

РАЗВИТИЕ ОТРАСЛЕВОГО И РЕГИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

УДК 303.732.4, 622.33, 004.021, 005.12

JEL L64, L71

DOI 10.26425/1816-4277-2021-2-42-50

Бондаренко Инна Сергеевна
канд. техн. наук, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация
ORCID: 0000-0002-4160-8413
e-mail: innasbondarenko@gmail.com

КОНЦЕПЦИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ УГОЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Аннотация. Рассмотрен общий подход и элементы реализации имитационной модели системы поддержки принятия решений как одного из наиболее эффективных способов усовершенствования системы управления горного предприятия. Дано описание технологического процесса и основных функциональных блоков системы управления. Выявлены ключевые звенья и требования для реализации имитационной модели управления производственными процессами и предприятием. Подсистемы модели позволяют рассматривать динамику работы производственного предприятия во всем многообразии направления его деятельности, для различных вариантов технологии и организации производства существующей системы управления, планируемой системы и перспективных управляющих решений. Кроме того, представлена структура и описание реализованной имитационной модели основного производственного процесса опытного угольного разреза. Обозначена роль пользователя-управленца в процессе принятия решений по результатам моделирования. Приведен контрольный пример результатов моделирования.

Ключевые слова: угольная промышленность, управление предприятием, автоматизация, система поддержки принятия решений, имитационная модель, системный анализ, планирование, оптимизация, программное обеспечение

Для цитирования: Бондаренко И.С. Концепция имитационной модели системы поддержки принятия решений угольного предприятия//Вестник университета. 2021. № 2. С. 42–50.

Inna S. Bondarenko
Cand. Sci. (Tech.), National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russia
ORCID: 0000-0002-4160-8413
e-mail: innasbondarenko@gmail.com

THE CONCEPT OF THE SIMULATION MODEL OF THE DECISION SUPPORT SYSTEM OF THE COAL ENTERPRISE

Abstract. The article considers the General approach and elements of implementation of the simulation model of the decision support system as one of the most effective ways to improve the management system of a mining enterprise. The paper gives the description of the technological process and the main functional blocks of the control system. The author identifies the key links and requirements for the implementation of the simulation model of production process and enterprise management. The subsystems of the model allow us to consider the dynamics of the production enterprise in all the variety of its activities, for different variants of the technology and organization of production of the existing control system, the planned system and promising management solutions. In addition, the article presents the structure and description of the implemented simulation model of the main production process of the experimental coal mine. The paper indicates the role of the user-manager in the decision-making process based on the results of modeling. The author gives a control example of the simulation results.

Keywords: coal industry, enterprise management, automation, decision support system, simulation model, system analysis, planning, optimization, software

For citation: Bondarenko I.S. (2021) The concept of the simulation model of the decision support system of the coal enterprise. *Vestnik universiteta*, no. 2, pp. 42–50. DOI: 10.26425/1816-4277-2021-2-42-50

© Бондаренко И.С., 2021.

Статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0. всемирная (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

© Bondarenko I.S., 2021.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Введение

Сегодня главным инструментом формирования управляющего решения, способствующего повышению профессионального уровня пользователя-управленца повсеместно являются различные программные решения на базе автоматизации основных управленческих, технико-экономических и производственных процессов. В такой области, как угольная промышленность, особенно важно своевременно и с высокой степенью ответственности принимать управленческие решения исходя из поиска оптимального решения имеющихся альтернативных вариантов в условиях противоречивых интересов сторон [4]. В таком случае наиболее правильным и эффективным решением будет использование системы поддержки принятия решений (далее – СППР), где в основе инструментария системного анализа производственных процессов и процесса принятия управляющих решений лежат имитационные модели отдельных подсистем.

Важным является тот факт, что СППР может стать действенным инструментом управления в том случае, если она будет обладать свойствами надежности, эффективности и адаптивности. Разработка имитационной модели в рамках структуры СППР, объединяющей базу данных, базу моделей, диалоговую систему, позволяет выполнить эти требования с позиций пользователя-управленца.

Технологический процесс разреза «Победный»

В рамках исследовательской работы гранта Российского научного фонда (проект № 17-11-01353) была разработана имитационная модель для усовершенствования системы управления основным производственным процессом разреза «Победный». Усовершенствование системы управления предполагает интеграцию системы управления на всех стадиях производства. Описание имитационной модели СППР объединяет описание объекта, системы управления и системы экономического анализа.

Объект управления – основной производственный процесс добычи, транспортировки и переработки угля разреза «Победный». Обеспечивается производственный процесс с помощью экскаваторно-автомобильного комплекса (далее – ЭАК) и комплекса обогатительной фабрики (далее – ОФ).

Технологический процесс ЭАК объединяет работу добычных экскаваторов и углевозов, которые перевозят уголь из забоя до приемных устройств технологического комплекса обогатительной фабрики. Организация работы ЭАК предусматривает управление качеством добываемого и транспортируемого угля.

Технологический процесс ОФ по характеру работ разделен на участок углеприема и подготовки, обогатительное отделение, сушку продуктов, пункт погрузки товарных продуктов. На участке углеприема и подготовки важную роль в управлении качеством угля выполняют аккумулирующие бункера, назначение которых – шихтовка рядового угля перед поступлением на ОФ.

Система управления основным производственным процессом ОФ разреза «Победный» предусматривает перспективное, оперативное опробование углей на разрезе; управление добычей угля в режиме стабилизации качества, работой технологического транспорта, разгрузкой углевозов на приемной яме, загрузкой и разгрузкой аккумулирующих бункеров, технологическим процессом обогащения угля на фабрике, отгрузкой товарных продуктов в железнодорожные вагоны и их отправкой.

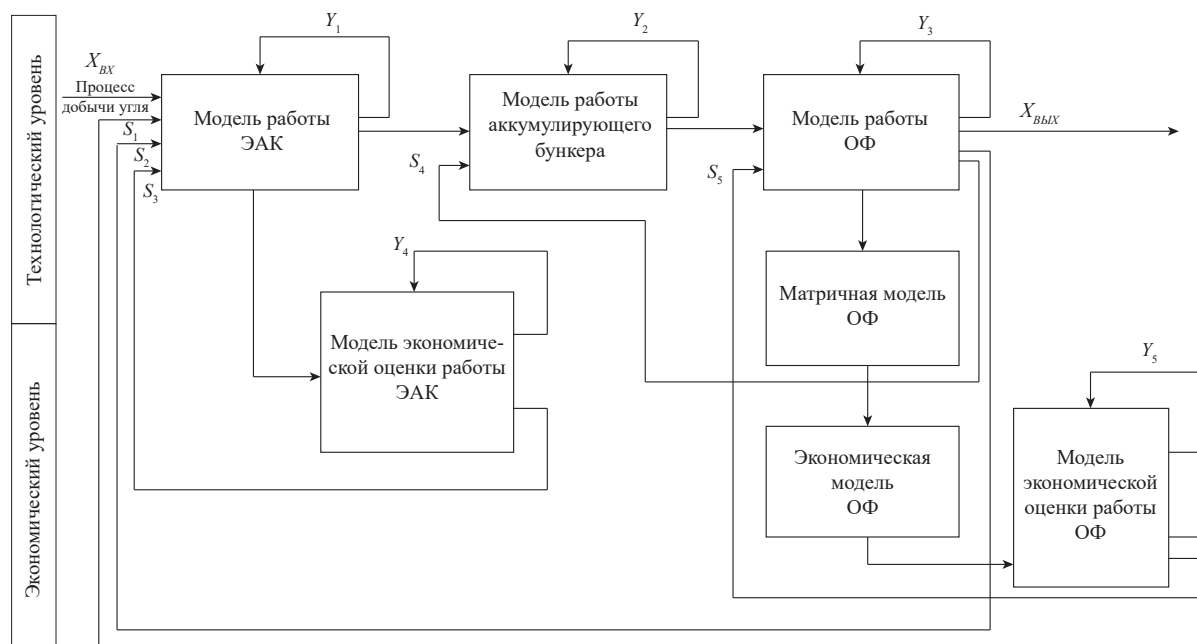
Имитационная модель основного производственного процесса

Система экономического анализа предприятия – традиционная [3]. Товарной продукцией ОФ разреза «Победный» являются угольный концентрат и промпродукт, получаемый в результате обогащения коксующегося угля. Цена как сырья, так и продуктов обогащения зависит от его качества. Показателями качества, определяющими стоимость товара по продукции, являются зольность и влажность, а у экспортируемого угля еще учитывается содержание серы, фосфора и толщина пластического слоя.

Структура реализованной имитационной модели основного производственного процесса показана на рисунке 1. Имитационная модель имеет двухуровневую (по количеству принятых интеграционных процессов) иерархическую структуру. Первый уровень описывает технологию производства, второй – систему его экономического анализа.

Стадии основного производственного процесса – транспортировка, шихтовка, обогащение угля – различны по характеру работ, типу используемого оборудования, влиянию на конечные производственные

и финансовые результаты деятельности предприятия. Поэтому общая имитационная модель на технологическом уровне состоит из локальных моделей работы ЭАК, работы аккумулирующего бункера, работы ОФ, каждая из которых описывает определенный вид работ производственного процесса. Способ описания локальных моделей различен и зависит от характера выполняемых работ [8]. На экономическом уровне общая имитационная модель дополнена локальными имитационными моделями экономической оценки работы технологических комплексов ЭАК и ОФ.



Составлено автором по материалам исследования

Рис. 1. Структура имитационной модели основного производственного процесса разреза «Победный»

Одним из основных требований при разработке имитационной модели СППР, предусматривающим ее включение в базу моделей СППР является требование того, чтобы общая имитационная модель обладала адаптивными свойствами, которые обеспечивали бы развитие модели и расширение области ее применения. В процессе освоения СППР, использования модели как инструмента пользователя для совершенствования системы управления может потребоваться получение из общей модели дополнительных локальных моделей, описывающих более подробно частные явления, изменение структуры локальной модели для работы с ней конкретного пользователя; может возникнуть необходимость укрупнения, агрегирования локальной модели для решения конкретной производственной задачи пользователя. Поэтому структура общей имитационной модели СППР с адаптивными свойствами имеет и второй вид иерархии: статифицированное описание. Этот вид иерархии введен для описания работы ОФ [6].

Работа ОФ – обогащение угля – является, с одной стороны, одним из этапов технологии основного производственного процесса, а с другой стороны, самостоятельным технологическим комплексом. Поэтому назначение локальной модели работы ОФ двояко: оценка качества и количества производимой продукции и описание производственного объекта для оценки производственно-хозяйственной деятельности ОФ. Локальная модель работы ОФ имеет трехуровневую иерархическую статифицированную структуру, с помощью которой устанавливается взаимосвязь между технологическим и экономическим уровнями общей имитационной модели. Уровень агрегирования модели ОФ повышается при переходе от имитационной модели к эконометрической: в имитационной модели описание производственного процесса рассматривает работу агрегатов ОФ; в матричной модели производственный процесс характеризуется уже этапами технологии производства – технологическими операциями, – и вводятся категории экономического анализа; в эконометрической модели используются, в основном, показатели экономического; а производственный процесс характеризуется объемом и качеством исходного и конечного продукта без расшифровки типов технологии производства.

Модель работы ОФ разреза «Победный» объединяет девять локальных имитационных моделей технологических операций процесса обогащения и сушки:

- 1 – подготовительная классификация рядового угля;
- 2 – обогащение угля класса 0,5–3,0 мм в гидроциклоне;
- 3–5 – обезвоживание концентрата, промпродукта, породы;
- 6 – сгущение и обезвоживание шлама, осветление оборотной воды;
- 7 – обогащение во флотомашинах;
- 8 – обезвоживание продуктов флотации и осветление оборотной воды;
- 9 – сушка.

Модель технологической операции имеет блочную структуру. Каждый блок модели описывает работу агрегата ОФ, используемого в данной технологической операции. Агрегаты описываются с позиции их функционального назначения и разделены на две группы: разделительные и накопительные. В модели «разделительный агрегат» объединяет и сложные машины ОФ, такие как гидроциклон, и самые простые, такие как вентиль водно-шламовой схемы. Показатели разделительного блока ОФ – параметры, характеризующие процесс разделения агрегатом потоков угля или технической воды. Показатели блока оцениваются по качественно-количественной схеме обогащения.

Система управления основным производственным процессом разреза объединяет локальное управление работой элементов системы Y_1, Y_2, \dots, Y_5 и, глобальное управление S_1, S_2, \dots, S_5 , определяющее системную обратную связь между элементами (см. рис. 1).

Например, локальное управление работой аккумулирующего бункера Y_1 , может обеспечить улучшение качества рядового угля, поступающего на конвейеры главного корпуса ОФ, и тем самым может увеличить вклад этого подготовительного этапа технологии ОФ в общую эффективность производственного процесса. Совершенствуя показанную на рисунке 1 обратную связь S_1 и S_2 между ОФ и ЭАК, можно добиться такого согласования планов их работы, когда обоснованные требования к объему и качеству добываемого угля и ритмичности его поставки не только повысят эффективность работы каждого из технологических комплексов, но и обеспечат дополнительный вклад в эффективность производственно-технологической деятельности ПО.

Все перечисленные составляющие определяют многоуровневый процесс принятия решения по усовершенствованию системы управления основным производством разреза в рамках производственно-хозяйственной деятельности компании. Процесс принятия решений с помощью имитационной модели становится многовариантным. С помощью СППР он может вестись в интерактивном режиме.

Роль пользователя в процессе принятия решений активная, заключительная: он определяет круг задач рассматриваемой проблемы управления из предлагаемого и накапливаемого в базе моделей СППР списка производственно-хозяйственных задач. Выбранные пользователем задания могут быть решены с помощью той или иной локальной имитационной модели, набора моделей, общей имитационной модели.

По результатам моделирования ставится и решается оптимизационная задача выбора наилучшего управляющего решения. В базе моделей СППР может храниться одна или несколько предлагаемых пользователю постановок оптимизационных задач с заранее заданными критериями оптимальности. Разнообразие постановок оптимизационных задач связано, прежде всего, с проблемой многокритериальности [2].

Большинство решаемых на практике задач принятия решения – многокритериальные. Способы решения многокритериальных задач из-за концептуальной проблемы выбора способа, позволяющего снизить неопределенность целей подобных задач (за счет свертки или ранжирования противоречивых критериев либо за счет построения функций полезности или множества компромиссов Парето и т. д.), неоднозначны [1]. Более того, выбор способа решения является прерогативой пользователя. При использовании СППР эта концептуальная проблема разрешается за счет персонификации: пользователь с помощью диалоговой системы, представляющей ему цифровую визуальную информацию о результатах моделирования, помимо используемых в задаче формализованных критериев оптимальности вводит собственные неформализованные критерии и производит собственный выбор наилучшего с его точки зрения варианта управляющего решения.

Если рассматриваемая пользователем (коллективом пользователей) оптимизационная задача достаточно сложна для одноразового окончательного выбора, то сам процесс выбора наилучшего решения может с помощью СППР стать итерационным. Каждая итерация будет состоять из двух фаз: 1) выполнение пользователем

анализа и предварительного отбора удовлетворительных вариантов решения; 2) оптимизация, осуществляемая ЭВМ. Пользователь, просматривая в процессе итерационной процедуры альтернативные варианты, пытается понять особенности производственной задачи осознать необходимость компромисса между значениями, достигаемыми по различным критериям. От итерации к итерации пользователь ищет лучшее решение и одновременно изучает объективные характеристики задачи, взаимное влияние критериев. В результате он получит обоснованный, наилучшим образом сформированный компромисс управляющего решения. Важность таких решений чрезвычайно велика при разработке стратегии развития предприятия [7].

Результаты

Одной из задач экономического анализа производственно-хозяйственной деятельности ОФ является анализ выполнения плана по себестоимости [5]. Для решения задач перспективного анализа и была разработана локальная имитационная модель экономического анализа. Результаты использования этой модели для получения рекомендаций по снижению себестоимости ОФ приведены в таблицах 1 и 2. Пользователь оценивает качество управления работой ОФ с помощью указателя управления – индекса J , который равен отношению фактического показателя работы к плановому:

$$J = \frac{S_{\text{факт}}}{S_{\text{пл}}} . \quad (1)$$

При проведении анализа производственно-хозяйственной деятельности ОФ пользователь с помощью индексов изменения объема (J_Q) и цены сырья ($J_{Ц}$) изучает экономическую политику закупки поступления сырья с разреза на фабрику. С помощью индексов изменения объема и цены концентрата и промпродукта ($J_{Q1}, J_{Q2}, J_{Ц1}, J_{Ц2}$) он изучает политику получения и реализации продуктов обогащения, а с помощью индекса изменения зольности и влаги в продуктах обогащения ($J_{A1}, J_{A2}, J_{W1}, J_{W2}$) – экономическую политику управления качеством продуктов обогащения. Индексы удельных затрат элементов себестоимости ($J_i, i = 1, 2, \dots, 12$) позволяют пользователю характеризовать технологию управления ресурсами в процессе производственно-хозяйственной деятельности.

Взаимосвязь показателей технологического управления задается эконометрической моделью. Например, показатель управления стоимостью сырья индекс J_1 , зависит от управления качеством и количеством сырья и первой транспортировки, то есть:

$$J_1 = f(J_A, J_{W1}, J_{Q1}, J_{TP}) . \quad (2)$$

Это первое уравнение эконометрической модели. Индекс J_2 определяет изменение затрат на материалы, используемые в основном в процессе обогащения. Это магнетит, дизельные флотации, бутиловый спирт и т. д. Расход этих материалов определяет объем и качество по золе продуктов обогащения. Отсюда можно записать второе уравнение эконометрической модели:

$$J_2 = f(J_{A1}, J_{A2}, J_{Q1}, J_{Q2}) . \quad (3)$$

Таблица 1

Плановые и фактические показатели экономического и технологического управления

Показатель, ед. изм. (индекс)	План	Фактически	План	Фактически	Отклонение	Значение индекса
Выпуск концентрата, тыс. т (J_{Q1})	5 735	5 782	42 141	62 644	0	1 008
Выпуск промпродукта, тыс. т (J_{Q2})	2 957	2 758	22 538	23 719	0	932
Выпуск продуктов обогащения, тыс. т (J_Q)	8 692	8 540	25 590	26 350	0	982
Зольность сырья, 100 % (J_A)	1 550	1 438	1 665	2 286	0	927
Влажность сырья, 100 % (J_W)	252	204	1 725	1 864	0	809
Зольность концентрата, 100 % (J_{A1})	930	910	185	370	0	978

Окончание табл. 1

Показатель, ед. изм. (индекс)	План	Фактически	План	Фактически	Отклонение	Значение индекса
Влажность концентрата, 100 % (J_{W1})	657	591	206	524	0	899
Зольность промпродукта, 100 % (J_{A2})	2 450	2 340	243	780	0	955
Влажность промпродукта, 100 % (J_{W2})	603	349	245	889	0	578
Транспортные расходы, усл. ед. (J_{TP})	9 648	10 162	110	118	0	1 072
Стоимость сырья, усл. ед. (J_1)	232 076	235 190	2 669	2 753	84	1 031
Материалы, усл. ед. (J_2)	3 389	2 593	38	30	-8	789
Услуги пром. характера, усл. ед. (J_3)	10 814	5 907	124	69	-55	556
Топливо, усл. ед. (J_4)	7 293	5 453	83	63	-20	759
Электроэнергия, усл. ед. (J_5)	13 650	13 104	157	153	-4	974
Зарплата, усл. ед. (J_6)	5 067	5 063	58	59	1	1 017
Отчисления в соцстрах, усл. ед. (J_7)	456	515	5	6	1	1 199
Амортизация, усл. ед. (J_8)	12 199	11 618	140	136	-4	971
Прочие денежные производственные расходы, усл. ед. (J_9)	1 782	1 520	20	17	-3	849
Внепроизводственные расходы, усл. ед. (J_{10})	3 808	3 707	43	43	0	1 000
Услуги капитального ремонта, усл. ед. (J_{11})	2 400	2 465	27	28	1	1 037
Производственно-технические нужды, усл. ед. (J_{12})	5 829	5 338	67	62	-5	925

Составлено автором по материалам исследования

Таблица 2

Экономическое и технологическое управление, минимизирующее себестоимость 2018 г.

1.1 расчетный период (вариант управляющего решения)												
1.2 себестоимость												
1.3 – 1.12 экономическое управление ($J_Q, J_A, J_W, J_{Q1}, J_{A1}, J_{W1}, J_{Q2}, J_{A2}, J_{W2}, J_{TP}$)												
2.1 – 2.12 технологическое управление ($J_1 - J_{12}$)												
3.2 прибыль												
Графа / Строка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	3 329	982	927	809	1 008	978	899	932	955	578	1 072
2	1 031	789	556	759	974	1 017	1 199	971	849	1 000	1 037	925
3	0	3 018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	41	3 284	963	962	971	930	970	915	1 030	944	562	1 057
5	1 014	864	620	765	960	968	1 003	953	901	991	911	1 016
6	0	2 875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	108	3 283	951	975	037	952	965	100	952	965	574	1 028
8	1 010	862	629	767	959	976	987	1 023	857	1 004	995	1 019
9	0	2 989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	245	3 310	956	949	969	956	975	1 012	959	944	626	998
11	1 016	898	657	842	973	985	1 001	988	889	1 003	1 010	936
12	0	2 704	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	280	3 274	950	985	927	949	982	866	955	957	949	996

Графа / Строка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14	1 006	886	661	811	974	991	1 004	943	908	1 005	988	1 023
15	0	3 236	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	434	3 260	974	985	998	960	986	878	1 003	973	483	1 033
17	1 005	880	628	739	659	974	1 002	97	892	995	978	991
18	0	3 320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	442	3 244	944	1 012	964	933	941	908	967	949	613	1 044
20	998	903	632	707	913	976	1 001	1 037	903	989	936	987
21	0	3 461	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	468	3 236	943	1 041	990	936	1 002	956	959	934	671	1 012
23	987	867	628	834	997	980	1 001	1 043	891	1 000	1 028	979
24	0	3 206	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Составлено автором по материалам исследования

Индекс J_3 связан с услугами промышленного характера, в которые входят: снабжение водой горячей, питьевой, паром; предоставление автотранспорта для вывоза породы, регулирование сточных вод и др. Расходы промышленного характера прежде всего связаны с объемом переработки сырья, то есть:

$$J_3 = f(J_Q). \quad (4)$$

Это третье уравнение эконометрической модели. Аналогичным образом с помощью индексов (J_i , $i = 4, \dots, 12$) устанавливается взаимосвязь между остальными показателями экономического и технологического уровня производственного процесса ОФ.

Пользователь использует эконометрическую модель работы ОФ в задачах экономического анализа как агрегированное описание системы управления производственным объектом в терминах конкретного процесса принятия решений [9]. Пользователь располагает ретроспективной информацией о результатах работы ОФ. В рассматриваемом примере итоги работы фабрики за 2018 г., приведенные в традиционной форме отчетности и дополненные показателями управления, (см. табл. 1, графа «Отклонение»). Пользователь оценивает политику управления работой ОФ и ищет пути снижения себестоимости на следующий период. Критерий пользователя, выбирающего наилучшее управляющее решение: полная себестоимость продуктов обогащения не должна превышать значения себестоимости, полученной в исходном году.

Пользователю с помощью имитационной модели экономической оценки работы ОФ готовятся альтернативные варианты управляющих решений. Процесс подготовки пользователю альтернативных вариантов следующий. Относительно исходного управляющего решения, сформированного фабрикой в 2018 г. (вариант управляющих решений № 1), имитируются 500 вариантов управляющих решений. В процессе решения задачи на ЭВМ имитация исключается из рассмотрения, если: модельное значение одного из показателей управления не удовлетворяет эконометрической модели ОФ; вычисленное качество сырья или продуктов обогащения не удовлетворяет нормативным требованиям; прирост по сравнению с планом удельных затрат элементов производственной себестоимости будет выше заданного уровня. Для всех допустимых имитаций себестоимость, вычисленная по модельной статистике, сравнивается со значением критерия пользователя, вычисленного в программе модели на первой имитации для варианта № 1. Таким образом, после расчетов на ЭВМ из 500 имитаций критерию пользователя удовлетворяют 8 вариантов (см. табл. 2).

Согласно таблице 2, исходный вариант № 1 (см. строки 1–3) характеризуется следующим образом: полная себестоимость продуктов обогащения, полученная в 2018 г., – 33,29 усл. ед./т; поступление сырья было меньше запланированного объема и лучшего качества ($J_Q = 0,982$; $J_A = 0,927$, $J_W = 0,809$); сверхплановые транспортные

расходы при перевозке сырья ($J_{\text{ТР}} = 1,072$); сверхплановый выпуск концентрата ($J_{\text{О1}} = 1,008$) и заниженный выпуск промпродукта ($J_{\text{О2}} = 0,932$), качество продуктов обогащения выше запланированного ($J_A = 0,978$, $J_{\text{W1}} = 0,899$, $J_{\text{A2}} = 0,955$, $J_{\text{W2}} = 0,578$); перерасход по статьям себестоимости «Стоимость сырья» ($J_1 = 1,031$), «Зарплата», «Отчисления соцстрах» ($J_6 = 1,017$, $J_7 = 1,199$), а «Услуги капремонта» ($J_{11} = 1,037$); экономия по всем остальным статьям себестоимости, особенно по статье «Услуги промышленного характера» ($J_3 = 0,556$).

По рекомендациям таблицы 2 наименьшая себестоимость ОФ может быть получена в варианте № 468 (см. строки 22–24). В этом варианте себестоимость по сравнению с 2018 г. может быть снижена на 0,93 усл. ед. ($\Delta S = 3\,329 - 3\,236$), а прибыль увеличена на 1 880 тыс. усл. ед. ($\Delta\Pi = 32\,060 - 30\,186$). Однако в варианте № 442 снижение себестоимости на 0,85 усл. ед. ($\Delta S = 3\,329 - 3\,244$) позволяет увеличить прибыль на 4 430 тыс. усл. ед. ($\Delta\Pi = 34\,610 - 30\,186$).

Показатели управления варианта № 442 (см. строки 19–21), поступление (закупка) сырья меньше плана, повышенной зольностью и хуже, чем в 2018 г. ($J_Q = 0,944$; $J_A = 1,012$; $J_W = 0,964$); сверхплановые транспортные расходы, но ниже 2018 г. ($J_{\text{ТР}} = 1,044$); выпуск продуктов обогащения ниже плана ($J_{\text{О1}} = 0,933$; $J_{\text{О2}} = 0,967$), но повышенного качества как по сравнению с планом, так и с 2018 г. ($J_{\text{A1}} = 0,941$; $J_{\text{W1}} = 0,908$; $J_{\text{A2}} = 0,949$; $J_{\text{W2}} = 0,613$); перерасход по статьям «Отчисления в соцстрах» и «Амортизация» ($J_7 = 1,001$; $J_8 = 1,037$); экономия по всем статьям себестоимости ($J_1, J_2, \dots, J_6, J_9, J_{10}, \dots, J_{12} < 1$); дополнительная, по сравнению с 2018 г., экономия по топливу, электроэнергии, зарплате, отчислениям соцстрах ($J_4 = 0,707$; $J_5 = 0,913$; $J_6 = 0,976$; $J_7 = 1,001$), а также по прочим производственным расходам и услугам капремонта ($J_2 = 0,989$; $J_{11} = 0,936$).

Сравнивая варианты управления № 1 и № 442 (см. табл. 2, строки 1–3 и 19–21), пользователь может видеть, что снижение себестоимости ОФ на 0,85 усл. ед. увеличит годовую по сравнению с 2018 г., на 18,67 млн усл. ед.

$$\begin{aligned} \Delta\mathcal{E} &= \mathcal{E}_{442} - \mathcal{E}_1; \quad \mathcal{E}_1 = S^{\text{пл}} - S^{\text{факт}} = 290\,534 - 284\,670 = 5\,864 \text{ усл. ед.}; \\ \mathcal{E}_{442} &= S_1^{\text{пл}} - Q_1^{\text{пл}} J_Q S_{442}^{\text{факт}} = 290\,534 - 8\,692 \times 0,944 \times 32,44 = 24\,534 \text{ усл. ед.}; \end{aligned} \quad (5)$$

Сравнение вариантов проведено при неизменных параметрах эконометрической модели ОФ, то есть при неизменной технологии процесса обогащения. Отсюда можно сделать вывод, что полученное в варианте № 442 (см. табл. 2, строки 19 и 21) снижение себестоимости достигается, в основном, за счет улучшения организации работы ОФ, то есть при неизменной работе технологии обогащения. Дальнейшее уточнение модели ОФ, ее разукрупнения и переход к матричной модели работы ОФ позволят выявить дополнительные возможности снижения себестоимости.

Заключение

Имитационная модель основной производственной деятельности разреза «Победный» составлена на языке моделирования GPSS. Вычисления в имитационной модели производятся автоматически с помощью специальных статистических таблиц. Модельная статистика собирается о 105 показателях работы ОФ соответственно качественно-калибровочной схеме обогащения. При использовании модели в действующей СППР возможен перевод модели на язык программирования, удобный для пользователя.

Модель работы ОФ позволяет решать ряд дополнительных задач: управление технологическим процессом переработки угля; планирование развития производства и повышение производительности; развития технологии производства и повышения качества обогащения; развитие организации основного, вспомогательного производства и снижения производственной себестоимости; развитие механизации, автоматизации, организации труда и повышение рентабельности производства.

Разработанная имитационная модель в рамках СППР дает возможность пользователю управлять не только отдельными элементами системы и их развитием, но и интеграцией всей системы. Пользователь-управленец получает возможность изучать для выбранного интеграционного процесса варианты управления как элемента, так и системы в целом; оценивать за счет улучшения качества и снижения издержек синергический эффект. Таким образом, достигается высокоразвитое планирование, когда за счет планомерного регулирования направлений и масштабов производства возможен быстрый переход на новую технологию производства, наиболее эффективную в изменяющихся условиях внешней среды.

Библиографический список

1. Бондаренко, И. С., Куприянов, В. В. Возможности методов самоорганизации при предсказании нештатных ситуаций в горном деле // Вестник университета. – 2019. – № 11. – С. 62-70; <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2019-11-62-70>.
2. Галиева, Н. В., Паршин, Н. О. Разработка перспективного производственного плана развития по улучшению экономического и финансового состояния предприятия нерудных строительных материалов // Горные науки и технологии. – 2016. – № 3. – С. 45-54; <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2016-3-45-52>.
3. Кривоножко, В. Е., Форсунд, Ф. Р., Лычев, А. В. Улучшение эффективного фронта в методологии анализа среды функционирования // Доклады Академии наук. – 2016. – Т. 471, № 4. – С. 398-402.
4. Куприянов, В. В. Компьютерные системы поддержки принятия решений: учебное пособие. – М.: МГГУ, 2010. – 98 с.
5. Курносов, А. М., Кудин, И. Б. Безвариантный метод оптимизации комплексного развития угольного бассейна. – М.: ИГД им. А. А. Скочинского, 1999. – 20 с.
6. Принципы создания системы оптимального планирования производства в угольной промышленности. Модели оптимизации, их методическое и математическое обеспечение. Вып. 22 / А. С. Астахов, Э. И. Гойзман, М. К. Ерохина и др. – М.: ЦНИЭИуголь, 1975. – С. 3-73.
7. Проценко, А. В., Байров, Ж. Б., Федотов, Г. С., Зартенова, Л. Г. Использование экономических показателей в методике среднесрочного планирования горных работ в горно-геологической информационной системе Micromine // Горные науки и технологии. – 2018. – № 2. – С. 60-69; <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2018-2-60-67>.
8. Фролов, Д. Л., Фролова, А. Ю., Бондаренко, И. С. Оптимизация процесса выбора электрооборудования при проектировании строительства промышленных объектов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 6. – С. 177-182.
9. Morshedlou, A., Dehghani, H., Hoseinie, H. A data driven decision making approach for long-wall mining production enhancement // Mining Science. – 2019. – V. 26. – Pp. 7–20. <https://doi.org/10.37190/msc192601>.

References

1. Bondarenko I. S., Kupriyanov V. V. Possibilities of self-organization methods in predicting emergency situations in mining, *Vestnik universiteta*, 2019, no. 11, pp. 62-70; <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2019-11-62-70>. (In Russian).
2. Galieva N. V., Parshin N. O. Development of effective program of investment projects for improving financial standing of an enterprise for production of nonmetallic building materials, *Mining Science and Technology (Russia)*, 2016, no. 3, pp. 45-54; <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2016-3-45-52>. (In Russian).
3. Krivonozhko V. E., Forsund F. R., Lychev A. V. Improvement of the effective front in the methodology of the analysis of the functioning environment, *Doklady Akademii Nauk*, 2016, vol. 471, no. 4, pp. 398-402. (In Russian).
4. Kupriyanov V. V. *Computer systems for decision support: textbook*, Moscow, Moscow State University for the Humanities, 2010, 98 p. (In Russian).
5. Kurnosov A. M., Kudin I. B. *Invariant method of optimization of complex development of the coal basin*, Moscow, IGD im. A. A. Skochinskogo, 1999, 20 p. (In Russian).
6. Protsenko A. V., Bairov Zh. B., Fedotov G. S., Zartenova L. Z. Using economic indicators in medium-term mining planning in Micromine Mining and Geological Information System, *Mining Science and Technology (Russia)*, 2018, no. 2, pp. 60-69; <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2018-2-60-67>. (In Russian).
7. *Principles of creating a system of optimal production planning in the coal industry. Optimization models, their methodological and mathematical support*, Issue 22, A. S. Astakhov, E. I. Goizman, M. K. Erokhina [et al.], Moscow, TsNIEIugol', 1975, pp. 3-73. (In Russian).
8. Frolov D. L., Frolova A. Yu., Bondarenko I. S. Optimization of choice of electrical equipment in design industrial facilities, *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2017, no. 6, pp. 177-182. (In Russian).
9. Morshedlu A., Dehghani H., Hosseini H. Data-driven decision-making approach to improve the efficiency of long-range rock mining, *Mining Science*, 2019, vol. 26, pp. 7-20; <https://doi.org/10.37190/msc192601>.