

УДК 622.013.3(045)(476)

## О ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОТЕНЦИАЛЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Казаченко Г.В., Басалай Г.А. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь)

*В работе показан возможный способ оценки производственного потенциала и его основных показателей. Построена математическая модель развития региона, представленного комплексом компаний, осуществляющих добычу и переработку полезных ископаемых. Изучены условия роста производственного потенциала бассейна по добыче и переработке полезных ископаемых для ряда ситуаций и составлены соотношения между параметрами, влияющими на производственный потенциал.*

*Ключевые слова: производственный потенциал, добыча полезных ископаемых, производительность месторождения.*

### Введение

В Республике Беларусь добыча полезных ископаемых ведется во всех административных областях. Но масштабы извлечения различны по объему, экономическим результатам, различны и способы добычи. Разработка каждого месторождения (калийные соли, каменные соли, торф, нефть и т.п.) имеет технологические, экономические, социальные и другие особенности и оказывает влияние на экономику района, в котором она ведется. В этом отношении особое положение занимает разработка Старобинского месторождения калийных солей. Технологическое обеспечение ОАО «Беларуськалий», которое ведет добычу и переработку калийных руд, в настоящее время осуществляется рядом компаний, расположенных как в г. Солигорске, так и в других регионах Беларуси. Эти компании по приблизительным оценкам обеспечивают работой более десяти тысяч человек. Старобинское месторождение калийных солей не единственное в стране. В настоящее время начаты работы по разработке Петриковского месторождения в Гомельской области, а в перспективе – разработка Нежинского (Любаньский р-н) и Октябрьского месторождений. Разработка этих месторождений, прежде всего, обусловлена экономическими причинами, имеющими значение для всей страны. Главной из этих причин является расширяющиеся поставки калийных удобрений на мировые рынки. Внутренние потребности в таких удобрениях могут быть обеспечены одним из пяти действующих в объединении «Беларуськалий» рудников, расположенных на Старобинском месторождении. Мировой рынок калийных удобрений, где Беларусь является одним из лидеров, расширяется, поэтому освоение новых месторождений калийных руд и расширение производства калийных удобрений экономически оправдано и перспективно. Вместе с тем последствия добычи и переработки калийных руд с точки зрения экологической безопасности не всегда могут быть предусмотрены и, тем более, предупреждены.

### Исследование и его результаты

Разработка моделей развития регионов, где добыча полезных ископаемых и их переработка составляет основную часть экономики, представляет важную научную и прикладную задачи. Еще более существенной проблемой является исследование таких моделей и их верификация в связи с недостаточностью информации об объектах иссле-

дования. Поэтому, нецелесообразно формировать математическую модель региона, охватывающую все стороны его жизни. Более рациональным представляется разработка и исследование комплекса моделей, и последующее обобщение результатов исследования этих моделей. Если поставить задачу прогнозирования развития региона на основе комплекса компаний, осуществляющих добычу и переработку полезного ископаемого, имеющегося в этом регионе, то, прежде всего, необходимо обозначить цель исследования и сформировать математическую модель для решения задачи. Эту модель можно построить путем формирования соотношений между рядом величин, характеризующих процесс функционирования бассейна по добыче и переработке полезного ископаемого. В качестве величин, определяющих процесс функционирования бассейна, можно выбрать:

$B$  – запасы полезного ископаемого в бассейне;

$B_i$  – запасы полезного ископаемого месторождения;

$B_0$  – начальные запасы полезного ископаемого в бассейне;

$B_{i0}$  – начальные запасы полезного ископаемого месторождения;

$G$  – извлеченные запасы бассейна;

$G_i$  – извлеченные запасы месторождения;

$Q$  – производительность бассейна по извлечению полезного ископаемого;

$Q_i$  – производительность месторождения по извлечению полезного ископаемого.

Запишем некоторые очевидные соотношения:

$$B = \sum_1^n B_i; \quad B = B_0 - G; \quad B_i = B_{i0} - G_i;$$

$$G = \int_0^t Q dt; \quad G_i = \int_0^t Q_i dt; \quad Q = \frac{dG}{dt}; \quad Q_i = \frac{dG_i}{dt}, \quad (1)$$

где  $t$  – текущее время.

Эти соотношения характеризуют состояние бассейна добычи и переработки полезного ископаемого в настоящее время, а также в некоторой степени динамику его развития за период, предшествующий настоящему времени (рисунок 1).

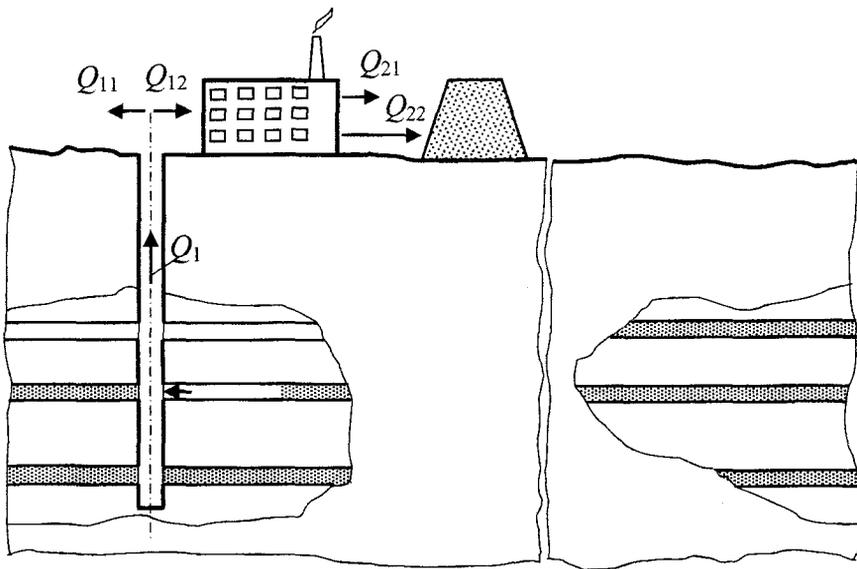


Рисунок 1. – Схема бассейна добычи полезного ископаемого

Рассматривая перспективы развития бассейна с возможностью сохранения и роста производственных и экономических характеристик, целесообразно оценить его потенциал. Под потенциалом бассейна или одной из горно-перерабатывающих компаний, ведущих разработку месторождений, понимается производственный потенциал, то есть некоторый комплекс показателей, характеризующих производственные, интеллектуальные и экономические возможности компании в конкретных условиях ее деятельности. К числу таких факторов, в первую очередь, относятся запасы полезного ископаемого, производственные мощности, возможность привлечения и подготовки специалистов, а также экономические результаты и экологические последствия добычи полезного ископаемого и его переработки.

Таким образом, производственный потенциал можно представить в виде некоторой функции этих характеристик:

$$P = f_p (B, M, L, \Phi), \quad (2)$$

где  $P$  – производственный потенциал;

$B$  – запасы полезного ископаемого;

$M$  – производственные мощности (техника и технологии);

$L$  – производственный потенциал и менеджмент;

$\Phi$  – финансовые возможности бассейна с учетом затрат на ликвидацию и предупреждение экологических последствий.

Запасы полезного ископаемого в бассейне могут не только уменьшаться [1, 2], но также и возрастать за счет открытия новых месторождений. Далее считаем, разведка в бассейне завершена, и запасы полезного ископаемого только уменьшаются.

Производственные мощности включают два комплекса технологий и используемой техники: комплекс подготовки месторождений и добычи полезного ископаемого (выемка и первичный транспорт), комплекс переработки руды (обогащение, складирование, отгрузка). Эти комплексы в целом определяют производственные возможности бассейна по добыче и переработке полезного ископаемого, т.е. с ними напрямую связана теоретическая производительность бассейна. В первом приближении эту связь можно считать линейной [3, 4].

Производственный и управляющий персонал также непосредственно оказывает влияние на все составляющие производственного потенциала за исключением природных запасов полезного ископаемого. Расчет качественных и количественных характеристик персонала – наиболее сложная и едва ли объективно решаемая задача. Тем не менее, в рамках региона, где расположен бассейн, оценка качества производственного персонала может быть осуществлена сопоставлением уровня заработных плат в регионе. Финансовые возможности добывающих и перерабатывающих компаний определим с помощью внутренних (собственных) и внешних инвестиций, выделив в издержках производства отдельно экологический ущерб (затраты на устранение вредных экологических последствий деятельности горнодобывающих и перерабатывающих компаний).

Тогда финансовые возможности можно определить выражением:

$$\Phi = \Phi_1 - \Phi_2 - \Phi_3 + \Phi_4, \quad (3)$$

где  $\Phi_1$  – общий доход от добычи и переработки полезного ископаемого в прогнозируемом периоде;

$\Phi_2$  – издержки производства;

$\Phi_3$  – затраты на ликвидацию и предотвращение экологических последствий добычи и переработки полезного ископаемого;

$\Phi_4$  – инвестиции.

Конечно, наиболее интересными являются задачи прогнозирования развития бассейна на некоторый период. Подобные задачи нельзя считать полностью определенными. Это обусловлено тем, что их решение определяется не только начальными условиями (производственным потенциалом в настоящее время), но и целым рядом показателей этого потенциала, которые являются не всегда предсказуемыми и, в этом смысле, случайными. Мало того, характеристики этих показателей могут быть найдены лишь приближенно путем обработки статистических данных о функционировании бассейна за период от начала добычи до настоящего времени.

Полученные таким образом данные можно с некоторой степенью вероятности экстраполировать и на прогнозируемый период времени.

Если считать, что в прогнозируемом периоде цены остаются постоянными, то общий доход определяется соотношением:

$$\Phi_1 = C_1 \cdot G_{11} + C_2 \cdot G_{21}, \quad (4)$$

где  $C_1$  – цена единицы руды, если руда продается;

$C_2$  – цена единицы продуктов переработки;

$G_{11}$  – объем продаваемой руды;

$G_{21}$  – объем продаваемых продуктов переработки.

Объем полезного ископаемого  $G_{11}$ , который может быть реализован без переработки, может появиться в том случае, когда мощности по добыче превышают мощности переработки и, кроме того, есть спрос на руду. Такая ситуация маловероятна, но если в бассейне работают несколько компаний, то это может иметь место для каких-то отдельных компаний.

Объем конечного продукта для реализации:

$$G_{21} = (G_1 - G_{11}) K_u, \quad (5)$$

где  $K_u$  – коэффициент извлечения конечного продукта из руды.

Издержки производства  $\Phi_2$  зависят от объемов добычи и переработки полезного ископаемого, т.е.  $\Phi_2$  можно считать некоторой функцией  $\Phi_1$  и ряда других факторов, влияющих на производственный потенциал. В первом приближении будем считать:

$$\Phi_2 = K_\phi \cdot \Phi_1, \quad (6)$$

где  $K_\phi$  – коэффициент пропорциональности, определяющий величину  $\Phi_2$  в зависимости от  $\Phi_1$  в прогнозируемом периоде.

Необходимо обратить внимание на то, что издержки производства обычно растут с течением времени, так как обычно сначала извлекается та часть полезного ископаемого, добыча которого менее затратна. Поэтому коэффициент  $K_\phi$  с течением времени возрастает. Вместе с тем новые технические средства и технологии могут его снижать.

Затраты на ликвидацию и предотвращение вредных экологических последствий производства зависят от величины отходов добычи полезного ископаемого в прогнозируемом и предыдущих периодах. При линейных зависимостях между  $\Phi_3$  и этими величинами можно записать:

$$\Phi_3 = K_{s1} \cdot G_1 + K_{s2} (1 - K_u) G_{21}, \quad (7)$$

где  $K_{s1}$  – коэффициент, учитывающий затраты на исключение экологических последствий вследствие образования полостей в земной коре;

$K_{32}$  – коэффициент, учитывающий затраты на минимизацию экологических последствий образования отходов.

Наконец, четвертая составляющая  $\Phi_4$  финансовых возможностей – инвестиций – зависит как от трех предыдущих, так и от целого ряда внешних и внутренних возможностей инвестирования в развитие бассейна. Тем не менее, имеющиеся статистические данные, экспертные оценки, интуитивные предположения и т.п. позволяют с некоторой степенью вероятности предположить величину всех этих инвестиций.

Все рассматриваемые в этой статье величины по своей природе различны. Поэтому для возможности их сопоставления должны быть выражены некоторой общей единицей измерения, за которую чаще всего принимаются финансовые единицы.

Считаем, что способы измерения этих величин в финансовых единицах известны. Для формирования математической модели, имитирующей развитие бассейна по добыче и переработке полезного ископаемого, установим некоторые соотношения между величинами, характеризующими развитие бассейна, и не отраженными в соотношениях (1). При этом предполагается, что рассматривается процесс нарастания производственного потенциала бассейна в прогнозируемом периоде ( $t - t_n$ ), т.е.:

$$\frac{dP}{dt} > 0, \quad (8)$$

где  $t_n$  – граница периода прогнозирования.

Если рассматривать  $P$  как функцию многих переменных, то это условие можно переписать в виде:

$$\frac{\partial P}{\partial B} \frac{dB}{dt} + \frac{\partial P}{\partial M} \frac{dM}{dt} + \frac{\partial P}{\partial L} \frac{dL}{dt} + \frac{\partial P}{\partial \Phi} \frac{d\Phi}{dt} > 0. \quad (9)$$

Так как вид функции (2), чаще всего, в прогнозируемом периоде неизвестен, то последнее условие в явном виде записать невозможно, однако некоторые свойства членов условия можно установить. Эти свойства можно рассматривать в некоторых ситуациях, например, при линейном виде зависимости (2), которую запишем в виде:

$$P = K_B \cdot B + K_M \cdot M + K_L \cdot L + K_\Phi \cdot \Phi, \quad (10)$$

где  $K_B, K_M, K_L, K_\Phi$  – весовые коэффициенты, значения которых обычно устанавливаются методом экспертных оценок.

Тогда условие (8) принимает вид:

$$K_B \frac{dB}{dt} + K_M \frac{dM}{dt} + K_L \frac{dL}{dt} + K_\Phi \frac{d\Phi}{dt} > 0. \quad (11)$$

Учитывая, что  $\frac{dB}{dt} < 0$  и считая остальные производные по времени положительными известными, имеем:

$$K_M \frac{dM}{dt} + K_L \frac{dL}{dt} + K_\Phi \frac{d\Phi}{dt} > K_B \frac{dB}{dt}. \quad (12)$$

Это условие роста производственного потенциала бассейна представляет гораздо более широкие возможности для его изучения. Например, при нулевых значениях производных  $\frac{dL}{dt}$  и  $\frac{d\Phi}{dt}$  производственный потенциал бассейна растет, если

$$K_M \frac{dM}{dt} > K_B \frac{dB}{dt}. \quad (13)$$

Это значит, что рост производственных мощностей, умноженных на коэффициент  $K_M$  должен в этой ситуации превышать произведение интенсивности снижения запасов на коэффициент  $K_B$ . Если рассматривать ситуации функционирования бассейна, когда отсутствуют другие источники роста производственного потенциала, то можно определить условия обеспечения его роста в некоторых ситуациях. Эти условия для ряда ситуаций следующие.

1. Отсутствуют возможности наращивания производственной мощности. В такой ситуации  $\frac{dM}{dt} = 0$  и  $\frac{d\Phi}{dt} = 0$ . Тогда условие роста производственного потенциала:

$$K_L \frac{dL}{dt} > K_B \frac{dB}{dt}. \quad (14)$$

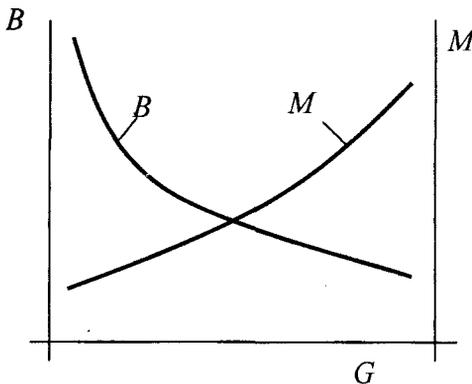
2. Производственные мощности снижаются, т.е. ситуации  $\frac{dM}{dt} < 0$  и  $\frac{d\Phi}{dt} < 0$ . В этой ситуации производственный потенциал может расти лишь при выполнении условия:

$$K_L \frac{dL}{dt} > K_B \frac{dB}{dt} + K_M \frac{dM}{dt} + K_\Phi \frac{d\Phi}{dt}. \quad (15)$$

Выполнение такого условия вряд ли возможно в реальной действительности. В связи с тем, что снижение производственной мощности и отсутствие новых инвестиций не привлекает новый и, тем более, высококвалифицированный персонал.

3. Бассейн функционирует в условиях снижения производственного потенциала. Здесь также возможны несколько ситуаций, которые требуют специального исследования в зависимости от критериев и условий оптимального функционирования бассейна в таких условиях.

Как внутренние так и внешние инвестиции в добычу и переработку полезного ископаемого зависят от производительности бассейна и его месторождений, а запасы полезного ископаемого при этом сокращаются. Таким образом, с одной стороны, рост производительности стимулирует развитие производственных мощностей, а с другой стороны, снижает производственный потенциал. Это иллюстрируется графически на рисунке 2.



**Рисунок 2.** — Влияние извлечения полезного ископаемого на основные характеристики производственного потенциала

Кривые на рисунке 2 приведены в соответствии с соотношениями

$$B = B_0 - \int_0^t G(t) dt; \quad G = \int_0^t Q(t) dt;$$

$$M = M_0 + \int_0^t M(t) dt, \quad (16)$$

следующими из (1), и отображают изменение  $B$  и  $M$  лишь качественно.

Производственные мощности растут за счет внутренних и внешних инвестиций, которые, в первую очередь, зависят от производительности, а также от сокращающихся запасов полезного ископаемого.

Для горнодобывающих предприятий большое значение имеют издержки, связанные с мероприятиями по защите от экологических последствий добычи и переработки полезных ископаемых. При разработке соляных месторождений необходимо учитывать также агрессивную среду, в которой эксплуатируются производственные мощности, и высокие в связи с этим амортизационные отчисления. Как экологическая так и амортизационная части издержек производства определяются производительностью и рядом других условий. Кроме того, по мере снижения запасов полезного ископаемого издержки возрастают. Это является особенностью деятельности компаний, ведущих добычу полезных ископаемых. В связи с изложенным, целесообразно отдельно учесть эти издержки и их вклад в снижение производственного потенциала.

Полагая, что основным способом получения средств на эти издержки является повышение производительности, замечаем, что сохранение производственного потенциала бассейна или компании требует выполнения условия:

$$\frac{dQ}{dt} > 0. \quad (17)$$

Выполнение этого условия при достаточных запасах полезного ископаемого возможно путем наращивания производственного потенциала действующего производства и, прежде всего, за счет увеличения производственных мощностей. Другой путь увеличения производственного потенциала – освоение новых месторождений, что требует значительных инвестиций. Привлечение инвестиций – отдельная проблема, решение которой зависит от большого числа факторов, включающих финансовые, технические и другие условия. Эти условия здесь не исследуются.

Определяем основные условия первого пути. Так как (1)

$$B = B_0 - \int_0^t G dt,$$

то

$$\frac{dB}{dt} = -\frac{dG}{dt} = -Q, \quad (18)$$

где знак «-» указывает на то, что запасы полезного ископаемого уменьшаются.

Тогда для сохранения производственного потенциала в условиях отсутствия инвестиций необходимо выполнение равенства:

$$K_M \frac{dM}{dt} > K_B \frac{dG}{dt} = K_B \cdot Q. \quad (19)$$

Если при этом производительность сохраняется постоянной, то получаем значение затрат на производственные мощности, обеспечивающие выполнение этого условия:

$$M = Q \int_t^{t_2} \frac{K_B}{K_M} dt. \quad (20)$$

Соотношения (7-15) получены при условии, что производственный потенциал оценивается линейной функцией (10) четырех параметров, которые, к тому же, влияют друг на друга. Тем не менее, этот способ оценки производственного потенциала и его основных показателей позволяет проанализировать их изменения. Более надежная оценка может быть получена с использованием метода Монте-Карло. Для применения этого метода следует считать производственный потенциал  $P$  случайной величиной, зависящей от совокупности случайных величин, к которым необходимо отнести и коэффициенты  $K_B$ ,  $K_M$ ,  $K_L$ ,  $K_\Phi$ . Чтобы воспользоваться методом Монте-Карло, необходимо знать не только математические ожидания (усредненные значения) четырех характеристик производственного потенциала и упомянутых выше коэффициентов, но и за-

коны их распределения. Такие данные могут быть найдены путем статистической обработки результатов предшествующей деятельности компаний, эксплуатирующих бассейны, или результатов деятельности подобных компаний.

Такой способ исследования производственного потенциала возможен при наличии статистических данных о разработке месторождений бассейна. Возможно также исследование и прогнозирование развития бассейна путем установления функциональных зависимостей между величинами  $B$ ,  $M$ ,  $L$  и  $\Phi$ , определяющими производственный потенциал  $P$ . Эти соотношения могут быть алгебраическими, дифференциальными и т.д. Условием возможности их использования является сведение этих соотношений в некоторую совместную систему уравнений. Такая система может быть применена для нахождения прогнозируемых значений параметров  $B$ ,  $M$ ,  $L$  и  $\Phi$ , а также величины  $P$ .

### Заключение

Представленная система может быть использована в качестве основы для имитационного моделирования развития производственного потенциала бассейна по добыче и переработке полезных ископаемых. Формирование таких функциональных зависимостей, а также сведение их в систему, нахождение решений и их анализ для конкретных бассейнов позволяют в совокупности рассмотреть все основные процессы, протекающие в различных областях внутренней среды предприятия, выработать системный взгляд на его деятельность, чтобы определить сильные и слабые стороны предприятия и на базе этого разработать стратегию повышения уровня использования его производственного потенциала и обеспечить рост конкурентоспособности и эффективности функционирования предприятий комплекса.

### Список использованных источников

1. Карсунцева, О.В. Производственный потенциал предприятий машиностроения: оценка, динамика, резервы повышения / О.В. Карсунцева. – М.: Инфра-М, 2016. – 211 с.
2. Воронова, А.Е. Поддержка производственного потенциала предприятия / А.Е. Воронова, В.П. Пономарев, Г.И. Дибрис. – К.: Техника, 2000. – 152 с.
3. Смирнова, Т.Г. Развитие производственного потенциала сельского района / Т.Г. Смирнова, С.А. Селякова, Е.Н. Кожина; под ред. к.э.н. Т.В. Усковой. – Вологда: ИСЭРТ РАН, 2010. – 148 с.
4. Айвазян, С.А. Моделирование производственного потенциала на основе концепции стохастической границы. Методология, результаты эмпирического анализа / С.А. Айвазян, М.Ю. Афанасьев. – Изд.: Красанд, 2015. – 352 с.

**Kazachenko G.V., Basalai R.A.**

### About the production potential of the enterprise mining and quarrying

*The paper shows a possible way to assess the production potential and its main indicators. The mathematical model of the region development represented by a complex of companies engaged in mining and processing of minerals is constructed. The conditions for the growth of the production potential of the basin for the extraction and processing of minerals for a number of situations are studied and the correlations between the parameters affecting the production potential are drawn up.*

*Keywords: production potential, extraction of minerals, field productivity.*

Поступила в редакцию 27.08.2018 г.