,2; & P\{x_2|\theta_2\} &= 0,5; & P\{x_2|\theta_3\} &= 0,2; \\
 P\{x_3|\theta_1\} &= 0,1; & P\{x_3|\theta_2\} &= 0,2; & P\{x_3|\theta_3\} &= 0,7.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Благодаря дополнительной информации можно преобразовать задачу принятия решения в условиях полной неопределенности в задачу в условиях риска. Другими словами, стратегическую игру (A, Ω, W) можно заменить статистической игрой (Ω, D, R) , где Ω будет множеством стратегий игрока I, D — множеством стратегий игрока II (статистика), т.е. множеством функций решений d , отображающих множество X в множество решений A . Функцией платежей в этой статистической игре

будет обычная функция риска $R(\theta, d) = E[L(\theta, a)]$, где функция потерь принимает значения, равные $L(\theta, a) = -W(\theta, a)$. Эти значения приводятся в таблице:

$\theta \backslash a$	a_1	a_2
θ_1	-100	0
θ_2	-30	0
θ_3	30	0

Поскольку множество результатов эксперимента X включает три элемента, а множество решений A содержит два элемента, число нерандомизированных функций решений $d \in D$ составит $2^3=8$. Выпишем их в таблицу:

$x \backslash d$	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8
x_1	a_1	a_1	a_1	a_2	a_2	a_2	a_1	a_2
x_2	a_1	a_1	a_2	a_1	a_2	a_1	a_2	a_2
x_3	a_1	a_2	a_1	a_1	a_1	a_2	a_2	a_2

Учитывая приведенные ранее распределения вероятностей результатов $x \in X$ для отдельных состояний природы, можно рассчитать для функций решений $d \in D$ средние значения функции потерь $L(\theta, a)$ или значения функции риска $R(\theta, d)$. Выпишем эти значения в таблицу:

$\theta \backslash d$	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8
θ_1	-100	-90	-80	-30	-10	-20	-70	0
θ_2	-30	-24	-15	-21	-6	-15	-9	0
θ_3	30	9	24	27	21	6	3	0

Отметим, что эта матрица имеет седловую точку, равную нулю, что означает, что минимаксной функцией решения будет d_8 . Очевидно, что это не будет разумной стратегией, так как с учетом чрезмерной осторожности она всегда предполагает принятие решения a_2 , т.е. не разрабатывать месторождение. Оптимальной стратегией статистика, представляющего добывающую промышленность, будет байесовская функция решения. На основе исходных геологических исследований, приведших к открытию месторождения, или с помощью дополнительных исследований можно принять разумное априорное распределение состояний природы ξ . Предположим, что на основе геологических исследований можно принять следующее распределение ξ :

$$P(\theta_1) = 0,2; \quad P(\theta_2) = 0,5; \quad P(\theta_3) = 0,3. \tag{3}$$

Оптимальную байесовскую функцию решения можно определить, минимизируя байесовские риски с учетом априорного распределения $r(\xi, d)$. Вычисляя байесовские риски $r(\xi, d)$, получим:

$$\begin{aligned} r(\xi, d_1) &= (-100) \cdot 0,2 + (-30) \cdot 0,5 + 30 \cdot 0,3 = -26; \\ r(\xi, d_2) &= (-90) \cdot 0,2 + (-24) \cdot 0,5 + 9 \cdot 0,3 = -27,3; \\ r(\xi, d_3) &= -16,3; \quad r(\xi, d_6) = -9,7; \\ r(\xi, d_4) &= -8,4; \quad r(\xi, d_7) = -17,6; \\ r(\xi, d_5) &= 1,3; \quad r(\xi, d_8) = 0. \end{aligned} \tag{4}$$

Сравнивая значения байесовского риска, устанавливаем, что

$$r(\xi, d_2) = -27,3 = \min_{d \in D} r(\xi, d). \tag{5}$$

Полученный результат означает, что оптимальной байесовской стратегией статистика в статистической игре (Ω, D, R) , моделирующей проблему эксплуатации обнаруженных месторождений, будет функция решения d_2 , определяемая как $d_2(x_1) = a_1; d_2(x_2) = a_1$ и $d_2(x_3) = a_2$.

Следовательно, оптимальной стратегией руководства добывающей промышленности будет решение a_1 об эксплуатации новых месторождений, когда дополнительные геологические исследования дают результат x_1 (малая глубина залегания пластов) или x_2 (в среднем умеренная глубина). Если, однако, геологические исследования дают результат x_3 (в среднем глубокое залегание пластов), то оптимальной стратегией будет решение a_2 о неразработке новых месторождений ввиду ее экономической неэффективности.

Обобщая сказанное выше применительно к связи горно-промышленной деятельности человека с окружающей средой, можно отметить, что каждый из двух отмеченных участников «игры» последовательно реагирует на действия другого ответным ходом, целью которого каждый раз является погашение неблагоприятных для тебя результатов очередных действий партнера.

Такая модель взаимодействий выглядит следующим образом:

- наличные природные условия оказывают влияние на технико-экономические показатели горного предприятия;
- человек предпринимает ответные действия для снижения отрицательной части этих влияний;
- добычные работы горного предприятия оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую природную среду;
- эти изменения природной среды, в свою очередь, отрицательно сказываются на здоровье и качестве жизни человека;
- человек изыскивает средства по снижению либо недопущению этих неблагоприятных для него изменений природной среды.

Таким образом, связь горно-промышленной деятельности человека с окружающей средой рассматривается как их обоюдное активное взаимодействие: будучи зависимым в своей деятельности от природы, человек одновременно оказывает на нее свое воздействие, а его результаты позднее вновь ощущает на себе.

Данная методологическая схема служит полезным инструментом выявления и устранения возможных «горячих точек» программы и действий по недопущению экологически опасных ситуаций [2; 33].

Ключевым требованием понятия «экологическая безопасность» является сохранение устойчиво безопасного состояния системы на протяжении достаточно длительного перспективного периода. При этом важным условием устойчивой экологической безопасности и экономической эффективности производства является разумное сочетание интересов нынешнего и последующих поколений человечества.

Нынешнее поколение не вправе, экономя средства, необходимые для борьбы с отходами и прочими загрязнителями воздушного и водного бассейнов, оставить своим наследникам за пределами загрязненные воздух и воду. Не вправе оно и допускать неограниченно большие потери запасов минерального сырья в недрах.

Отмеченное выше особенно актуально для отраслей минерально-сырьевого комплекса.

References

1. *Umantsev B., Stepanova E., Alderzin M.* Kompleksnoe a waste management // The Industry of Kazakhstan. — 2004. — № 3 (24). — P. 60–65.
2. *Karibaev E.* Model of interaction of the person with the nature // The Industry of Kazakhstan. — 2008. — № 5 (50). — P. 32–34.
3. *Trojanovsky V.M.* Mathematical modeling in management: the Manual. — M.: The Russian Business Literature, 1999. — 240 p.
4. *Quan G.* The theory of games: the Lane with English. — M.: Mir, 1971. — 232 p.
5. *Parthasarathi T., Raghavan T.* Some questions of the theory of games of two persons: The Lane with English. — M.: Mir, 1974. — 296 p.
6. *Fedoseyev V.V., Garmash A.N., Dajitbegov D.M., etc.* Economic-mathematical methods and applied models: The Manual. — M.: UNITI, 1999. — 391 p.
7. *Holod N.I., Smiths A.B., Zhihar J.N., etc.* Economic-mathematical methods and models: the Manual. — Minsk: БГЭУ, 1999. — 413 p.
8. *Monks A.B.* Mathematical methods of the analysis of economy. — SPb.: Peter, 2002. — 176 p.
9. *Dzh. fon Neumann, O. Morgenshtern.* The theory of games and economic behavior: the Lane with English. — M.: The main edition of the physical and mathematical literature of publishing house «NAUKA», 1970. — 708 p.

10. Zamkov O.O., Tolstopjatenko A.V., Cheremnykh U.N. Mathematical methods in economy: the Textbook. — M.: The Moscow State University of M.V. Lomonosova, Publishing house, «DIS», 1997. — 368 p.
11. Germeyer U.B. Game with not opposite interests. — M.: The main edition of the physical and mathematical literature of publishing house. «NAUKA», 1976. — 328 p.
12. Ljus R.D., Rajfa H. Games and the decision. Introduction and the critical review: the Lane with English. — M.: Publishing house of the Foreign Literature, 1961. — 643 p.
13. Gren E. Statistic games and their application: the Lane with польск. — M.: Statistics., 1975. — 176 p.

УДК 532.5:519.8

Восстановление параметров нефтяного пласта для задачи многофазной фильтрации

Recovery of oil stratum parameters for multiphase filtration problem

Мукимбеков М.Ж.¹, Оралбекова Ж.О.²

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы;

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы
(e-mail: m_mukim@fromru.com, oralbekova@bk.ru)

Қабат ұңғымаларының жеке нүктелерінде параметрлердің берілген өлшенген шамаларына сүйене отырып, қабат параметрлерін қалпына келтіру есебі үлкен қызығушылық танытып отыр. Мақалада мұнай қабатының параметрлерін табу есебі, дәлірек айтқанда, Маскет-Леверетт моделінің екіфазалық сүзілу есебі үшін өтімділік және қуыстық коэффициенттерін табу есебі қарастырылды. Қабаттың сүзілу сипаттамаларының мәліметтерін анықтауға арналған есептеу алгоритмі ұсынылды.

The important interest is the problems of stratum parameters recovery by given measurable values in separate points, in wells of stratum. In this work the problem of find of oil stratum parameters, namely coefficient of permeability and porosity for two-phase filtration of Masket-Leverett model is considered. Numerical algorithm for definition of given filtration characteristics is offered.

Постановка задачи. Для принятия решения по эффективной разработке месторождения необходимо знать состояние комплекса геолого-промысловых данных, к которым относятся такие параметры, как проницаемость, гидропроводность пласта. Поэтому большой интерес представляют задачи восстановления данных параметров исходя из их заданных измеренных величин в отдельных точках пласта, на скважинах пласта и задачи по обработке и анализу геолого-промысловых данных нефтяного месторождения [1–6].

Возросшие возможности вычислительной техники позволяют удешевить и ускорить проведение экспериментальных исследований и автоматизировать исследуемый процесс. Поэтому разработка эффективных алгоритмов решения задач восстановления параметров нефтяных залежей и задач по обработке и анализу геолого-промысловых данных, позволяющих значительно упростить инженерные экспериментальные исследования и повысить точность получаемых результатов, является актуальной на сегодняшний день.

Учитывая сказанное выше, в данной работе рассматриваются задачи по восстановлению геолого-физических параметров пласта, такие как проницаемость, пористость.

Приведем физическую постановку одномерной двухфазной задачи вытеснения нефти водой (модель Маскета-Леверетта).

Имеется нефтяной пласт длины l , на левом конце которого $x=0$ находится нагнетательная скважина, а на правом конце $x=l$ — добывающая скважина. На нагнетательной скважине закачиваем воду (рис.). Считаем две фазы — вода и нефть — несжимаемыми. Процесс описывает вытеснение нефти водой или, как говорят, происходит фронтальное вытеснение нефти водой из пласта. Будем считать давления нефти и воды неравными друг другу. Такая модель с учетом капиллярных сил называется моделью Маскета-Леверетта. Она лежит в основе гидродинамического анализа разработки