

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭКОНОМИКИ AUTOMATION OF ECONOMIC MANAGEMENT PROCESSES

Планирование угледобычи топливно-энергетического предприятия как случайного процесса с использованием метода Монте-Карло

Planning of coal mining of the fuel and energy enterprise as a random process using the Monte Carlo method

DOI: 10.34130/2070-4992-2019-3-92-98
УДК 338.984

С. И. Межов, Алтайский государственный
университет (Барнаул, Россия)

S. I. Mezhov, Altai State University
(Barnaul, Russia)

Н. А. Черепанова, АО «СУЭК-Кузбасс»
(Кемерово, Россия)

N. A. Cherepanova, JSC SUEK-Kuzbass (Kemerovo,
Russia)

Добыча угля традиционно связана с высокими производственными рисками, для снижения которых необходимо прилагать максимум управленческих усилий. Безопасность является основополагающим принципом деятельности ресурсных корпораций и неотъемлемой, ежедневной частью их работы. Важнейшей проблемой угледобывающих корпораций являются высокие затраты на ликвидацию всех видов сбоев и вынужденные простои оборудования, что снижает финансовые показатели.

Целью исследования является определение характера корреляционного влияния случайных сбоев на объемные и стоимостные характеристики угледобычи, разработка научного подхода к прогнозированию плана угледобычи на основе имитационного моделирования.

Методической базой исследования служит аппарат теории исследования операций и математического моделирования. Было установлено, что случайные события сбоев с достаточной достоверностью описываются как потоки случайных событий с пуассоновским законом распределения; вариация объемов угледобычи с высокой точностью подчиняется нормальному закону распределения, параметры которого: математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение – можно определить по ретроспективной статистике. Применение имитационных ме-

тодов для оценивания рисков сбоев и отказов позволяет контролировать влияние нескольких базовых переменных на экономическую эффективность плана.

Основные выводы и результаты. Управление производственными рисками с использованием моделирования по концепции Монте-Карло позволит сочетать анализ чувствительности и оценку вариантов сценариев. Анализ чувствительности характеризуется тем, что факторы воспринимаются по отдельности, при имитационном же моделировании неопределенные переменные рассматриваются с учетом их взаимодействий. В структуре имитационной модели соотношения между всеми переменными задаются либо функционально, либо статистически. Решены задачи повышения надежности процесса угледобычи, снижения экономических потерь от случайных сбоев: аварий, отказов технологического оборудования, обусловленных необходимостью дополнительных производственных затрат на восстановительные работы.

Разработанные методические положения прогнозирования плана угледобычи имеют практическую значимость и могут быть использованы в практике принятия решений угольных компаний.

Ключевые слова: случайный поток, событие, производственный риск, имитационное моделирова-

ние, интенсивность сбоев, затраты на профилактику сбоев, прибыль, объем производства.

Coal mining is traditionally associated with high production risks, to reduce which it is necessary to make maximum management efforts. Security is a fundamental principle of resource corporations and an integral, daily element of their work. The most important problem for coal mining corporations is the high cost of eliminating all types of failures and forced equipment downtime, which reduces financial performance.

The aim of the study is to determine the nature of the correlation effect of random failures on the volume and cost characteristics of coal mining, to develop a scientific approach to forecasting a coal production plan based on simulation modeling.

The methodological basis of the study is the apparatus of the theory of operations research and mathematical modeling. It was found that random failure events with sufficient reliability are described as streams of random events with the Poisson distribution law; the variation in the volumes of coal production with high accuracy obeys the normal distribution law, the parameters of which: mathematical expectation and standard deviation can be determined by retrospective statistics. The use of simulation methods to assess the risks of failures and failures allows you to control several basic variables on the economic efficiency of the plan.

Key findings and results. Managing production risks using Monte Carlo simulations will allow you to combine sensitivity analysis and assessment of scenario options. Sensitivity analysis is characterized by the fact that factors are perceived separately, while in imitation modeling uncertain variables are considered taking into account their interactions. In the structure of the simulation model, the relationships between all variables are specified either functionally or statistically. The tasks of increasing the reliability of the coal mining process, reducing economic losses from accidental failures: accidents, failures of technological equipment due to the need for additional production costs for restoration work have been solved.

The developed methodological provisions for forecasting the coal mining plan are of practical importance and can be used in the practice of making decisions by coal companies.

Keywords: *random flow, event, production risk, simulation, failure rate, failure prevention costs, profit, production volume.*

Введение

Шахтная добыча угля является таким производством, для которого риск аварий, сбоев оборудования и чрезвычайных ситуаций является значимым фактором планирования и управления. Высокие риски производственных сбоев обусловлены самим характером угледобычи и требуют

соответствующей реакции со стороны системы управления.

Производственные и имущественные риски, человеческий фактор, несчастные случаи, взрывы и пожары с определенной вероятностью приводят к остановкам работы горнодобывающего оборудования и значительным финансовым потерям предприятия. Их предотвращение – одна из важнейших задач, стоящих перед менеджментом компании. Затраты на ликвидацию всех видов сбоев и вынужденные простои, возникающие в шахтах и отдельных производственных единицах, снижают общие финансовые показатели корпорации.

Операционные процессы промышленной корпорации базируются на оптимальной производственной программе. Параметры производственной программы под влиянием внутренних или внешних факторов, таких как условия угледобычи, качество сырья, конъюнктура рынка, влияние поставщиков, могут претерпевать изменения, чаще всего негативные. Отрицательные факторы приводят к остановке производственного процесса и, как следствие, незапланированным расходам денежных средств и увеличению себестоимости продукции [1; 2; 3]. Такие расходы появляются в связи с необходимостью устранения последствий сбоев и аварий.

На основании вышесказанного очевидно, что производственный процесс угледобычи требует более тщательного планирования и оптимизации по следующим критериям: минимизировать профилактические затраты до приемлемого уровня (как принято на предприятии) и устранять потери от сбоев, без мероприятий по их повышенной профилактике, либо увеличивать затраты на профилактические мероприятия и минимизировать затраты на устранение сбоев.

При этом качество решения будет оцениваться минимизацией потерь объема добычи угля и, соответственно, максимально возможными финансово-экономическими показателями, такими как объем производства и прибыль.

Сибирская угольно-энергетическая компания (СУЭК) – одна из крупнейших энергетических компаний мира с производственными и генерирующими мощностями в России, имеющая сбытовую сеть в мире¹. Для специфических условий производственного процесса добычи угля современных ресурсных корпораций требуется построение соответствующей системы управления и компенсации потерь.

¹ Официальный сайт АО «СУЭК-Кузбасс». URL: www.suek.ru (дата обращения: 05.08.2019).

Теория / методология исследования

Процесс угледобычи рассматривается как «поток событий», под которым понимается последовательность однородных событий (в данном случае отказов, сбоев в технологическом процессе), следующих одно за другим в некоторые случайные моменты времени, и для которого можно применить теорию исследования операций и процедуры имитационного моделирования [4–10]. Обычно поток характеризуется определенной повторяемостью событий, частотой появления δ или средним числом событий, поступающих в единицу времени. Как показывает практика деятельности СУЭК и наши исследования, процесс угледобычи

можно считать стационарным потоком, а следовательно, его вероятностные характеристики не зависят от времени. Также данный поток можно охарактеризовать как «поток без последствия», т.е. события предыдущего отрезка времени не влияют на события последующих отрезков времени. Практически считается, что после сбоя все характеристики и параметры процесса угледобычи восстанавливаются и поток функционирует в обычном режиме до новых сбоев.

Рассмотрим условную схему процесса угледобычи как случайный дискретный поток с отказами (рис. 1).

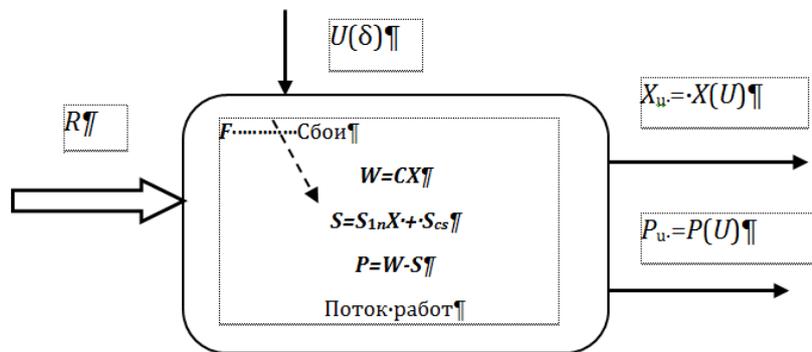


Рис. 1. Общая схема случайного потока сбоев при добыче угля

На рисунке поток представлен блоком переработки ресурсов F , обозначен как «поток работ», в котором перерабатываются входные ресурсы R (факторы производства), производится добыча угля в объеме X тонн, входные ресурсы представлены функцией производственных издержек $S = S_{1n}X + S_{cs}$, где S_{1n} – переменные издержки на одну тонну угля, S_{cs} – постоянные издержки на весь объем угля; объем продаж в стоимостном измерении представлен функцией $W = CX$, где C – цена угля; валовая прибыль представлена функцией $P = W - S$, подставим развернутое выражение в составляющие функции и получим

$$P = CX - (S_{1n}X + S_{cs}) = (C - S_{1n})X - S_{cs}. \tag{1}$$

Соотношение (1) и входящие в него составляющие обозначают плановый или технологически заданный процесс добычи угля, однако при появлении сбоев U (аварий, отказов), где δ – интенсивность сбоев, функционирование блока переработки ресурсов меняется, в связи с тем что блок F перестраивается на устранение сбоя и приведение его в заданное технологическое состояние. Перевод в заданное технологическое состояние, устранение сбоя U требует от блока F дополнительных

затрат ресурсов, которые ухудшают показатели результативности и эффективности функционирования.

Как известно, случайная величина η – число событий, попадающих на произвольный промежуток времени τ , распределена по закону Пуассона [4; 8]:

$$G_m(\tau) = \frac{(\delta\tau)^m}{m!} e^{-\delta\tau}, \tag{2}$$

где $G_m(\tau)$ – распределение Пуассона, τ – промежуток времени, в котором регистрируется событие, δ – интенсивность потока, $\delta\tau$ – параметр распределения Пуассона, для которого характерно $\alpha = \sigma^2 = \delta\tau$, $\eta = m$ – число событий.

Событие U , как показывает анализ статистики работы шахт, приносит разный уровень затрат на восстановление нормальной работы. Учитывая очень большое число факторов и условий, влияющих на появление события U_i , объем затрат на восстановление S_k также является случайной величиной с нормальным законом распределения. Параметры нормального закона распределения данных затрат – α , σ^2 – можно установить путем обработки статистики сбоев и затрат и построения гистограммы распределения [11–14].

Получение статистических характеристик и законов распределения U и S_k позволяют построить имитационную модель процесса угледобычи в условиях сбоев. Цель построения такой модели состоит в том, чтобы, с одной стороны, оценить параметры повышения надежности угледобычи, с другой – оптимизировать затраты на профилактику сбоев и устранение потерь от сбоев путем формирования оптимизированного плана стоимостных и временных затрат на профилактические работы с помощью аппарата моделирования.

Исследуя ретроспективу сбоев, можно определить важные для моделирования параметры: интенсивность сбоев, размер интервала появления сбоев, статистические характеристики, такие как среднее и среднеквадратическое отклонение. Анализируя потери технологического времени (через гистограмму распределения), можем получить распределение вероятностей таких потерь: равномерное распределение: $0 \leq P_{tc} \leq 1$, что позволяет моделировать сбой как поток событий с параметром δ :

$$\tau_k = -\frac{1}{\delta} \ln \gamma_k, \quad (3)$$

где τ_k – временной интервал, на котором появляется сбой, γ_k – случайное число, распределенное равномерно на интервале (0, 1).

Сбои U приводят к производственным простоям, дополнительным затратам на восстановление производства, требуют профилактических затрат и вызывают снижение добычи угля. В свою очередь, снижение добычи угля вызывает снижение объема продаж и прибыли.

Получается следующая логическая цепочка потерь:

$$U \rightarrow t_u \rightarrow S_k \rightarrow \Delta X_u \rightarrow \Delta W \rightarrow \Delta P, \quad (4)$$

где t_u – потери фонда рабочего времени от сбоя, час, ΔX_u – снижение угледобычи, тонн, ΔW – снижение объема продаж, руб., ΔP – снижение размера прибыли, руб.

Результаты исследования

Характер логических связей (4) предопределяет последовательность имитационного моделирования процесса угледобычи. При этом цепочка $U \rightarrow t_u \rightarrow S_k$ отражается в исходных статистических данных, ее имитация не вызывает принципиальных затруднений. Особую трудность вызывает установление функциональной, регрессионной или вероятностной связи между характером сбоя, выраженным потерей рабочего времени в часах, и объемом снижения угледобычи: $U \rightarrow t_u \rightarrow S_k \rightarrow \Delta X_u$. Для установления типа связи между общим объе-

мом потерь от сбоя и потерями добычи угля необходимо провести корреляционный и регрессионный анализ между этими характеристиками. Как показал анализ, корреляционная связь между общим объемом потерь и потерями добычи угля отсутствует, частично это объясняется тем, что статистика по объему реализации учитывает не только текущую добычу угля, но и включение запасов прошлых периодов. Поэтому показатель снижения добычи угля ΔX_u можно моделировать через снижение общего планового фонда времени предприятия за счет сбоев, а затраты на восстановление производственного процесса относить на постоянные расходы.

Объем фактически добытого угля составит (тыс. тонн):

$$X_{\text{фк}} = X_{\text{час}} \times t_{\text{фк}},$$

где $X_{\text{фк}}$ – фактически добытый объем угля, $X_{\text{час}}$ – выработка угля за один час рабочего времени, $t_{\text{фк}}$ – фактически отработанное время за вычетом потерь на восстановление после сбоя.

Однако следует иметь в виду, что не все ремонтные и восстановительные работы приводят к остановке процесса угледобычи, какая-то часть шахт и разрезов совмещает производственный процесс и ремонтные работы, поэтому считать потери рабочего времени необходимо, учитывая это обстоятельство. К сожалению, в СУЭК учет рабочего времени ведется не в полной мере, в частности, не фиксируются чистые потери, когда действительно происходит остановка процесса угледобычи. В этих условиях, на наш взгляд, можно использовать следующий подход моделирования вариации процесса угледобычи:

1. Определить математическое ожидание $M(X)$ и среднеквадратическое отклонение $\sigma(X)$ добычи (продажи) угля на значимом промежутке времени, например 3–5 лет, по кварталам или месяцам.

2. Осуществить генерацию равномерно распределенных случайных чисел для γ_i , $i=1, 2...7$ на интервале (0,1).

3. Преобразовать равномерно распределенные случайные числа γ_i в нормально распределенные при помощи следующей процедуры

$$\varepsilon_k = \sum_1^7 \gamma_i,$$

где $i=1, k=1, (1) N$ – номер серии, N – число испытаний, определяемое как

$$N = \frac{9D_0}{\pi^2}, \quad (5)$$

где π – погрешность, D_0 – расчетная (статистическая) дисперсия случайной величины, определяе-

мая обычным образом по статистическим данным предыдущего периода деятельности предприятия.

4. Нормировать ε_k , т.е. привести к распределению с параметрами: $a = 0, \sigma = 1$:

$$\varphi_k = \sqrt{\frac{3}{7}(2\varepsilon_k - 7)}. \quad (6)$$

5. Осуществить переход от φ_k с параметрами к распределению случайной величины доходов и затрат:

$$X_{пк} = M(X) + \varphi_k \times \sigma(X), \quad (7)$$

где $X_{пк}$ – прогнозируемый объем добычи угля в k период времени, например в квартал.

После моделирования объемов угледобычи на весь период переходим к прогнозированию показателей на базе формулы (выражение (1)). Известно, что постоянные затраты содержат все накладные, управленческие и общепроизводственные издержки [15]. Постоянные затраты можно представить как сумму трех составляющих:

$$S_{cs} = S_{con1} + S_k + S_z, \quad (8)$$

где S_{con1} – общепроизводственные постоянные затраты, S_k – затраты на ремонт после сбоев, S_z – затраты на профилактику сбоев.

Проанализируем, за счет каких факторов происходит снижение плановой эффективности предприятия в результате сбоя и последующего восстановления нормальной работы. Во-первых, происходит снижение объема добычи угля, т.е.:

$$X_{п} < X_{фк},$$

где $X_{п}$ – плановый объем добычи.

Во-вторых, происходит увеличение постоянных затрат в связи с устранением последствий аварии на величину S_k .

Параметры $S_{ln}X$, S_{con1} являются эндогенными и не подлежат изменениям, поскольку они формируются по результатам производственного процесса. Параметр S_z является управляющим, зависящим от решений менеджмента – сколько тратить на повышение надежности технологического процесса и снижения риска сбоя. Параметр S_k – затраты на устранение последствий сбоя – является случайным, и его объем определяется типом и характером сбоя, насколько, например, обвал нарушает производственный процесс, который зависит от глубины, объема грунта, доступности, или обу-

словлен аварией горнодобывающего оборудования, однако эти случайные события имеют один общий знаменатель – затраты на их устранение.

Заключение

Исходя из вышесказанного можно определить следующие стратегии менеджмента при управлении риском производственных сбоев:

1. Ничего не предпринимать, работать в сложившемся режиме, в этом случае осуществляется контроль над переменными и общепроизводственными постоянными затратами. Параметр S_z определяется на основе сложившегося планирования, а S_k является случайной, непрогнозируемой величиной.

2. Прогнозировать сбой и оптимизировать S_z , характер действий менеджмента в данном случае может быть следующий:

$$S_z \rightarrow \max; S_k \rightarrow \min.$$

За счет более тщательных и дорогостоящих профилактических работ появляется возможность снижать затраты на ремонтные работы при условии, что модифицированные затраты будут меньше традиционных:

$$S_{cs}^m = S_{con1} + S_k^m + S_z^m \leq S_k$$

$$S_k \leq S_k^m$$

$$S_z^m \leq S_z,$$

где S_k^m – модифицированные потери от упущенной выгоды, S_z^m – модифицированные затраты на профилактику сбоев.

Тогда скорректированный объем продаж должен быть не меньше запланированного, все корректировки должны приводить к минимизации общих затрат, прибыль должна быть максимальной:

$$1) W_k = CX_k \geq W_{план}$$

$$2) S = S_{ln} X_k + S_{cs} \rightarrow \min$$

$$3) P_k = W_k - S_{ln} X_k - S_{cs} \rightarrow \max.$$

Профилактические затраты несколько увеличиваются, а затраты на восстановление, наоборот, снизятся, поскольку менеджмент не изменяет цены и переменные затраты, все показатели эффективности повышают свои значения: объем продаж, прибыль и т.д.

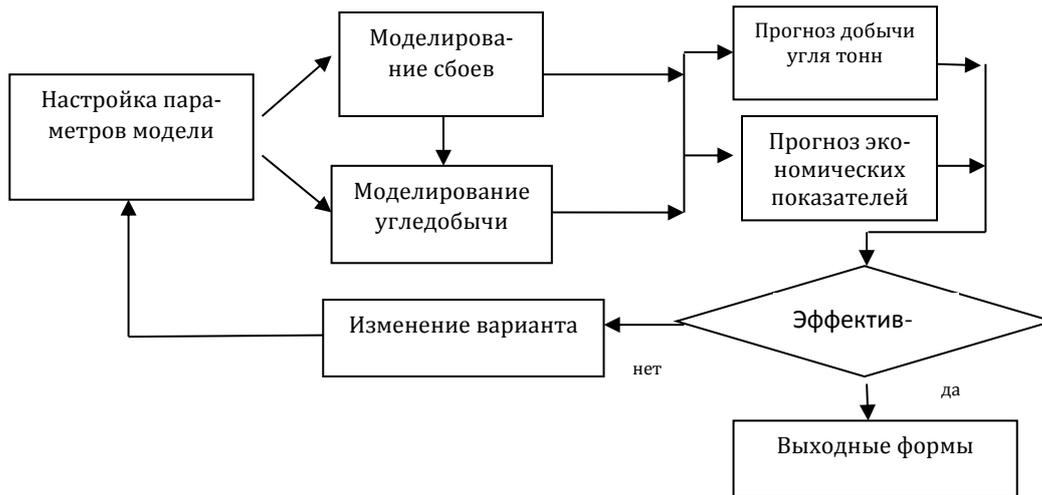


Рис. 2. Общая структура и порядок моделирования сбоев

В блоке «настройка параметров» осуществляется подготовка информационной базы, расчет средних и других параметров модели. В блоке «моделирование сбоев» моделируется динамика сбоев как случайный поток событий на основе концепции Монте-Карло и распределения Пуассона. Сбои поступают в блок «моделирование угледобычи» и нарушают запланированный производственный процесс угледобычи, который моделируется также на основе Монте-Карло и нормального закона распределения, параметры которого предварительно были определены по реальным статистическим данным. На основании взаимодействия блоков сбоев и угледобычи модель определяет прогноз объема угледобычи в тоннах и прогноз экономических показателей: объемы

продаж, маржинальной и валовой прибыли. Затем осуществляется оценка эффективности прогнозируемого варианта плана по максимуму прибыли и минимизации числа сбоев. Если план не удовлетворяет требованию эффективности, то модель настраивается на другой вариант и расчет повторяется, если эффективность удовлетворительная, моделирование прекращается. Предлагаемый подход позволяет существенно демпфировать риски производственных сбоев, сокращая потери за счет организации рациональной профилактической работы.

В дополнение следует добавить, что модель позволяет производить расчеты в интерактивном, человеко-машинном режиме.

Список литературы

1. Рожков А. А. Формирование и трансформация институциональной системы регулирования структурных преобразований в угольной отрасли и на углепромышленных территориях России // Уголь. 2018. № 2. С. 40–48.
2. Кондратьев Б. Минерально-сырьевые ресурсы как фактор экономического роста и глобальной конкурентоспособности // Горная промышленность. 2014. № 1. С. 6–11.
3. Чернов В.А. Анализ коммерческого риска. М.: Финансы и статистика, 2003. 128 с.
4. Астанина Л. А. Стохастические имитационные модели в управлении производством. Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. ун-та. 2000. 50 с.
5. Jay W., 1961. Forrester, Industrial Dynamics. Cambridge, MIT Press.
6. Исследование операций: в 2 т. / пер. с англ. под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. М.: Мир, 1981. 684 с.
7. Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. М.: Мир, 1975. 500 с.
8. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 1978. 420 с.
9. Аристов С.А. Имитационные системы поддержки принятия решений // Экономика и математические методы. 2007. Т. 43. № 3. С. 74–84.
10. Averill, M.L., Michael, G.M., 1998. Simulation of manufacturing systems. In the proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, pp: 49–52.
11. Al-Fawzan, M.A., Al-Hargan, A., 2014. Promoting techno-entrepreneurship through incubation: An overview at BA-DIR program for technology incubators. Innovation: Management, Policy and Practice, 16(2): 238–249.
12. Baniak, A., Dubina, I., 2012. Innovation Analysis and Game Theory: A Review, Innovation: Management, Policy and Practice, 14(2): 178–191.
13. Carayannis, E. G., Goletsis, Y., & Grigoroudis, E., 2015. Multi-level multi-stage efficiency measurement: the case of innovation systems. Operational Research: An International Journal, 15(2): 253–274.

14. Mezhov S.I., Mylnikov L.A., 2018. Specifics of Project Management on Industrial Innovation. In the Proceedings of the 2018 International Conference on Applied Innovation in IT. Volume 6. Issue 1. pp: 103-108 (WoS DOI:10.13142/kt10006.32).
15. Higgins R., 2012. Analysis for Financial Management, 10th edn, the McGraw-Hill/Irwin series in finance, insurance and real estate). New York, NY 10020.

References

1. Rozhkov A.A. *Formirovaniye i transformatsiya institutsional'noy sistemy regulirovaniya strukturnykh preobrazovaniy v ugol'noy otrasli i na uglepromyshlennykh territoriyakh Rossii* [Formation and transformation of the institutional system for regulating structural transformations in the coal industry and in the coal-industrial territories of Russia]. *Ugol'* [Coal], 2018, no. 2, pp. 40–48. (In Russian).
2. Kondrat'yev B. *Mineral'no-syr'yevyye resursy kak faktor ekonomicheskogo rosta i global'noy konkurentosposobnosti* [Mineral resources as a factor of economic growth and global competitiveness]. *Gornaya promyshlennost'* [Mining], 2014, no. 1, pp. 6–11. (In Russian).
3. Chernov V.A. *Analiz kommercheskogo riska* [Business Risk Analysis]. Moscow: *Finansy i statistika* [Finance and Statistics], 2003. 128 p. (In Russian).
4. Astanina, L. A. *Stokhasticheskiye imitatsionnyye modeli v upravlenii proizvodstvom* [Stochastic simulation models in production management]. Novosibirsk: *Izd-vo Novosib. gos. un-ta* [Novosibirsk State University Publishing House], 2000. 50 p. (In Russian).
5. Jay W., 1961. Forrester, Industrial Dynamics. Cambridge, MIT Press.
6. *Issledovaniye operatsiy / Pod red. Dzh. Moudera, S. Elmagrabi* [Operations research: in 2 volumes / trans. from English. Ed. J. Mowder, S. Elmagrabi]. Moscow: *Mir*, 1981. 684 p. (In Russian).
7. Neylor, T. *Mashinnyye imitatsionnyye eksperimenty s modelyami ekonomicheskikh sistem* [Machine simulation experiments with models of economic systems]. Moscow: *Mir*, 1975. 500 p. (In Russian).
8. Shennon, R. *Imitatsionnoye modelirovaniye sistem – iskusstvo i nauka* [Simulation systems modeling – art and science.]. Moscow: *Mir*, 1978. 420 p. (In Russian).
9. Aristov, S.A. *Imitacionnyye sistemy podderzhki prinjatija reshenij* [Simulation decision support systems]. *Ekonomika i matematicheskie metody* [Economics and Mathematical Methods], 2007, vol. 43, no. 3, pp. 74–84. (In Russian).
10. Averill, M.L., Michael, G.M., 1998. Simulation of manufacturing systems. In the proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, pp: 49–52.
11. Al-Fawzan, M.A., Al-Hargan, A., 2014. Promoting techno-entrepreneurship through incubation: An overview at BA-DIR program for technology incubators. *Innovation: Management, Policy and Practice*, 16(2): 238–249.
12. Baniak, A., Dubina, I., 2012. Innovation Analysis and Game Theory: A Review, *Innovation: Management, Policy and Practice*, 14(2): 178–191.
13. Carayannis, E.G., Goletsis, Y., & Grigoroudis, E., 2015. Multi-level multi-stage efficiency measurement: the case of innovation systems. *Operational Research: An International Journal*, 15(2): 253–274.
14. Mezhov S.I., Mylnikov L.A., 2018. Specifics of Project Management on Industrial Innovation. In the Proceedings of the 2018 International Conference on Applied Innovation in IT. Volume 6. Issue 1. pp: 103-108 (WoS DOI:10.13142/kt10006.32).
15. Higgins R., 2012. Analysis for Financial Management, 10th edn, the McGraw-Hill/Irwin series in finance, insurance and real estate). New York, NY 10020.

Для цитирования: Межов С. И., Черепанова Н. А. Планирование угледобычи топливно-энергетического предприятия как случайного процесса с использованием метода Монте-Карло // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2019. № 3. С. 92–98. DOI: 10.34130/2070-4992-2019-3-92-98

For citation: Mezhov S. I., Cherepanova N. A. Planning of coal mining of the fuel and energy enterprise as a random process using the Monte Carlo method // Corporate governance and innovative economic development of the North: Bulletin of the Research Center of Corporate Law, Management and Venture Capital of Syktvykar State University. 2019. No. 3. Pp. 92–98. DOI: 10.34130/2070-4992-2019-3-92-98