

*А.И. Амоша,
В.И. Салли,
А.И. Симоненко*

ОБ ЭНТРОПИИ ПОТОКОВЫХ ПРОЦЕССОВ УГОЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Неоднократно подчеркивалась несостоятельность попыток охарактеризовать состояние шахты одним показателем, даже достаточно широким по своему содержанию, например, таким, как себестоимость добычи угля, из-за возникающих при этом противоречий [1]. К примеру, шахта добывает уголь не очень ценной марки и с высокой зольностью, но с низкой себестоимостью. Следовательно, по одним признакам она «хорошая», а по другим «плохая», и признаки эти не могут количественно и качественно быть сведены один к другому. С этой точки зрения понятия «потенциал» или «энтропия» относятся к числу категорий, которые одновременно являются категориями других областей знаний и имеют присущие им отличительные признаки.

Потенциал любого предприятия определяется объемом и качеством имеющихся у него ресурсов, способностями сотрудников к созданию какой-либо продукции, а также инновационными, информационными и финансовыми способностями.

Двойственный характер шахты как природно-технологической и экономической системы дает основание для вывода о том, что и показатель, оценивающий шахту в ряду других,

должен обобщать ее двуединую сущность. В качестве такого барометра могут быть предложены, например, показатели энтропии, экономической надежности [2] и «добавленная стоимость», поскольку последняя одновременно является макроэкономическим показателем, определяющим национальный доход страны, и микроэкономическим, определяющим вновь созданную стоимость на конкретном предприятии.

Если окажется, что угольная шахта имеет достаточный уровень экономической надежности и способна создавать добавочную стоимость, значит, она имеет внутренние резервы и может выйти в число самодостаточных.

Поскольку шахты проходят различные стадии своих «жизненных циклов», их состояние во многом зависит не только от природных условий, но и от своевременности инвестиций в поддержание производственного потенциала, а также в значительной мере – от эффективности хозяйствования (уровня менеджмента). Шахты нельзя разделить «раз и навсегда» на перспективные, подлежащие модернизации, реконструкции, и на неперспективные, подлежащие закрытию. Исключение составляет

© Амоша Александр Иванович – академик НАН Украины, директор.
Институт экономики промышленности НАН Украины, Донецк.
Салли Владимир Ильич – доктор технических наук, профессор;
Симоненко Александр Иванович – кандидат технических наук.
Национальный горный университет, Днепропетровск.

относительно небольшой круг шахт, либо имеющих бесспорные преимущества для вложения средств в их развитие, либо заведомо затухающих вследствие отработки запасов или особо сложных природных условий работы.

При попытке определить уровень энтропии как характеристики потоковых процессов подземной добычи угля необходимо руководствоваться следующими соображениями: внутри такой производственно-экономической системы происходят различные процессы, в результате которых энтропия меняется на определенную величину. Кроме того, имеется поток энтропии в систему и из нее, поскольку это связано с притоком и оттоком ресурсов, т.е. необходимо оценивать энтропию не только структурной производственно-экономической системы, но и знать энтропию входящих и выходящих потоков. В такой интерпретации представляется важным рассмотрение взаимовлияния производственной функции и энтропии потоковых процессов.

В обобщенном виде производственная функция имеет вид

$$y = F(x, a), \quad (1)$$

где y – результат деятельности;

x – вектор ресурсов;

a – вектор параметров производственной функции.

Следует отметить, что результат деятельности y также может быть представлен как вектор благ, а выбор показателей и параметров производственной функции определяется основными взаимосвязями между элементами производственно-

экономической системы и целями исследования. Широко используется производственная функция и при анализе горнодобывающих предприятий. В работе [3] рассмотрена модель угольной шахты на основе производственной функции Кобба-Дугласа, параметрами которой являются объем добычи угля (выходная величина), поверхностное и подземное оборудование, здания и сооружения, образующие основные средства предприятия, сырье и материалы, электроэнергия и т.п., которые образуют оборотные средства, а также труд рабочих и управленческого персонала.

В рамках рассмотрения производственной функции следует подчеркнуть два аспекта. Во-первых, в основе всякого производства лежит технология, а потому производственная функция должна отображать технические закономерности, которые положены в основу преобразования факторов производства в продукцию. Другими словами, всякой экономической производственной функции предшествует инженеринговая производственная функция. Во-вторых, в классической теории производства и затрат [4] производственная функция определяет тот максимум продукции, которая может быть выпущена при заданных исходных ресурсах и имеющейся технологии. То есть производственная функция является не чем иным, как соответствующим описанием эффективной, предельной технологии, которая лежит в ее основе.

Указанные подходы целесообразно использовать для анализа

организованности и оценки энтропии потоковых процессов угледобычи.

Известно, что углепоток из очистного забоя характеризуется параметрами пласта и выемочной техники с поправкой в виде $Y(t)$ – фактор готовности технологической цепи. Значение $Y(t)=1$, если технологическая цепь работает, и обращается в нуль при любом нарушении технологии ведения очистных работ в лаве, отказах любого из обеспечивающих работу лавы технологических звеньев, начиная от выемочной машины и заканчивая погрузкой угля на поверхности.

Данная инженерная зависимость еще не является производственной функцией, поскольку не отражает затраты ресурсов, однако является предельной зависимостью и из нее можно получить, например, производственную функцию Кобба-Дугласа с эластичным замещением (комбинацией) затрачиваемых факторов вида

$$y = a_0 r_1^{a_1} r_2^{a_2} \dots r_I^{a_I} I = a_0 \prod_{i=1}^I r_i^{a_i}, \quad (2)$$

где $r_1 \dots r_I$ – вектор затрат ресурсов;

$a_0 \dots a_I$ – вектор параметров производственной функции.

Вид производственной функции в данном случае особого значения не имеет. В любом случае, в пределе, данная технология позволяет производить максимальный и стабильный поток угля, неорганизованность (энтропия) которого в любой момент времени будет равна нулю. Этот вывод можно обосновать,

уподобив выходящий углепоток потоку информации.

Оценка меры неуверенности реализации потоковых процессов угледобычи, включая оценку и используемых потоков ресурсов, представляет в данном случае главный интерес. Пусть событием z является угольный поток из очистного забоя, возможный исход – это объем $d(t)$ добываемого угля, например, в тоннах в минуту. Как отмечалось выше, при факторе готовности технологической цепи $Y(t)=1$, вероятность данного исхода будет также равна единице, а энтропия выходящего углепотока – нулю. Если, к примеру, одновременно будут работать две выемочные машины, объем добычи может увеличиться вдвое, но энтропия углепотока все равно будет равна нулю. Однако если положить, что исходом b_1 будет нормальная работа выемочной машины в течение трех рабочих смен, а исходом b_2 – проведение ремонтно-профилактических работ в очистном забое в течение одной смены, то получим

$$p(b_1) = 0,75, \quad p(b_2) = 0,25;$$
$$H(z) = -0,75 \cdot \log_2 0,75 - 0,25 \cdot \log_2 0,25 = 0,811.$$

Хотя в этом случае говорить о «неорганизованности» некорректно, тем не менее формально энтропия события z – «выдача углепотока» – возросла с 0 до 0,811. Потоковый процесс как таковой стал менее организованным. Дополнительное же простаивание выемочной машины, к примеру, в течение полусмены приводит уже к возрастанию энтропии углепотока до $H(z) \approx 1,3$.

Как показывают многочисленные данные, углепоток из очистного забоя угольной шахты необходимо рассматривать как непрерывный, кусочно-гладкий случайный процесс, и для принятия экономически обоснованных решений следует использовать методы, основанные на вероятностном описании работы очистных забоев. Аналогичным образом необходимо рассматривать и другие потоковые процессы угольной шахты.

Обозначим через D объем добываемого угля за какой-то период времени T . Пусть это будет суточная добыча угля, тогда $T = 24$ часа, либо $T = 1440$ мин. Через $d(t)$ по-прежнему будем определять углепоток из очистного забоя (в т/час или в т/мин соответственно). В каждый из единичных отрезков времени t углепоток может находиться в одном из N состояний. Обозначим через b_i один из возможных исходов состояния технологической цепи угледобычи, а через t_i – время, в течение которого технологическая цепь угледобычи находилась в состоянии b_i . Вероятность b_i -го исхода

$$p(b_i) = \frac{t_i}{T}, \quad i = 1, 2, \dots, N,$$

$$\text{причем } \sum_{i=1}^N p(b_i) = 1.$$

Тогда энтропия события D за период T , т.е. энтропия суточной добычи угля, определяется из выражения

$$ED = -T \sum_{i=1}^N p(b_i) \ln p(b_i). \quad (3)$$

Энтропия, приходящаяся на дискретную единицу продолжительности

события (в данном случае в час или в минуту) и определяемая как

$$Ed(t) = - \sum_{i=1}^N p(b_i) \ln p(b_i), \quad (4)$$

будет характеризовать энтропию углепотока, выраженного соответственно либо в т/час, либо в т/мин.

Таким образом, выражения (3) и (4) позволяют определять энтропию любого события потокового характера, причем первое выражение будет характеризовать энтропию реализации потокового события (процесса) за определенный этап, период времени ΔT , определяемый причинами организационно-экономического характера (смена, сутки, месяц и т.д.). Это как бы аккумулированная неорганизованность «производства» события D (в данном случае D – обобщенное обозначение любого события потокового характера). Второе выражение определяет непосредственно энтропию потока данного события, реализуемого во времени.

Углепотоки, поступающие из очистных забоев, – это конечный результат всех организационных, технологических, экономических и природных процессов, протекающих на угольных шахтах. Здесь особенно рельефно проявляются природные горно-геологические процессы, организационные просчеты, ненадлежащая надежность техники и прочее, в целом приводящие к импульсному неравномерному поступлению углепотоков. Например, по данным хронометражных наблюдений, проведенных на шахтах Селидовского

региона [5], основной причиной неравномерности углетоков являются паузы в работе выемочных машин и неравномерность скорости перемещения их вдоль лавы. Коэффициент машинного времени колеблется в пределах 0,1-0,6, а коэффициент вариации скорости подачи – в интервале 0,3-0,8. Имеются и другие многочисленные данные, подтверждающие эту закономерность.

Особенности угольных шахт как предприятий, использующих природный ресурс полезного ископаемого, обуславливают и особенности резервирования элементов их системы. Здесь нет параллельной работы резервирующих элементов вместе с основной системой, и лишь в некоторых случаях имеется резервирование замещением в виде «холодного резерва», который включается в работу в случае отказа основного элемента. К таким звеньям относятся вентиляторы главного проветривания, резервные насосы в водоотливных комплексах, дублирующие линии электропередачи. Резерв шахты представляет сочетание резерва мощности и пропускной способности ее технологических звеньев. Мощность шахты определяется возможной добычей из очистных забоев; добыча угля в подготовительных выработках при их проведении в настоящее время, когда все выработки проводятся узким ходом, приблизительно равна пяти процентам общей добычи по шахте и в силу своего небольшого объема не имеет существенного значения. Все остальные звенья шахты характеризуются пропускной способностью, так как они

лишь транспортируют «грузы», включая и перемещение людей.

Таким образом, угольная шахта как производственная система состоит из разнородных природных и промышленных элементов, причем каждый из них имеет свои границы и в их пределах обладает особыми индивидуальными свойствами. Совокупность работ, выполняемых в отдельных звеньях системы, не обладает свойством аддитивности, так как все элементы шахты (производственные процессы) являются разнокачественными. Свойство целостности проявляется только во взаимодействии элементов – производственном процессе шахты и выпуске продукции (в данном случае – добыче угля).

Последнее обстоятельство предопределяет возможность и необходимость моделирования энтропии потоковых процессов при добыче угля.

Приведенные выше рассуждения позволяют предложить следующую вероятностную модель оценки энтропии потоковых процессов угольного производства на основе производственной функции. Вначале введем обозначения для производственной функции и запишем ее в общем виде.

Пусть, как и ранее: D – результат реализации потокового процесса (события) за определенный этап, период времени ΔT ; $d(t)$ – интенсивность потока (или просто «поток») в данном процессе.

Введем обозначение следующих затрат факторов производства или

ресурсов потокового производственного процесса:

Q – исходное полезное ископаемое (или иное «сырье»); $K_1 \dots K_I$, (K_i) – вектор ресурсов типа «капитал» или средства производства в технологической цепи потокового производственного процесса; $L_1 \dots L_J$, (L_j) – вектор ресурсов типа «рабочий труд» в той же цепи; $M_1 \dots M_N$, (M_n) – вектор материальных ресурсов или предметов труда; $ER_1 \dots ER_V$, (ER_v) – вектор энергетических ресурсов; $LO_1 \dots LO_S$, (LO_s) – вектор ресурсов типа «организационный труд» (управляющие воздействия, информационные ресурсы); $DF_1 \dots DF_W$, (DF_w) – вектор прочих производственных факторов в технологической цепи потокового производственного процесса; $a_1 \dots a_I$; $a_1 \dots a_J$; $a_1 \dots a_N$; $a_1 \dots a_V$; $a_1 \dots a_S$; $a_1 \dots a_W$ – вектор параметров производственной функции.

Полагая, что все факторы производственной функции потокового процесса имеют стохастический характер и их отсутствие или несвоевременная подача приводит к остановке данного процесса, введем следующие обозначения исходов потокового события: b_0 – все ресурсы потокового процесса находятся «в рабочем состоянии», фактор готовности технологической цепи процесса $Y(t)=1$; b_Q – фактор готовности потокового процесса $Y(t)=0$ вследствие неподготовленности (отсутствия) производственного фактора Q (полезное ископаемое); b_{K_i} – фактор готовности потокового процесса $Y(t)=0$ вследствие неработоспособности средств производства; b_{L_j} – фактор готовности

потокового процесса $Y(t)=0$ вследствие отсутствия или несвоевременного ввода производственного фактора типа «рабочий труд»; b_{M_n} , b_{ER_v} – фактор готовности потокового процесса $Y(t)=0$ вследствие отсутствия материальных ресурсов (предметов труда) и, соответственно, энергетических ресурсов; b_{LO_s} – фактор готовности потокового процесса $Y(t)=0$ вследствие отсутствия информации или вовремя не принятых управленческих решений; b_{DF_w} – фактор готовности потокового процесса $Y(t)=0$ вследствие воздействия причин иного характера.

Используя приведенные обозначения и на основе выражений (2) и (4), можно представить математическую модель оценки организованности потокового процесса на основе производственной функции и энтропии:

1) общий вид производственной функции

$$D = F(Q; K_1 \dots K_I; L_1 \dots L_J; M_1 \dots M_N; ER_1 \dots ER_V; LO_1 \dots LO_S; DF_1 \dots DF_W; a_1 \dots a_w; e^{aU}), \quad (5)$$

где $i \in \{1, 2, \dots, I\}$, $j \in \{1, 2, \dots, J\}$, $w \in \{1, 2, \dots, W\}$ – индексы групп производственных факторов;

e^{aU} – фактор неопределенности производственной функции;

aU – параметр интенсивности убывания результата потокового процесса;

2) энтропия потокового процесса

$$Ed(t) = -p(b_0) \ln p(b_0) - p(b_Q) \ln p(b_Q) - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \dots \sum_{w=1}^W [p(b_{ij\dots w}) \ln p(b_{ij\dots w})], \quad (6)$$

где $p(b_0)$ – вероятность полной готовности технологической цепи производственного процесса;

$p(b_0), p(b_1) \dots p(b_w)$ – вероятности полной неготовности технологической цепи производственного процесса вследствие отсутствия или неготовности ресурсов $Q, K_i, \dots DF_w$.

В выражении (6) величина $-p(b_0) \ln p(b_0)$ представляет собой частную энтропию полной готовности технологической цепи производственного процесса, а, например, $-p(b_0) \ln p(b_0)$ – частную энтропию потокового процесса, порождаемую отсутствием, точнее неготовностью к выемке, полезного ископаемого.

Как известно, энтропия принимает свое максимальное значение $Ed(t)^{max}$ при равной вероятности всех b -исходов. В этом случае управлять системой наиболее сложно, система в наибольшей степени непредсказуема. Другими словами, мера неуверенности реализации потоковых процессов угледобычи будет максимальной.

Следовательно, уровень организованности потокового процесса угольного производства можно оценить как

$$Od(t) = 1 - \frac{Eb(o)}{Ed(t)^{max}}, \quad (7)$$

где $Eb(o) = -p(b_0) \ln p(b_0)$ – частная энтропия полной готовности технологической цепи производственного процесса.

При $p(b_0) \rightarrow 1$ частная энтропия полной готовности технологической цепи

$Eb(o) \rightarrow 0$, а уровень организованности потокового процесса достигает максимума, т.е. $Od(t) = 1$.

Уровень неорганизованности любого из ресурсов определяется из выражения

$$NOB(Q,i,j,\dots,w) = \frac{Eb(Q,i,j,\dots,w)}{Ed(t)^{max}}, \quad (8)$$

где $Eb(Q,i,j,\dots,w)$ – частная энтропия потокового процесса, порождаемая отсутствием, точнее неготовностью, соответствующих ресурсов.

Выводы

1. Предложенный подход, основанный на параллельно-последовательном взаимодействии процессов в производственной системе шахты и количественной оценке ценности ресурсов на базе производственных функций принципиально важен с точки зрения управления инвестиционными процессами. При этом технологический транспорт является продолжением производственного процесса создания продукции (в виде добычи угля), поэтому транспортные процессы по доставке угля и породы также следует отнести к основным технологическим процессам.

2. По мере развития горных работ в пространстве и возрастания глубины разработки ухудшение природных условий происходит по-разному не только на различных участках горного отвода определенной угольной компании, но и в пределах горного отвода одной шахты. Работа в более благоприятных природных условиях повышает эффективность

производственной деятельности шахты, что порождает естественное стремление вначале обрабатывать лучшие участки и оставлять для будущих поколений худшие запасы.

3. Продолжительность работы шахт (фактор времени) в целом оказывает более значительное влияние на степень усложнения подземного хозяйства шахты, чем динамика добычи угля. При длительной эксплуатации шахты общая протяженность горных выработок со временем возрастает. Это важно учитывать при моделировании оценки организованности потоковых процессов угольного производства.

Литература

1. Амоша А.И., Ильяшов М.А., Салли В.И. Системный анализ шахты как объекта инвестирования. – Донецк: ИЭП НАН Украины, 2002. – 68 с.

2. Пивняк Г.Г., Салли В.И., Байсаров Л.В. Инвестиции в угольную промышленность: реальность и прогнозы // Уголь Украины. – 2003. – № 5. – С. 4-8.

3. Шашенко А.Н., Масленников С.Е. Анализ развития угледобывающего предприятия на основе использования производственных функций // Науковий вісник НГА України. – Дніпропетровськ, 1999. – №4. – С.72-73.

4. Фандель Гюнтер. Теорія виробництва і витрат / Пер. з нім. під керівництвом і наук. ред. М.Г.Грещака. – К.: Таксон, 2000. – 520 с.

5. Радченко В.В. Анализ и оценка причин простоев очистных забоев // Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. “Проблеми і перспективи інноваційного

розвитку економіки України”. – Дніпропетровськ: НГУ, 2006. – С. 41-43.