

Научная статья

DOI: 10.15593/2499-9873/2022.2.03

УДК 004.92+622.6

А.В. Затонский¹, П.А. Язев²

¹ Березниковский филиал Пермского национального
исследовательского политехнического университета, Березники, Россия

² Пермский национальный исследовательский политехнический
университет, Пермь, Россия

УТОЧНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГОРНО-ВЫЕМОЧНОЙ МАШИНЫ ПО ДАННЫМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

Обозначена важность планирования добычи руды для горнодобывающих предприятий. Приведена созданная имитационная модель, оснащенная открытыми и нормативными данными. Показаны значительные отклонения результатов моделирования от реальных данных месячной наработки комбайнов.

Поставлена цель уточнения модели на основе имеющихся реальных данных о работе комбайнов в шахте. В качестве источника таких данных предложено использовать данные об энергопотреблении двигателей комбайнов. Описан источник, из которого извлекается такая информация.

Приведена информация о двигателях комбайна, по анализу которых можно определить времена состояний комбайна. Всего таких двигателей 8, их последовательное включение и отключение позволяет понять время наступления четырех технологических операций, вносящих наибольший вклад в время работы комбайна. Приведен фрагмент алгоритма, по которому определяются соответствующие времена. Для анализа выбраны два комбайна, добыча которых сильнее всего отличается от модельной в сторону увеличения и уменьшения соответственно. Для обоих комбайнов определяются длительности выполнения отбойки руды и отгрузки руды с бункера – перегружателя на самоходный вагон.

Анализ данных комбайна, добывающего больше руды, чем получено в расчетах по модели, показал существование ранее не включенного в модель состояния комбайна – одновременной отбойки в бункер-перегрузатель и отгрузка руды из бункера-перегрузателя на самоходный вагон. После включения такого состояния в модель произведен новый расчет, показывающий увеличение модельного общего объема выработки. Кроме того, произведен анализ существующей стохастической задержки при отбойке руды. Произведены расчеты, показавшие, что её статистическое распределение может соответствовать отрицательному биномиальному.

Изучение данных для комбайна, добывающего меньше модельного объема, позволило оценить стохастическую задержку при отгрузке руды. Показано, что такая задержка также может соответствовать отрицательному биномиальному распределению. Одновременное включение двух таких задержек значительно снижает общий расчетный объем добычи.

В заключение делается вывод, что одновременное добавление в модель нового состояния и стохастических задержек с отрицательным биномиальным распределением значительно снижает погрешность моделирования.

Ключевые слова: имитационное моделирование, стохастическая модель, калийная руда, горно-выемочные работы, оснащение модели, протяжка бункера-перегрузателя, отбойка руды, отгрузка руды, электродвигатель, статистическое распределение, отрицательное биномиальное распределение.

A.V. Zatonskiy¹, P.A. Yazev²

¹ Berezniki Branch of Perm National Research Polytechnic University, Berezniki, Russian Federation

² Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

MINING MACHINE SIMULATION MODEL REFINEMENT ACCORDING TO THE ENGINES ENERGY CONSUMPTION DATA

The importance of mining factories planning for ore extraction is indicated. The created simulation model with open and normative data is presented. Significant deviations of the simulation results from the real data of the mining machines monthly operating time of are shown.

The goal is to refine the model with the available mining machine operation real data. As a source of data, it is proposed to use mining machines engines energy consumption. The source this information is described.

Information about the mining machine engines is given. That information can be used for mining machines analyzing to determine the times of the states. There are 8 such engines in total, their sequential switching on and off allows us to understand the time of 4 technological operations that make the greatest contribution to the mining machines operating time. A fragment of the algorithm which allows to determine the operations time is given. Two combines were selected with the production differs most from the model in the direction of increase and decrease. For both combines the duration of ore breaking and ore loading from the storage hopper to the self-propelled car is determined.

First, an analysis was made for the mining machine that breaks more ore than was obtained in the calculations. The analysis showed the existence of a previously undescribed state of the mining machine-simultaneous ore breaking into the storage hopper and ore loading from the storage hopper to a self-propelled car. After including that state in the model, a new calculation was made. Calculation shows increasing in the model total output. In addition, analysis was made of the existing stochastic delay during ore breaking. Analysis shows that statistical distribution stochastic delay can corresponds to a negative binomial distribution.

Further, the study of data for a mining machine with the producing less than the model amount was carried out. It allows to study the stochastic delay during ore loading. It is shown that such a delay can also correspond to a negative binomial distribution. The simultaneous inclusion of described delays significantly reduces the total estimated production amount.

In conclusion, it is discussed that the simultaneous addition of a new state and stochastic delays with a negative binomial distribution to the model significantly reduces the modeling error.

Keywords: simulation modeling, stochastic model, potash ore, mining and excavation, model equipment, storage hopper, ore breaking, ore loading, electric engine, statistical distribution, negative binomial distribution.

Калийные удобрения играют важную роль в мировом сельском хозяйстве, а для России приносят значительную часть экспорта ресурсов и налоговых поступлений. На шахтах Верхнекамского месторождения ПАО «Уралкалий» используются горно-выемочные машины (комбайны) различных моделей: «Урал-20Р», «Урал-10А» и др. В качестве одного из способов [1–3] такого планирования в ПАО «Уралкалий» применяется имитационное моделирование. Планирование добы-

чи руды для каждого комбайна затруднено, так как помимо непосредственно отбойки руды им выполняется ряд дополнительных технологических операций, кроме того, определение движения самоходного вагона также затруднено. Ранее нами была создана имитационная модель [4], однако на момент создания она оснащалась только данными из открытых источников и нормативными данными. В реальности они могут отличаться не только от предприятия к предприятию, но и в пределах одного рудника и даже пласта. Целью данной работы является уточнение модели на основе анализа реальных данных по добыче комбайнов. Для этого сначала требуется определить погрешность существующей модели сравнением получающихся результатов моделирования с реальной наработкой комбайнов в руднике. Далее в качестве решения задачи уточнения модели были взяты данные по энергопотреблению двигателей комбайнов. Для анализа и уточнения модели в данной работе исследуются комбайны «Урал-20Р», одни из используемых на рудниках ПАО «Уралкалий» в г. Березники, Пермский край [5; 6].

В качестве источника для оценки соответствия результата моделирования реальным данным выработки были взяты данные по работе нескольких одинаковых комбайнов за один месяц, работавших в одном пласте. Комбайны выполняют два типа работ – выработные и подготовительные, процент выполнений или иной работы каждой отдельной машиной в течение месяца может быть различны – от 0 до 100 %, этот процент для каждой машины нам известен. В модели был произведен расчет месячной выработки комбайна в зависимости от процента выполнения подготовительных работ (0, 50 и 100 %), и так как мы знаем, что график будет линейным, этих точек нам достаточно для построения такого графика зависимости. На рис. 1 представлен линейный расчетный график и точками показана реальная выработка комбайнов.

Как видим из данных рисунка, результаты моделирования соответствуют средним значениям, однако для части комбайнов данные значительно отличаются, причём как в сторону уменьшения (что было ожидаемо), так и в сторону увеличения. Максимальное отклонение в сторону уменьшения составляет 34,5 %, в сторону увеличения – 28 %, это является погрешностью для оригинальной модели. В нашей модели для заложенных регламентных данных невозможно получить значения

выработки больше, чем показано на расчетном графике, следовательно, должны быть внесены изменения в саму модель.

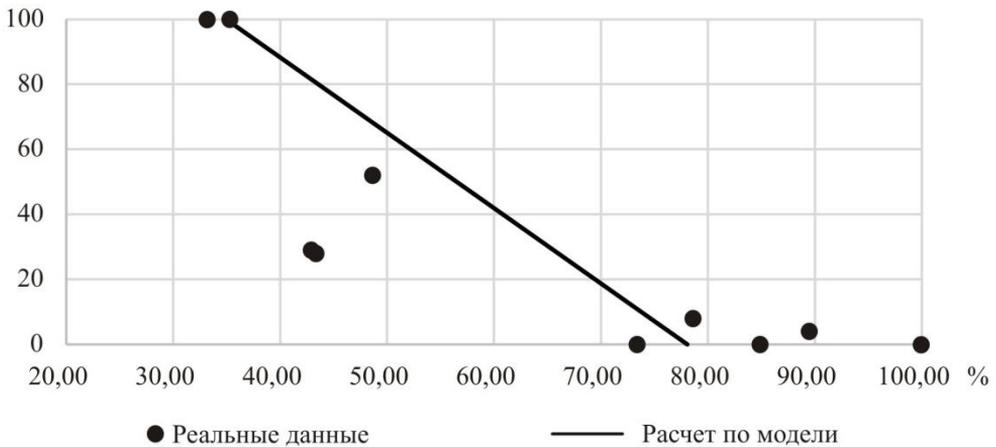


Рис. 1. Сравнение расчетных данных модели с реальными данными*

Непосредственное исследование работы комбайнов для уточнения модели затруднено, так как требуется проведение длительного (порядка как минимум одного месяца) постоянного наблюдения за несколькими комбайнами с высокой точностью измерения времени (многие операции длятся 1–3 минуты и постоянно сменяют друг друга). Поэтому для оснащения модели были взяты полученные нами данные по энергопотреблению двигателей отдельных комбайнов при работе на одном пласте в течение одного месяца [7]. Из имеющегося файла, содержащего соответствующие данные, были извлечены показатели времени начала и окончания работы каждого отдельного двигателя комбайна. Каждому изменению состояния комбайна соответствует отключение или включение одного или нескольких двигателей, за время в один месяц количество строк в таком файле составляет 50–100 тысяч (которые при непосредственном измерении надо было бы каким-то образом записывать). Для определения времени начала и окончания технологических операций комбайна требуется извлечь данные восьми

* Приведены авторские результаты.

электродвигателей: привод пылеотсоса, привод конвейера, привод бермового органа, привод переносного вращения, привод насосной станции, привод вентилятора, привод режущих дисков, привод отбойного устройства [8].

Среди всех технологических параметров наибольшее влияние в модели оказывают время выполнения четырех операций с нефиксированным временем выполнения: отбойка руды, отгрузка руды из бункера-перегрузжателя в самоходный вагон, отгон комбайна и выполнение ремонта. Исходя из сказанного, следует определить, каким образом из информации о времени начала и окончания работы двигателей получить данные о времени технологических операций.

Операция по отбойке начинается с последовательного включения следующих электродвигателей: вентилятора, пылеотсоса, насосной станции, конвейера, бермового органа, режущих дисков и переносного вращения. После этого, пока все указанные двигатели работают, происходит операция по отбойке руды.

Из состояния отбойки руды комбайн может перейти в одно из трех состояний, которые учитываются в нашей работе: отгрузка руды на самоходный вагон, отгон и различные простои (ТО, перерывы, пересменки и т.д.). При начале перегрузке руды отключаются двигатели конвейера и бермового органа. При отгоне работают только двигатели вентилятора, пылеотсоса и насосной станции, может работать бермовый орган. В случае отключения всех двигателей комбайн переходит в состояние простоя по любым причинам, причину простоя можно определить в дальнейшем только по его длительности. Фрагмент блок-схемы алгоритма по определению выполняемого состояния комбайном, реализующий описанный случай, показан на рис. 2.

Из перечисленных операций на горизонте в течение месяца имеет смысл исследовать только отбойку и отгрузку, поскольку для исследуемых комбайнов в исследуемые месяцы не было выполнено ремонтов, а расстояние отгона не является фиксированным. Определить время и интервалы других состояний для реальных данных затруднительно, так как одни и те же двигатели останавливаются при различных технологических операциях, а пройденное комбайном расстояние из этих данных получить невозможно, следовательно, все остальные переходы учитываться не будут.

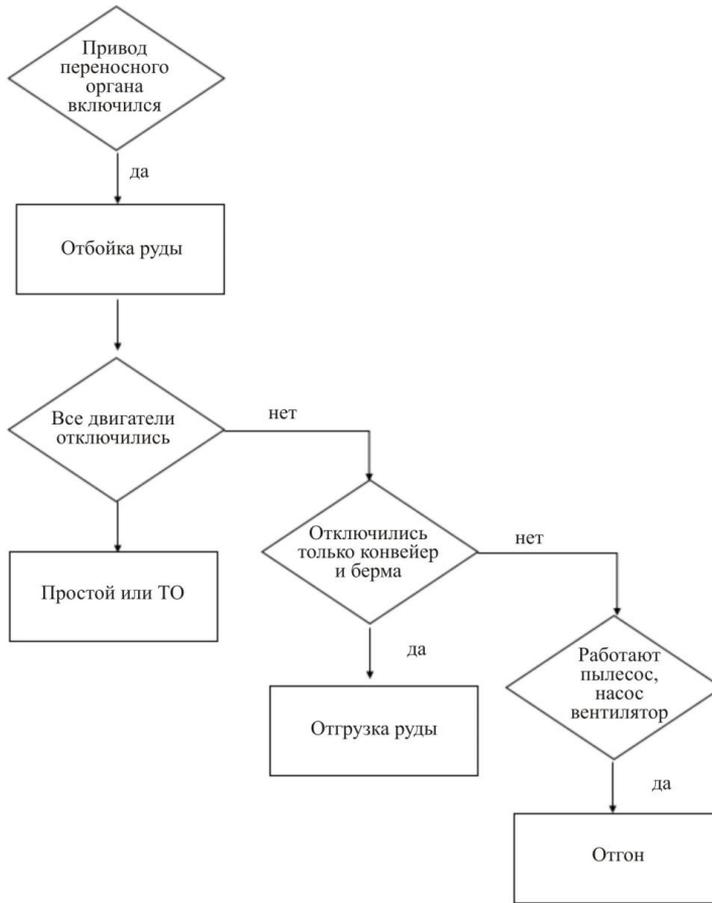


Рис. 2. Фрагмент блок-схемы алгоритма по определению выполняемого состояния комбайном*

Для исследования вышеописанным способом были выбраны два комбайна, показатели добычи которых сильнее всего отличаются от расчетных модельных результатов в большую и меньшую стороны соответственно. Поскольку комбайны, добыча которых меньше отличается от модельных значений, либо могут не иметь таких отклонений от нормативных значений, либо они компенсируют друг друга, и их поиск и идентификация сложнее, чем для выбранных нами. Для первого комбайна, выполнившего самый большой объем добычи, был построен график распределения времени отбойки руды (рис. 3).

* Приведены авторские результаты.

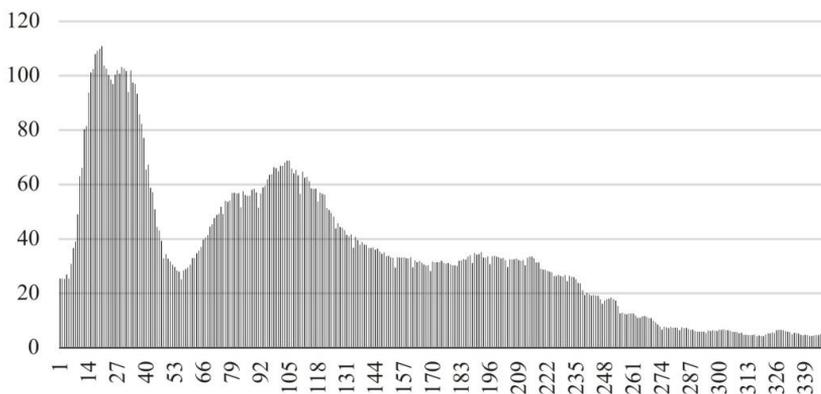


Рис. 3. Время выполнения отбойки руды*

График времен отбойки имеет три локальных пика. В нашей модели никаким образом невозможно получить больше одного пика. Следовательно, необходимо найти такое, не описанное ранее состояние реального комбайна, связанное непосредственно с отбойкой руды, которое после включения в модель способно привести к появлению двух таких пиков. После общения с заказчиком было выяснено, что комбайн может иметь дополнительное состояние, не описанное в нормативных документах, – одновременную отбойку руды и отгрузку отбитой руды на самоходный вагон. Чтобы доказать, что в данной ситуации имеет место такое состояние, проверим времена протяжки бункера-перегрузателя (рис. 4).

На показанном графике наблюдаются три локальных пика, как и предполагалось для ситуации с новым состоянием «одновременная отбойка и отгрузка». Первый пик соответствует коротким протяжкам для равномерного наполнения бункера-перегрузателя, требующимся для полного заполнения бункера-перегрузателя, третий пик соответствует разгрузке полностью загруженного бункера-перегрузателя. Второй пик в данном случае соответствует именно разгрузке не полностью загруженного бункера-перегрузателя при одновременной отбойке и отгрузке.

Таким образом, возникает задача добавления в созданную ранее имитационную модель нового состояния – одновременную отбойку руды и её выгрузку в самоходный вагон. После модификации модели

* Приведены авторские результаты.

соответствующим образом необходимо изучить, насколько такое изменение способно изменить общий объем выработки в модели. На рис. 5 представлен расчет по модифицированной модели добычи для двух вариантов добычи на камерах длиной 100 и 200 метров и для случаев с количеством комбайнов на одной точке разгрузки от 1 до 10.

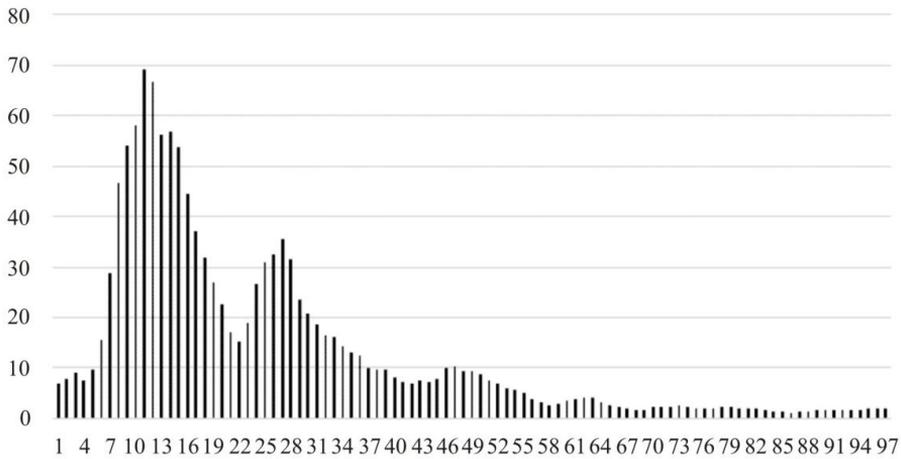


Рис. 4. Время выполнения протяжки бункера-перегрузателя

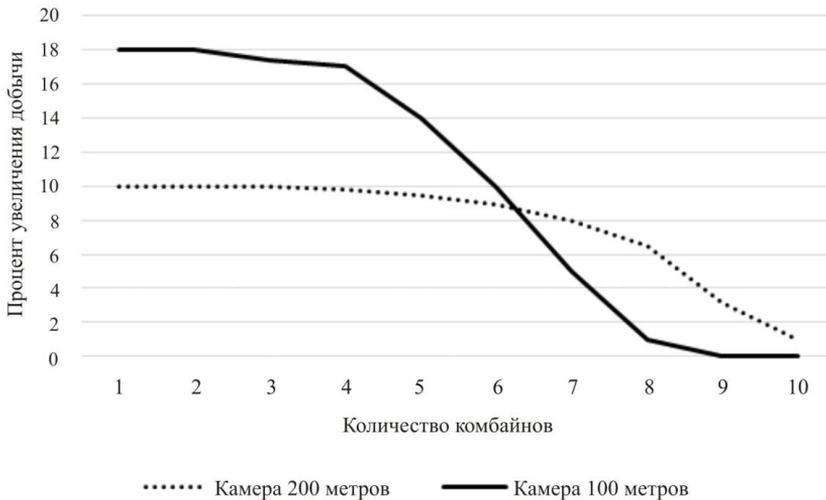


Рис. 5. Расчет добычи в модифицированной модели*

* Приведены авторские результаты

При работе на длинных камерах общий объем отбитой руды в модели увеличивается на величину до 10 %, при работе на коротких камерах – до 18 %, но только при небольшом (1–2) количестве комбайнов на точке разгрузки. Отдельно было выяснено, что иногда наблюдаются длительные промежутки времени, в течение которых комбайн должен был остановиться для выполнения вспомогательных технологических операций, но не делал этого. От заказчика были получены пояснения, что определенные комбайны могут делать часть таких операций без остановки работы (в частности шпуровое бурение). Соответствующая модификация модели увеличит общий объем выработки дополнительно на 2 %.

Многие исследования [9–13] указывают на возможность существования в такого рода модели стохастической задержки, но её закон статистического распределения неизвестен. Поэтому для графика на рис. 3 было оценено, какой закон статистического распределения может быть применен для задержки при отбойке руды. Для этого была выделена правая часть графика от третьего локального пика 180 секунд до конца графика. Отметка 180 секунд взята как нормативное время заполнения бункера-перегрузателя, все дальнейшие времена точно содержат такую задержку. Как известно, результаты имитационного моделирования могут в значительной степени зависеть от выбранной модели случайного распределения [14]. Из формы графика можно сделать предположение, что из исследованных нами распределений [15] наиболее близко ему соответствует отрицательное биномиальное. Для проверки этой гипотезы вычислим критерий Пирсона, результат вычислений представлен в таблице.

Вычисление χ^2 -критерия согласия для отрицательного биномиального распределения*

Интервал	Наблюдаемое время t_o	Теоретическое время t_e	$(t_o - t_e)^2 / t_e$
1 – 11	238	228,9	0,360
11 – 21	186	196,6	0,577
21 – 31	136	137,9	0,028
31 – 41	90	107,1	2,732
41 – 51	76	83,1	0,615

* Приведены авторские результаты

Окончание таблицы

Интервал	Наблюдаемое время t_o	Теоретическое время t_e	$(t_o - t_e)^2 / t_e$
51 – 61	75	64,5	1,690
61 – 71	60	50,1	1,950
71 – 81	40	38,9	0,030
81 – 91	33	30,2	0,258
91 – 101	35	23,4	5,691
–	–	–	–
–	–	χ^2	13,936

Примем уровень значимости равным 0,05, найденное значение χ^2 – статистики для 8 степеней свободы (10 независимых интервалом минус 2 независимых переменных) равно 15,507. Вычисленное $\chi^2 = 13,936 < 15,507$, поэтому получившееся распределение может быть отрицательным биномиальным. Как было рассчитано ранее, применение задержки с отрицательным биномиальным распределением к времени состояния «отбойка руды» может снизить результат моделирования на 21,85 %, следовательно, реализовав такое изменение в модели, мы можем добиться улучшения модели на 21,85 %.

Для того же самого комбайна построим аналогичный график для отгрузки руды из бункера-перегрузателя в самоходный вагон (рис. 6).

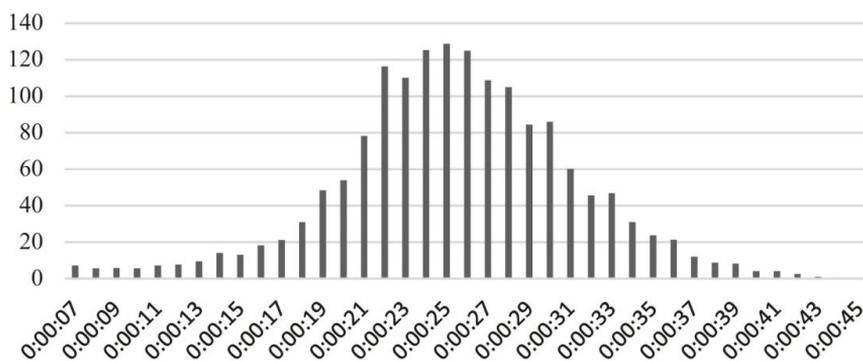


Рис. 6. Время выполнения отгрузки для первого комбайна*

Из графика видно, что для данного комбайна сложно определить задержку при отгрузке руды, так как практически все времена отгрузки

* Приведены авторские результаты.

укладываются в нормативные, а определить задержку при отгрузке неполного БП невозможно.

Аналогичное исследование проведено для другого комбайна, количество отбитой руды которым за месяц значительно меньше расчетного (рис. 7 и 8).

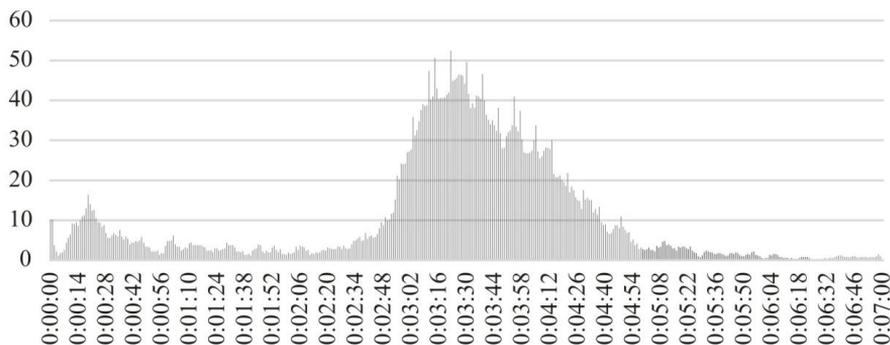


Рис. 7. Время выполнения отбойки руды для второго комбайна*

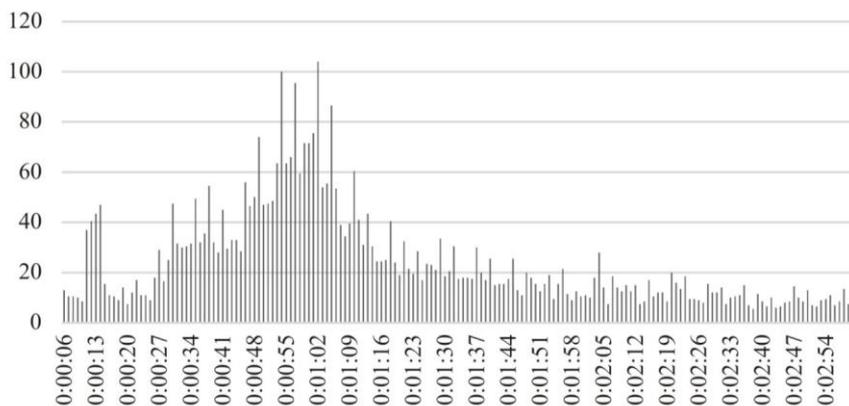


Рис. 8. Время выполнения отгрузки руды для второго комбайна*

Для этого комбайна мы видимо совершенно иную ситуацию – комбайн практически не работал в режиме неполного заполнения бункера-перегрузателя, при этом практически все времена добычи больше нормативного (180 секунд), следовательно, для моделирования этого комбайна добавление задержки значительно сказывается на общем объёме моделируемого количества руды (21,85 %, как указано выше).

* Приведены авторские результаты.

На графике отбойки руды также видна задержка времени отгрузки (все времена больше 50 секунд содержат её). Проведя оценку возможности того, что распределение этой задержки также может подчиняться отрицательному биномиальному распределению по χ^2 -критерию с уровнем значимости равным 0,05, найденное значение χ^2 – статистики для 8 степеней свободы = 15,507, вычисленное $\chi^2 = 14,1 < 15,50$, получаем, что распределение для отгрузки руды также может подчиняться этому закону. Из ранее вычисленных значений общее улучшение модели при имплементации такой задержки с отрицательным биномиальным распределением может достигать 4,4 %, а общее улучшения модели для обеих задержек составит 26,25 %.

После изменения модели путем добавления нового состояния и стохастической задержки проведем новые расчеты по модели и построим соответствующие линии на график из рис. 1. Получившийся график представлен на рис. 9.

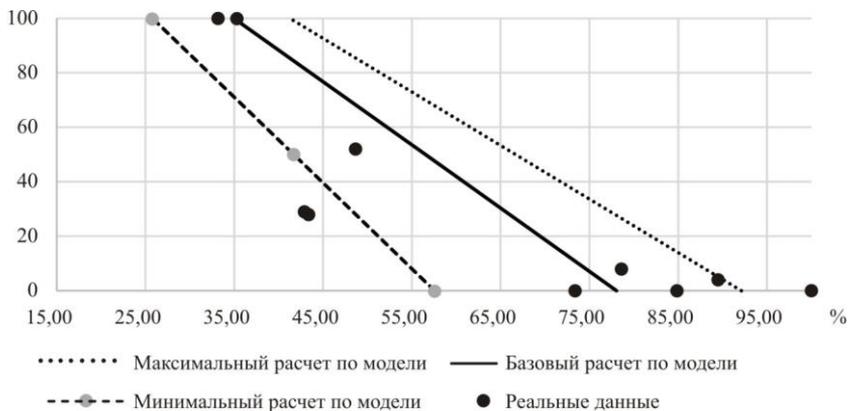


Рис. 9. Сравнение расчетных данных модифицированной модели с реальными данными

На новом графике погрешности модели показывают только точки, не лежащие внутри области, ограниченной крайней правой и крайней левой линией. Применение всех изменений модели позволило снизить погрешность моделирования с 34,5 до 8,25 % в сторону уменьшения добычи по сравнению с модельными данными и с 28 до 8 % в сторону увеличения добычи по сравнению с модельными данными.

* Приведены авторские результаты.

Таким образом, исследование показало значительный диапазон значений реальной месячной отбойки руды комбайном по сравнению со значениями, полученными моделированием на основе нормативных данных. Для улучшения модели были проанализированы данные об энергопотреблении двигателей комбайна. Было показано, что существуют два ранее не предусмотренных в модели случая – новое состояние одновременной отбойки руды и отгрузки руды на самоходный вагон и изменение в существующих состояниях добавлением возможности выполнять заданный пользователем модели процент вспомогательных операций без остановки работы комбайна. Реализация таких изменений в модели позволяет улучшить точность моделирования на 20 % в сторону увеличения количества добытой руды. Отдельно были проанализированы задержки при отбойке руды и отгрузке отбитой руды на самоходный вагон. Показано, что их распределение может подчиняться отрицательному биномиальному распределению. Реализация задержек с соответствующим распределением в модели позволяет улучшить точность моделирования на 26,25 % в сторону уменьшения количества отбитой руды. Улучшение модели соответствующим образом позволяет снизить погрешность моделирования с 34,5 и 28 % до 8,25 и 8 % соответственно. Применение обоих указанных улучшений полностью ложится на сторону пользователя системы, так как оно зависит от параметров отдельного комбайна и его персонала, необходимость учитывать уменьшение или увеличение добычи может быть определено только из всех предыдущих объемов добычи каждого комбайна.

Список литературы

1. Шек В.М., Соболева М.Ю. Использование имитационного моделирования для оптимизации проведения горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 10. – С. 201–205.
2. Конюх В.Л. Компьютерное моделирование динамики горных работ // Горный журнал. Изв. вузов. – 2002. – № 6. – С. 16–24.
3. Копылов К.Н., Решетняк С.Н., Кубрин С.С. Имитационное моделирование системы электроснабжения выемочного участка угольной шахты // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 12. – С. 40–50.
4. Разработка имитационной модели для планирования горно-выемочных работ / С.А. Варламова, Ю.И. Володина, А.В. Затонский, П.А. Язев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 10. – С. 214–222. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-100-214-222.

5. Проходческо-очистные комбайны «Урал» для добычи калийной руды и каменной соли / В.В. Семенов, М.А. Мальчер, В.П. Петров, С.П. Морозов // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 8. – С. 17–21.

6. Moving objects control under uncertainty / I.S. Kobersy, D.V. Shkurkin, A.V. Zatonskiy, J.I. Volodina, T.V. Safyanova // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11, № 5. – P. 2830–2834.

7. Язев П.А. Оснащение модели деятельности горно – выемочного комплекса по данным об энергопотреблении // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы всероссийской научно-технической конференции. – Пермь, 2021. – Т. 1. – С. 281–284.

8. Комбайн проходческо-очистной «Урал-20Р»: руководство по эксплуатации 41.00.00.000.РЭ

9. Применение имитационного моделирования для оценки вариантов отработки выемочного блока короткими забоями / В.В. Зиновьев, А.Н. Стародубов, П.И. Николаев, И.С. Кузнецов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 48. – С. 181–193. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-48-181-193

10. Непша Ф.С., Воронин В.А., Ермаков А.Н. Методология имитационного компьютерного моделирования системы электроснабжения выемочного участка угольной шахты // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 6(152). – С. 59–67.

11. Кузнецов И.С. Зиновьев В.В., Стародубов А.Н. Исследование влияния внеплановых простоев горных машин на добычу угля открыто-подземным способом методом имитационного моделирования // Уголь. – 2020. – № 9. – С. 10–13. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-9-10-13.

12. Okolnishnikov V.V., Rudometov S.V. A System for Computer Simulation of Technological Processes. // St. Petersburg State Polytechnic University Journal. Computer Science. Telecommunications and Control Systems. – 2014. – Vol. 181, iss. 1. – P. 62–68.

13. Wang G., Zhao G., Ren H. Analysis on key technologies of intelligent coal mine and intelligent mining, Meitan Xuebao // J. China Coal Soc. – Vol. 44 (1). – 2019. – P. 34–41.

14. Затонский А.В., Уфимцева В.Н. Разработка объектных средств имитационного и многоагентного моделирования производственных процессов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2018. – № 4. – С. 56–62.

15. Затонский А.В., Язев П.А. Исследование влияния выбора моделей статистических распределений случайной величины на результаты моделирования горно – выемочных работ // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 130–137.

References

1. Shek V.M., Soboleva M.Yu. Using Simulation to Optimize Mining Operations: *MIAB. Mining Information and Analytical Bulletin*. 2005, no. 10, pp. 201-205.
2. Koniukh V.L. Komp'iuternoe modelirovanie dinamiki gornykh работ: *Gornyi zhurnal. Izv. Vuzov*, 2002, no 6, pp. 16-24.
3. Kopylov K.N., Reshetniak, S.N., Kubrin S.S. Imitatsionnoe modelirovanie sistemy elektrosnabzheniia vyemochnogo uchastka ugol'noi Shakhty: *MIAB. Mining Information and Analytical Bulletin*. 2016, no. 12, pp. 40-50.
4. Varlamova S.A., Volodina Yu.I., Zatonskiy A.V., Yazev P.A. Simulation Model for Planning Mining Operations: *MIAB. Mining Information and Analytical Bulletin*, 2019, no. 10, pp. 214–222. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-214-222.
5. Semenov V.V., Mal'cher M.A., Petrov V.P., Morozov S.P. Prokhodchesko – ochistnye kombainy «Ural» dlia dobychi kaliinoy rudy i kamennoy soli: *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2008, no 8, pp. 17-21.
6. Kobersy I.S., Shkurkin D.V., Zatonskiy A.V., Volodina J.I., Safyanova T.V. Moving objects control under uncertainty: *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2016, vol. 11, no. 5, pp. 2830-2834.
7. Yazev P.A. Osnashchenie modeli deiatel'nosti gorno-vyemochnogo kompleksa po dannym ob energopotreblenii: *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniia i informatsionnye tekhnologii: materialy vserossiiskoy nauchno – tekhnicheskoy konferentsii*. Perm', 2021, vol. 1, pp. 281-284.
8. Kombain prokhochesko-ochistnoi «Ural-20R». Rukovodstvo po ekspluatatsii 41.00.00.000.RE
9. Zinov'ev V.V., Starodubov A.N., Nikolaev P.I., Kuznetsov I.S. Simulation Use for Evaluation of Working Block Mining Variants in Pillar Mining: *MIAB. Mining Information and Analytical Bulletin*, 2018, no. 48, pp. 181–193. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-48-181-193
10. Nepsha F.S., Voronin V.A., Ermakov A.N. Metodologiya imitatsionnogo komp'iuternogo modelirovaniia sistemy elektrosnabzheniia vyemochnogo uchastka ugol'noi Shakhty: *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2020, no. 6(152), pp. 59-67.
11. Kuznetsov I.S. Zinov'ev V.V., Starodubov A.N. Issledovanie vliyaniya vneplanovykh prostoev gornykh mashin na dobychu uglya otkryto-podzemnym sposobom metodom imitatsionnogo modelirovaniya. *Ugol'*, 2020, no. 9, pp. 10-13. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-9-10-13.
12. Okolnishnikov V.V., Rudometov S.V. A System for Computer Simulation of Technological Processes: *St. Petersburg State Polytechnic University Journal. Computer Science. Telecommunications and Control Systems*, 2014, vol. 181, iss. 1, pp. 62-68.
13. G. Wang, G. Zhao, H. Ren, Analysis on key technologies of intelligent coal mine and intelligent mining, Meitan Xuebao: *J. China Coal Soc*, vol. 44 (1) (2019), pp. 34-41.

14. Zatonский A.V., Ufimtseva V.N. Development of Object Tools for Simulation and Multi – Agent Modeling of Production Processes: *Vestnik Astrahanskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta. Serija: Upravlenie, Vychislitel'naja Tehnika i Informatika*, 2018, no. 4, pp. 56-62.

15. Zatonский A.V., Yazev P.A. Investigation of the random value statistical distributions models choice influence on the mining operations modeling results: *Vestnik Iuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Komp'uternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika*. 2021, vol. 21, no. 3, pp. 130-137.

Сведения об авторах

Затонский Андрей Владимирович (Березники, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация технологических процессов», Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета (Россия, 618400, г. Березники, ул. Химиков, 10, e-mail: zxenon@narod.ru).

Язев Павел Александрович (Пермь, Россия) – аспирант кафедры ИТАС, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Россия, 618400, г. Березники, ул. Химиков, 10, e-mail: yazev1988@gmail.com).

About the authors

Andrei V. Zatonский (Berezniki, Russian Federation) – Dr. Habil. in Engineering, Professor, Head of the Department of Department of Technological Processes Automation, Perm National Research Polytechnic University (10, Himikov st., Berezniki, 618400, Russian Federation, e-mail: zxenon@narod.ru).

Pavel A. Yazev (Perm, Russian Federation) – Ph.D. Student, Perm National Research Polytechnic University (10, Himikov st., Berezniki, 618400, Russian Federation, e-mail: yazev1988@gmail.com)

Библиографическое описание статьи согласно ГОСТ Р 7.0.100–2018:

Затонский, А.В. Уточнение имитационной модели горно-выемочной машины по данным энергопотребления двигателей / А. В. Затонский, П. А. Язев. – текст : непосредственный. – DOI: 10.15593/2499-9873/2022.2.03 // Прикладная математика и вопросы управления = Applied Mathematics and Control Sciences. – 2022. – № 2. – С. 54–70.

Цитирование статьи в изданиях РИНЦ:

Затонский, А.В. Уточнение имитационной модели горно-выемочной машины по данным энергопотребления двигателей / А. В. Затонский, П. А. Язев // Прикладная математика и вопросы управления. – 2022. – № 2. – С. 54–70. DOI: 10.15593/2499-9873/2022.2.03

Цитирование статьи в references и международных изданиях

Cite this article as:

Zatonskiy A.V., Yazev P.A. Mining machine simulation model refinement according to the engines energy consumption data. *Applied Mathematics and Control Sciences*, 2022, no. 2, pp. 54–70. DOI: 10.15593/2499-9873/2022.2.03 (in Russian)

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Поступила: 15.04.2022

Одобрена: 03.06.2022

Принята к публикации: 03.06.2022