

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622:338

МЕЖОТРАСЛЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

С. Вуйич¹, С. Максимович¹, М. Радосавльевич¹, Д. Крунич²

¹Институт горного дела, E-mail: slobodan.vujic@ribeograd.ac.rs,
Батайнички пут, 2, г. Белград, Сербия

²Министерство горного дела и энергетики Сербии,
Неманьина, 22-26, г. Белград, Сербия

Межотраслевые модели представляют собой эффективные инструменты математической модели, широко используемые в экономике. Противоречиво то, что межотраслевой анализ пренебрегается в горнодобывающей промышленности, тогда как ни одна область промышленности не принимала так быстро и не реализовывала методы оперативных исследований, как горнодобывающая. Нет удовлетворительного объяснения, почему это так. В целях разъяснения этой дилеммы в данной работе основное внимание уделяется характеристикам и свойствам межотраслевого анализа, пониманию его применимости в горнодобывающей промышленности, а на примере межотраслевой модели горнодобывающего бассейна “Колубара”, который работает в системе электроэнергетической промышленности Сербии, продемонстрирована реализация и выполнена валидация наблюдений и выводов.

Межотраслевое моделирование, анализ входных и выходных данных, таблица транзакций входа-выхода, горнодобывающий бассейн “Колубара”

DOI: 10.15372/FTPRPI20180508

Математические модели производственно-коммерческой деятельности горнодобывающих комплексов в соответствии с проблемным подходом и математической концепцией относятся к одному из множеств моделей оптимизационного, эконометрического и межотраслевого типов, известного также как множество моделей вход – выход [1, 10].

Межотраслевое моделирование, предоставляющее теоретическую основу для определения влияния и анализа воздействия на реальную производственную систему инициированных или вызванных изменений, используется для нахождения возможных решений в производстве, коммерции, распределении ресурсов, закупках и потреблении, определении экономической политики горнодобывающей компании и т. п. [2]. Напомним, что количественная основа межотраслевых моделей представляется матрицами условий, относящихся к сформулированной задаче, где условия могут быть изменяемыми или фиксированными. Предположение о балансе между входом и выходом (например, добыча и потребление угля) строится на основе межсекторальных моделей.

Группировка межотраслевых моделей не типизирована. Наиболее распространенной является группировка в соответствии с критерием принадлежности переменных модели, определяющих такие системы, как производство, закупки, потребление, распределение, привлечение рабочей силы, экология и т. д.

Учет времени в горнодобывающей промышленности неизбежен. В межотраслевом моделировании поддерживается как цельный (неделимый) период времени, так и интервал, состоящий из нескольких последовательных периодов (например, квартал, полгода, год). Модели одного периода не позволяют изменять количественную базу и классифицируются как статические, а интервальные модели относятся к классу динамических, они позволяют изменять количественную базу при переходе от одного периода к другому в течение процесса [4].

С точки зрения целевых требований при решении конкретных задач, приемлемости и полезности решения межотраслевые модели обеспечивают условия для определения допустимого решения, которое не обязано или может не быть оптимальным, по крайней мере относительно одного из критериев.

Масштабы межотраслевого моделирования определяются диапазоном адаптивности и гибкости, позволяющим адекватное представление горнодобывающего комплекса, имеющего множество сложных производственных и коммерческих связей, или при необходимости его более или менее крупных частей [5].

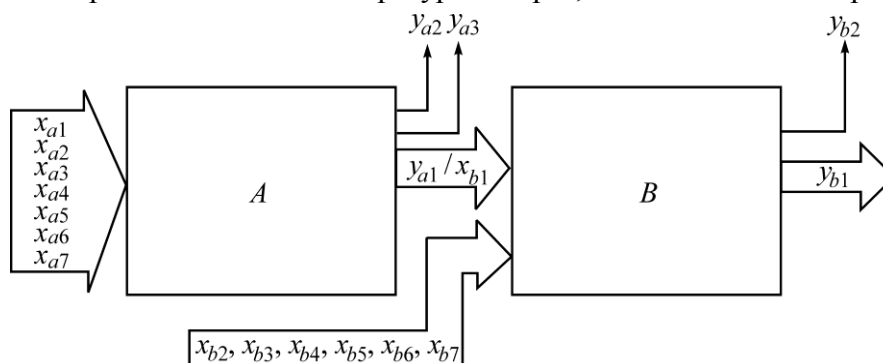
Применение межотраслевых моделей, широко распространенное в экономике, недостаточно используется в горнодобывающей промышленности, в отличие от многих других методов оперативных исследований. Объяснение находится в преобладании научных и экспертных работ, исследований, проектов и публикаций о применении межотраслевого анализа в решении проблем макроэкономических измерений, связанных с крупными промышленными и бизнес-конгломератами, региональными и национальными экономиками. В соответствии с законом преемственности, в экспертных и научных кругах горнодобывающей промышленности создается эффект ошибочного видения. Последствиями этого является отсутствие значимости, маргинализация интереса, а в результате — пренебрежительное отношение к подходу математического моделирования, недостаток в изучении возможностей и эффектов его применения.

Работа основана на результатах длительных исследований [3], а цели работы имеют прагматичный, стимулирующий и утверждающий характер. Ниже дан краткий обзор математических основ межотраслевого моделирования, представлен пример межотраслевой модели Горного бассейна “Колубара” в качестве основного носителя добычи угля в электроэнергетике Сербии, а в заключение приведены оценки и наблюдения, связанные с применением межотраслевого моделирования в горнодобывающей промышленности.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ МЕЖОТРАСЛЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для того чтобы производственные и коммерческие функции шахты или любой другой производственно-коммерческой системы действовали эффективно, необходимо установить баланс входных ресурсов и исходных функционально зависимых эффектов всех объектов (сегментов, секторов) системы. Возьмем упрощенный пример шахты по добыче меди с флотацией и предположим, что в системе находятся только два объекта: шахта и флотация. В производственно-технологической структуре системы шахта предшествует флотации. В число входных ресурсов шахты входят: проектная документация, запасы руды, рабочая сила, машины и оборудование, энергетика для запуска машин, наличные деньги, расходные материалы и запчасти. Добытая руда выходит из шахты и входит в флотацию. Флотация также включает: рабочую силу, воду, энергетику для запуска цехов, наличные деньги, флотационные реагенты, материалы и ресурсы, необходи-

мые для эксплуатации и технического обслуживания цехов, а на выходе получаем концентрат или несколько разных концентратов, если руда полиметаллическая и флотационная порода (рисунок). Упрощенно: эконометрический вход — это ресурсы затрат, а выход — доход и прибыль.



Упрощенная межотраслевая топологическая схема двухсекционной шахты: A — шахта; B — флотация; x_{a1} — проектная документация; x_{a2} — запасы руды; x_{a3} — рабочая сила; x_{a4} — машины и оборудование; x_{a5} — энергоресурсы; x_{a6} — наличные деньги; x_{a7} — расходные материалы и запчасти; y_{a1}/x_{b1} — руда; y_{a2} — порода; y_{a3} — морфологические изменения; x_{b2} — рабочая сила; x_{b3} — вода; x_{b4} — энергоресурсы; x_{b5} — наличные деньги; x_{b6} — флотационные реактивы; x_{b7} — материалы и средства для эксплуатации и технического обслуживания цехов; y_{a1} — концентрат, y_{a2} — порода

Предположение о входном и выходном балансе всех сегментов системы является концептуальной отправной точкой, на которой основана идея межотраслевого моделирования. Теоретическую основу межотраслевого анализа заложил В. Леонтьев в конце 30-х годов XX в. За эту работу в 1973 г. он получил Нобелевскую премию по экономическим наукам [4].

Логическая топология межотраслевых моделей предполагает, что хозяйственная активность системы поделена на n взаимосвязанных сегментов. В соответствии с терминологией Леонтьева, в последующем тексте используется термин “отрасль”, поэтому продукты одной отрасли используются в производстве другой, т. е. продукция определенных отраслей поставляется в другие отрасли, включая конечный продукт, и возможно то, что некоторые сектора будут использовать часть собственного производства. Таким образом, потребление продуктов отрасли i в отрасли j прямо пропорционально объему производства в отрасли j и может быть выражено [1, 7] в виде

$$X_{ij} = a_{ij}X_j, \tag{1}$$

где a_{ij} — коэффициент пропорциональности, или технический коэффициент, имеющий постоянное значение, определяемое технологическими факторами.

В зависимости от конечного спроса различаются открытые и закрытые межотраслевые модели. Чаще всего используются открытые модели, в которых имеется компонент конечного спроса по отраслям экзогенного типа (внешнего роста). В закрытых моделях, где ограниченное применение, компоненты агрегатного (совокупного) спроса рассматриваются как отраслевые продукты и эндогенно определяются в рамках модели [7]. В открытой межотраслевой модели производство X_i в секторе i равно сумме поставок в другие отрасли X_j ($j = 1, \dots, n$) и экзогенных поставок для конечного спроса Y_i :

$$X_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{in}X_n + Y_i \quad (i = 1, \dots, n). \tag{2}$$

В матричной форме

$$X = AX + Y, \tag{3}$$

где X — вектор производства, размеры (n); Y — вектор конечного спроса, размеры (n); A — матрица технических коэффициентов, размеры ($n \times n$); AX — объем поставок из отрасли i в отрасль j .

Условие баланса выполняется по объему поставок отрасли i в отрасль j , которая удовлетворяет потребностям производства отрасли ($i, j = 1, \dots, n$) технологически и по объему. Решением уравнения (3) по X получается производство по отраслям, отвечающим спросу:

$$X = (I - A)^{-1}Y, \tag{4}$$

здесь $(I - A)^{-1}$ — матрица отраслевых мультипликаторов ($n \times n$), которая определяет, сколько продукта нужно из отрасли i по единице производства в отрасль j для обеспечения конечного потребления.

Матрица отраслевых мультипликаторов:

$$(I - A)^{-1} = (I + A + A^2 + A^3 + \dots). \tag{5}$$

В выражении (5) элементы матрицы A демонстрируют прямую зависимость между отраслями, тогда как элементы A^2, A^3, \dots осуществляют косвенную связь между отраслями.

В отличие от статической межотраслевой модели, встроенные инвестиции в динамической модели функционально связаны с увеличением производства в отраслях. На практике часто предполагается, что некоторые инвестиции напрямую зависят, а другие не зависят от изменений объема производства [1, 7]. В случае, если инвестиции не зависят от производства, они устанавливаются как компонент спроса в статической модели. Динамическая модель выражается в матричной форме:

$$X_t = AX_t + B(X_{t+1} - X_t) + (1 + r)^t Y_0, \tag{6}$$

где B — матрица коэффициентов капитала, размер ($n \times n$); Y_0 — вектор начального уровня спроса, размеры (n); r — темп роста спроса.

Благодаря реализации целевой функции, динамическая модель может быть преобразована в оптимизационную межотраслевую модель. Для методологического упрощения применения межотраслевого анализа, т. е. для алгоритмизации процесса составлена таблица входа – выхода (первая была составлена Леонтьевым) (табл. 1). Это пригодилось для разработки многочисленных компьютерных приложений для межотраслевого анализа.

ТАБЛИЦА 1. Пример таблицы межотраслевых транзакций

		Производители как Потребители									Конечный спрос			
		Шахта I	Шахта II	Шахта III	Логистика	Флотация	Транспорт	...	Обслуживание	Другое	Личные расходы	Инвестиции	...	Размещение товаров и услуг
Производители (отрасли)	Шахта I													
	Шахта II													
	Шахта III													
	Логистика													
	Флотация													
	Транспорт													
	...													
	Обслуживание													
	Другое													
Дополнительная стоимость	Компенсация	Работники									Брутто внутренний продукт			
	Владелец компании и капитала	Тип прибыли и дополнение для капитального потребления (амортизация)												
	Государственная администрация	Налоги												

Здесь представлена базовая концепция межотраслевого моделирования. Более подробно вникать в теоретические механизмы межотраслевого моделирования не имеет смысла и неоправданно увеличило бы объем данной работы.

ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ

Колубарский горный бассейн является частью уникальной производственной электроэнергетической системы Республики Сербия, находящейся в составе компании “Электроэнергетическая промышленность Сербии”. При годовом производстве около 30 млн т угля горнодобывающий бассейн обеспечивает первичной энергией для производства 50 % электроэнергии Республики Сербия.

В качестве сложной организационной и технико-технологической производственной системы бассейн “Колубара” представляет удобную среду для систематических исследований, уточнения и проверки математических и инструментальных средств для системной инженерии. Это, безусловно, определило выбор бассейна “Колубара” для тестово-экспериментальных исследований применения и эффектов межотраслевого моделирования. Результаты этих исследований обработаны и приведены в [6], а в настоящей работе дана только их часть в качестве подтверждения мнений и оценки.

В период исследования в Колубарском горном бассейне насчитывалось около 14 тыс. сотрудников и 15 производственных, сервисных и деловых секторов. В производственной группе выделено пять секторов: три угольных карьера — “Поле В”, “Поле D” и “Тамнава Западное поле”, сектор переработки (очистки) угля “Колубара-переработка” и сектор производства газобетона “Газобетон”. В компании имелось десять секторов услуг: административный, сектор стратегии, сектор развития и инвестиций, сектор производственно-технических дел, сектор проектирования, сектор строительных работ, сектор вспомогательных работ, маркетинговый, сектор услуг и т. д. [6].

По ряду причин, связанных с бизнесом, названия секторов не скоррелированы с обозначениями в моделях: $X_1, X_2, X_3, \dots, X_{15}$, но это не имеет значения для анализа и выводов в данной работе. Из-за проблематичности ввода больших чисел в таблице значения уменьшены в 10^3 (табл. 2). Это также не влияет на результаты расчетов и анализа.

Формированием матрицы межотраслевых транзакций (табл. 2), матрицы технических и обратных коэффициентов (табл. 3), матрицы рейтинга сектора в соответствии с критериями размера (табл. 4), матрицы фактического и планируемого производства и внешней реализации (табл. 5) построена межотраслевая модель производственного комплекса горного бассейна “Колубара” с начальной точкой математической модели для тестирования и анализа структурного соответствия системы, функциональных позиций и положений сектора и т. д. Модель точно сканирует и отражает производственную зависимость между секторами. Например, для увеличения внешней реализации сектора X_{12} необходимо увеличить производство сектора X_1 на 0.06, X_2 — на 0.065, ..., X_{11} — на 0.418 и сектора X_{12} — на 1.072 (табл. 3) [6].

По сравнению с калькуляцией затрат в системе, эксперимент продемонстрировал эксплуатационные преимущества применения межотраслевого анализа, значительно большую эффективность и точность определения добавленной стоимости и мониторинга затрат в системе. Это чрезвычайно важно для управления компанией, так как четкая идентификация расходов по секторам и ранжирование секторов в соответствии с генерированием добавленной стоимости позволяет своевременно корректировать действия (табл. 3–5).

ТАБЛИЦА 2. Фрагмент таблицы межотраслевых транзакций Колубаринского горного бассейна

Сектор	Потребление отрасли (значение $\times 10^{-3}$)															Внешняя реализация	Σ
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	Σ						
Отрасли	X_1	19,44	27,85	3,44	39,06	110,13	11,64	20,41	3,72	3,08	8,24	496,74	131,74	628,48			
	X_2	540	3,72	3,72	50,54	143,42	18,68	16,41	9,64	135,42	16,44	671,05	193,87	864,92			
	X_3	10	180	180	239,68	130	30,00	17,21	10	10	576,65	1,24	321,78	323,02			
	X_4	1,81	220	220	239,68	239,68	305,14	1,725,25	2,639,06	440,47	217,89	144,54	157,77	734,42			
	X_5	80	80	80	80	80	46,20	68,02	30	30	60	3,408,07	3,408,07	3,408,13			
	X_6	10	10	10	10	10	50,00	315,44	2,034,90	1,613,52	42,04	2,076,94	42,04	2,076,94			
	X_7	160	160	160	160	160	92,20	453,41	453,41	5,87	85,06	1,077,21	1,077,21	1,162,27			
	X_8	130	130	130	130	130	79,03	79,03	79,03	130	130	491,76	491,76	491,89			
	X_9											3,853,42	3,853,42	3,853,42			
	X_{10}											1,221,23	1,221,23	1,221,23			
	X_{11}											11,965,48	11,965,48	21,307,39			
	X_{12}											24,68	9,341,91	24,68			
	X_{13}											10,71	304,44	10,71			
	X_{14}											654,27	3,303,36	654,27			
	X_{15}											689,66	12,949,71	689,66			
$\Sigma(1-15)$	22,18	28,07	7,34	89,60	493,36	247,83	890,90	13,40	1,757,89	24,68	9,341,91	11,965,48	21,307,39				
A	2,14	5,73	310	580	66,68	11,18	16,73	7,95	1,63	10,71	304,44	193,87	864,92				
B	99,01	310,13	54,88	177,76	258,64	57,96	21,84	307,04	758,68	654,27	3,303,36	1,221,23	1,221,23				
$\Sigma(16+17+18)$	123,33	343,93	62,53	267,94	818,68	316,97	929,47	328,39	2,518,20	689,66	12,949,71	11,965,48	21,307,39				
C	33,46	68,54	5,79	108,78	258,41	12,82	37,72	14,13	382,03	34,98	1,680,34	1,680,34	1,680,34				
D	254,23	198,31	98,25	133,18	363,29	47,91	85,12	54,22	333,84	240,41	2,636,35	2,636,35	2,636,35				
E	217,46	254,14	156,45	224,52	590,01	79,73	109,96	95,15	619,35	256,18	4,040,99	4,040,99	4,040,99				
$\Sigma(20+21+22)$	505,15	520,99	260,49	466,48	1,211,71	140,460	232,80	163,50	1,335,22	531,57	8,357,68	8,357,68	8,357,68				
$\Sigma(19+23)$	628,48	864,92	323,02	734,42	2,030,39	457,43	1,162,27	491,89	3,853,42	1,221,23	21,307,39	21,307,39	21,307,39				

Примечание. A — затраты на электроэнергию; B — расходы на материалы и услуги; C — капитальные затраты (амортизация); D — расходы на оплату труда; E — новая стоимость

ТАБЛИЦА 4. Ранги отраслей

Ранг	Критерии					
	Отрасль	$\sum_{i=1}^{15} a_{ij}$	Отрасль	$\sum_{i=1}^{15} b_{ij}$	Отрасль	$\left(\sum_{i=1}^{15} a_{ij} + \sum_{i=1}^{15} b_{ij} \right) / 2$
1	X ₆	0.77434	X ₁₁	1.00000	X ₆	0.81088
2	X ₅	0.74936	X ₆	0.84742	X ₅	0.75795
3	X ₁₀	0.41872	X ₁₀	0.77687	X ₁₁	0.69506
4	X ₁₁	0.39011	X ₅	0.76654	X ₁₀	0.59780
5	X ₁₂	0.17277	X ₄	0.45816	X ₄	0.28811
6	X ₄	0.11805	X ₇	0.40805	X ₇	0.24716
7	X ₈	0.10100	X ₁	0.28597	X ₁	0.17365
8	X ₂	0.10054	X ₂	0.19927	X ₂	0.14991
9	X ₇	0.08626	X ₈	0.18768	X ₈	0.14434
10	X ₁	0.06136	X ₁₂	0.06800	X ₁₂	0.12039
11	X ₃	0.00086	X ₃	0.00167	X ₃	0.00127
12	X ₁₃	0.00021	X ₁₃	0.00026	X ₁₃	0.00024
13	X ₉	0.00011	X ₉	0.00001	X ₉	0.00006
14	X ₁₄	0.00000	X ₁₄	0.00000	X ₁₄	0.00000
15	X ₁₅	0.00000	X ₁₅	0.00000	X ₁₅	0.00000

ТАБЛИЦА 5. Существующее и планируемое состояние спроса и производства

Отрасль	Состояние (значение × 10 ³)			
	существующее		планируемое	
	Спрос Y	Производство X	Спрос Y	Производство X
X ₁	13.174	62.848	13.174	68.260
X ₂	19.387	86.492	19.387	91.880
X ₃	32.178	32.302	32.178	32.311
X ₄	15.777	73.442	15.777	79.860
X ₅	30.514	203.039	30.514	212.380
X ₆	47.517	311.423	47.517	360.586
X ₇	13.772	57.819	13.772	63.660
X ₈	14.454	36.243	14.454	39.480
X ₉	340.807	340.813	408.968	408.976
X ₁₀	4.204	207.694	5.044	216.756
X ₁₁	402.000	45.743	402.000	53.632
X ₁₂	107.721	116.227	129.265	137.700
X ₁₃	49.176	49.189	49.176	49.200
X ₁₄	385.342	385.342	385.342	385.340
X ₁₅	122.123	122.123	122.118	122.120
Σ	1.196.548	2.130.739	1.287.088	2.322.141

Межотраслевая модель фокусирует и причинно-следственно диагностирует взаимодействие функциональных связей между отраслями, производственные отношения и внешнюю реализацию, отношения производства и затрат, эффекты воздействия внешних или внутренних факторов на каждую отрасль в отдельности и на систему в целом, последствия возможных разрушающих действий или вызванных плановыми изменениями в системе и т. д. [8]. В следующем разделе представлены обобщенные наблюдения и оценки, основанные на результатах исследований межотраслевой модели горных бассейнов “Колубара” и “Костолац” горнодобывающей системы добычи угля в системе “Электроэнергетической промышленности Сербии”.

ЗАМЕЧАНИЯ И ОЦЕНКИ

С точки зрения деловой и производственной структуры горнодобывающие системы могут быть идентифицированы с макроэкономическими единицами, такими как региональная или национальная экономика [9, 10]. Такой вывод вытекает из эквивалентности того, что каждый субъект или отрасль, горнодобывающая или макроэкономическая, имеет те же особенности, где на входе получает ресурсы (материалы, запасные части, энергия, услуги, работа и т. д.), а на выходе — промежуточный или конечный продукт. В шахтах это — порода, руда, концентраты, модифицированная морфология рельефа, металл и т. д. Вторая эквивалентность горнодобывающей или макроэкономической системы связана с функциональными правилами, интерактивными связями между отраслями, потоком информации, материалами, услугами и т. д., а также динамическим соединением между системой и окружающей средой. Адаптации или модификации межотраслевых моделей для внедрения в горнодобывающей промышленности не требуется, это не увеличивает стоимость, но упрощает аппликативную процедуру.

Результаты показывают, что межотраслевые модели являются оперативно подходящими математическими инструментами для анализа производственно-деловых потоков и зависимостей между секторами горнодобывающей системы.

Возможно, понимание того, что глубина и сложность структуры горнодобывающей компании не ограничивается применением межотраслевого анализа, является неожиданным. Другими словами, межотраслевой анализ одинаково успешно могут применять как горнодобывающие компании, так и отдельно взятые подразделения компаний, компании с невысокими и крупными производственными потенциалами, простыми или сложными топологическими структурами.

Количество и надежность входных технико-технологических, экономических и других параметров, т. е. прямых, косвенных и индуцированных множителей межотраслевых моделей, — это предельные факторы. Спектр потенциального применения межотраслевого анализа в горнодобывающей промышленности в последнее время не ограничен, он начинается от обычного стоимостного, производственного, инвестиционного, структурного и организационного анализов, анализа рисков и воздействия на деятельность шахты, изменений производственной, политической, рыночной, экономической и/или технико-технической среды до моделирования развития и экологических вопросов (использование энергии, сточные воды, горные и флотационные породы, деградация территории и т. д.).

Независимо от экономических выгод, которые приносит горнодобывающая промышленность, сомнения, недоразумения и заблуждения порождают противоречивое отношение местного, регионального или более широкого сообщества к шахтам. Необходимая корректировка отношений между заинтересованными сторонами подразумевает активное взаимодействие горнодобывающих компаний с социальными сообществами, на территории которых находятся шахты, чтобы общество понимало, что горнодобывающая промышленность дает выгоды, например занятость, налоговые поступления, прибыль от концессий, капитала и операционных расходов, улучшение инфраструктуры, образование и т. д. [9–11]. Для достижения цели аргументы должны основываться на экономически обоснованном и систематическом объяснении, при котором межотраслевой анализ может иметь неопределимое значение.

Межотраслевой анализ — мощный инструмент математической модели, хорошо изученный и широко используемый в экономике. В начале нашей работы мы попытались объяснить, почему межотраслевой анализ игнорировался в горнодобывающей промышленности. Несмотря на логику объяснения, дилемма остается открытой, потому что в горнодобывающей промышленности нет более эффективного инструмента для контроля производственных, затратных, доходных, материальных, услуговых и других потоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Stanojević R.** Between the sectoral models, Economic Institute Belgrade, 1998. — 243 p. (in Serbian)
2. **Radosavljić M., Vujić S., Boševski T., Praštalo Ž., and Jovanović B.** Single-phase local optimization model for limestone supply from open pit mines to heat power plants in Serbia, *J. of Min. Sci.*, Springer, 2016, Vol. 52, No. 4. — P. 704–711.
3. **Maksimović S.** Application of among sectoral analysis in the companies of the thermal power sector of electric power industry of Serbia, *Elektroprivreda*, 2009, No. 1. — P. 85–92 (in Serbian).
4. **Miller R. E. and Blair P. D.** Input — output analysis: Foundations and Extensions, Cambridge University Press, 2009. — 768 p.
5. **Stilwell L. C. and Minnitt R. C. A.** Input-output analysis: its potential application to the mining industry, *The J. of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, November/December, 2000. — P. 455–460.
6. **Maksimović S.** Between the sectoral models approaches to controlling the coal industry, University of Belgrade Faculty of Mining and Geology, doctoral dissertation, Belgrade, 2011. — 117 p. (in Serbian)
7. **Arsić M.** Nobel prize winners in economics: Wassily Leontief — the author input-output analysis, *CES Mecon*, Belgrade. — P. 115–127 (in Serbian).
8. **Ivanova G. and Rolfe J.** Using input-output analysis to estimate the impact of a coal industry expansion on regional and local economies, *Impact Assessment and Project Appraisal*, 29:4, 2011. — P. 277–288.
9. **Xiaoli T., Elbrond J., and Xiangyi L.** Some applications of input–output analysis in a gold mine, *Economic Systems Research*, 1994, Vol. 6, Issue 4, Published online: 28 Jul. 2006. — P. 435–448.
10. **Lei T., Liangyu W., Rijia D., and Lijia L.** Study on the dynamic input-output model with coal mine Safety, *First Int. Symp. on Mine Safety, Procedia Engineering*, 2011, Vol. 26. — P. 1997–2002.
11. **Дасковский В. Б.** Эффективность капитальных вложений в горной промышленности. — М.: Недра, 1981. — 232 с.

Поступила в редакцию 8/VIII 2018