

МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОБЫЧИ КАЛИЙНОЙ РУДЫ

RESEARCH OF OPPORTUNITIES TO INCREASE POTASSIUM ORE MINING BY MODELING

P. Yazev

Summary. The article proposes the factors of the mining machine that can increase in ore production. It is shown that the speed of a self-propelled car can also be considered as such a factor. The calculation of the maximum increase in production with a change in all the proposed factors was made. The total increase in production is calculated for cases with a deterministic and stochastic model. Further the factors with not requirement additional economic costs and technological changes were determined, and a possible increase in production was calculated with only such factors changing.

Keywords: potash ore, mining machine, simulation model, control parameters.

Язев Павел Александрович

Аспирант, ФГАОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»
yazev1988@gmail.com

Аннотация. В статье предлагаются управляемые факторы в работе горно-выемочной машины, изменение которых способно привести к увеличению добычи руды. Показано, что скорость самоходного вагона также может считаться таким фактором. Произведен расчет максимального возможного увеличения добычи при изменении всех предложенных факторов. Общее увеличение добычи рассчитано для случаев с детерминированной и стохастической моделью. Из всех указанных факторов выделены те, изменение которых не требует дополнительных экономических затрат и технологических изменений, рассчитано возможное увеличение добычи при изменении только таких факторов.

Ключевые слова: калийная руда, горно-выемочная машина, имитационная модель, управляющие факторы.

Введение

При работе любого горного предприятия важную роль играет планирование добычи руды. Возможным способом уточнения планов является имитационное моделирование горных работ [1,2]. В рамках такого использования имитационной модели возможно также проведение расчетов, позволяющих определить возможные способы увеличения добычи комбайна, которое технологически возможно в рамках существующих нормативов. Ранее нами была создана имитационная модель работы системы горно-выемочных машин [3]. Основой для модели является объектно-ориентированная библиотека, разработанная на кафедре автоматизации технологических процессов Березниковского филиала ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» [4]. С её помощью можно моделировать сложные и многосвязные системы массового обслуживания, активные и многоагентные системы.

В созданной модели реализовано моделирование работы нескольких комбайнов в границах одного пласта на произвольном интервале времени. Концептуальная структура данных модели и её связей с горно-геологической информационной системой предприятия (ГИС) показана на рис 1.

Каждый комбайн и его самоходный вагон моделируется как отдельный элемент системы на основе его физических и технологических параметров: физических размеров, грузоподъёмности, скорости проходки, времен выполнения вспомогательных операций и т.д. В модели выполняется следующая последовательность действий каждым комбайном, выполняющим очистные работы: отбойка руды; отгрузка отбитой руды на самоходный вагон; транспортировка руды самоходным вагоном до точки разгрузки; отгрузка руды с самоходного на точку разгрузки, являющуюся частью конвейерной системы. После окончания выполнения очистки камеры (при достижении комбайном заданного расстояния от начала камеры) комбайн отгоняется к началу камеры, в дальнейшем определяется его следующая задача — подрубка или переход к следующей камере. Все выполняемые комбайном и самоходным вагоном операции и переходы между ними показаны на рис. 2.

Верхний уровень модели позволяет пользователю задать программу действий каждого комбайна, включающую очистку камер, перегон, регламентные и другие работы, отображенные на рис. 3. Глобальные параметры (например, параметры пласта) задаются один раз для всех комбайнов или экспортируются из ГИС.

Модель на момент создания была оснащена детерминированными данными, предоставленными предприя-

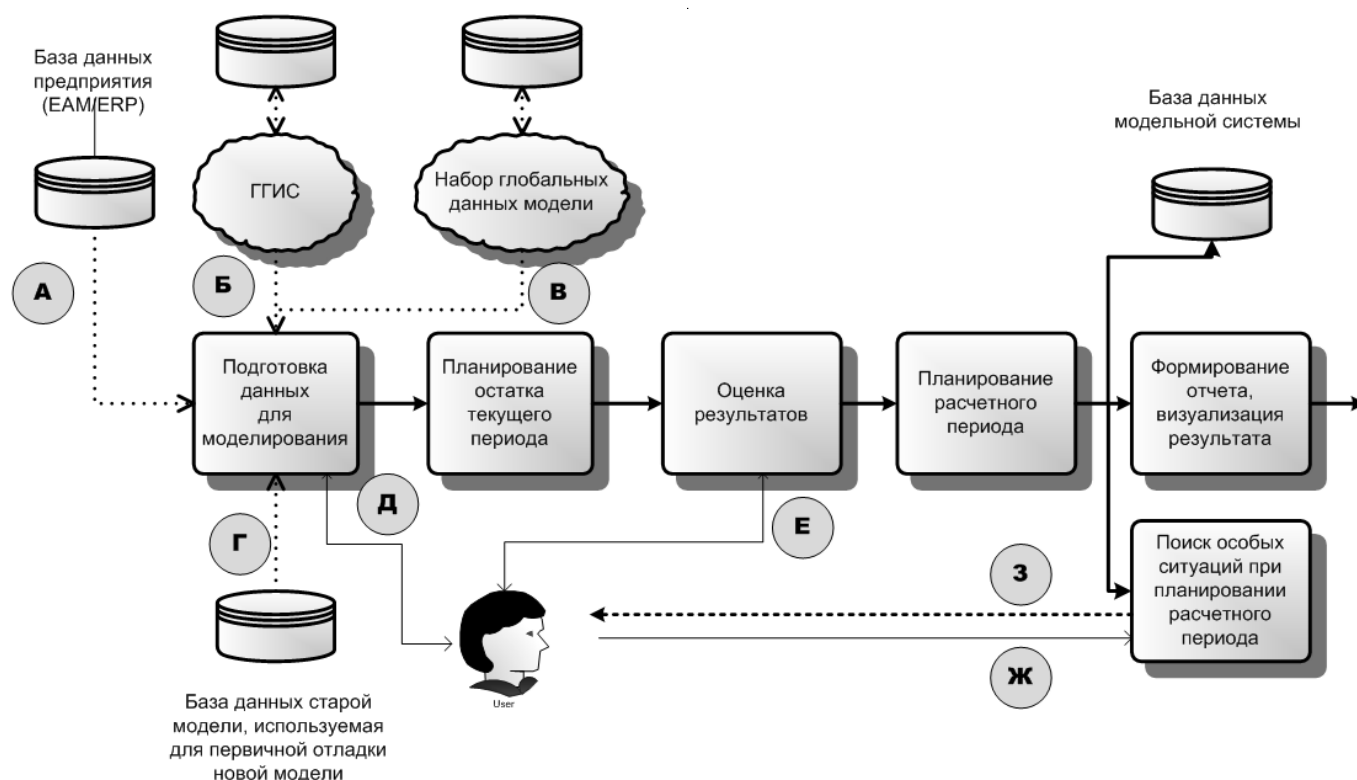


Рис. 1. Общая схема передачи информации для использования модели

тием или полученными из открытых источников [5,6]. Далее модель была уточнена с использованием данных об энергопотреблении двигателей комбайна, а также был показан стохастический характер времен выполнения технологических операций.

Из практики известно, что принципиально комбайн способен работать с большей производительностью, чем это допускают исходные параметры модели. При этом не нарушаются нормы производства и технологические ограничения. Следовательно, представляет интерес исследование возможностей распространения такого опыта на все комбайны с целью общего увеличения добычи руды. Целью работы является использование модели для исследования возможностей снизить невынужденные простои комбайнов, нормативно составляющие до 10–20% рабочего времени, увеличить месячную добычу руды, не затрагивая технологических процессов и процессов, связанных с безопасностью добычи, и оценить возможный эффект от таких изменений

Материалы,
исследование и результаты

Вынужденные простои комбайнов вызваны технологическими остановками (вентиляционное бурение, перенос энергосборок и т.д.) и периодическими оста-

новками. Невынужденные остановки обычно возникают при невозможности самоходного вагона достичь горного комбайна до момента заполнения его бункера-перегрузателя. На такие простои потенциально могут влиять следующие факторы: длина отбойной камеры, расстояние от точки разгрузки до начала отбойной камеры (т.е. длина пробега самоходного вагона) и емкости самоходного вагона и бункера-перегрузателя [7, 8]. Эти факторы можно менять, причем их изменение не затрагивает другие технологические процессы и другие объекты [9]. Помимо указанных факторов, можно выделить также скорость вагона при передвижении от комбайна до точки разгрузки и обратно. Для данного фактора логичным является выбор нормативного ограничения, однако для всех моделей комбайнов и самоходных вагонов используется расчетная скорость, часто в виде средней скорости. Поэтому было проведено измерение по данным об энергопотреблении времени, затрачиваемого вагоном на транспортировку руды до точки разгрузки и возвращение обратно к комбайну. В этом времени также присутствует время на разгрузку руды из самоходного вагона, которым можно пренебречь для данного случая, т.к. максимальная скорость разгрузки задается параметрами оборудования. Результат представлен на рис 4.

На рис. 4. представлены 3 графика — расчет времени ожидания комбайном по модели, линейный расчет

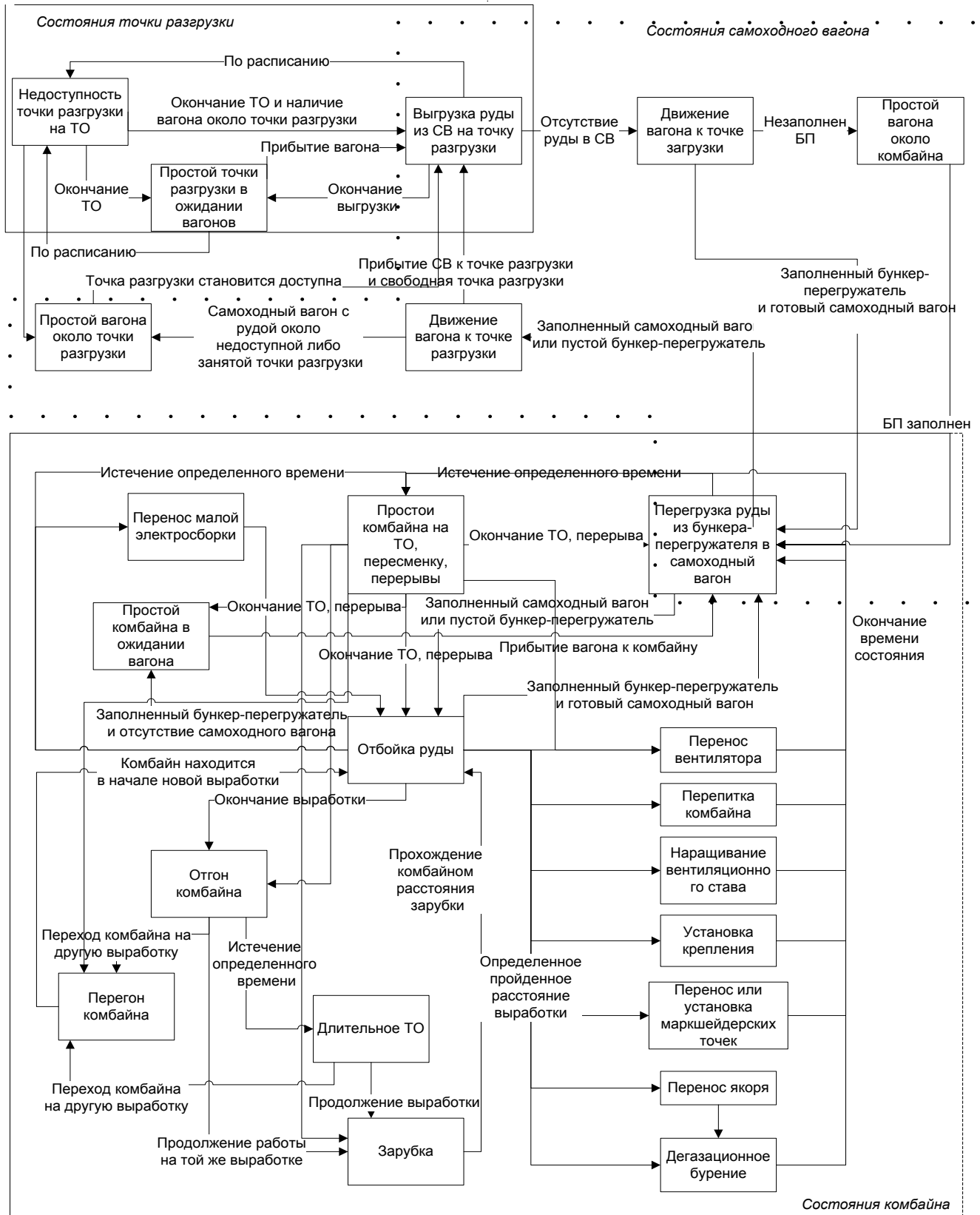


Рис. 2. Операции комбайна, самоходного вагона и переходы между ними

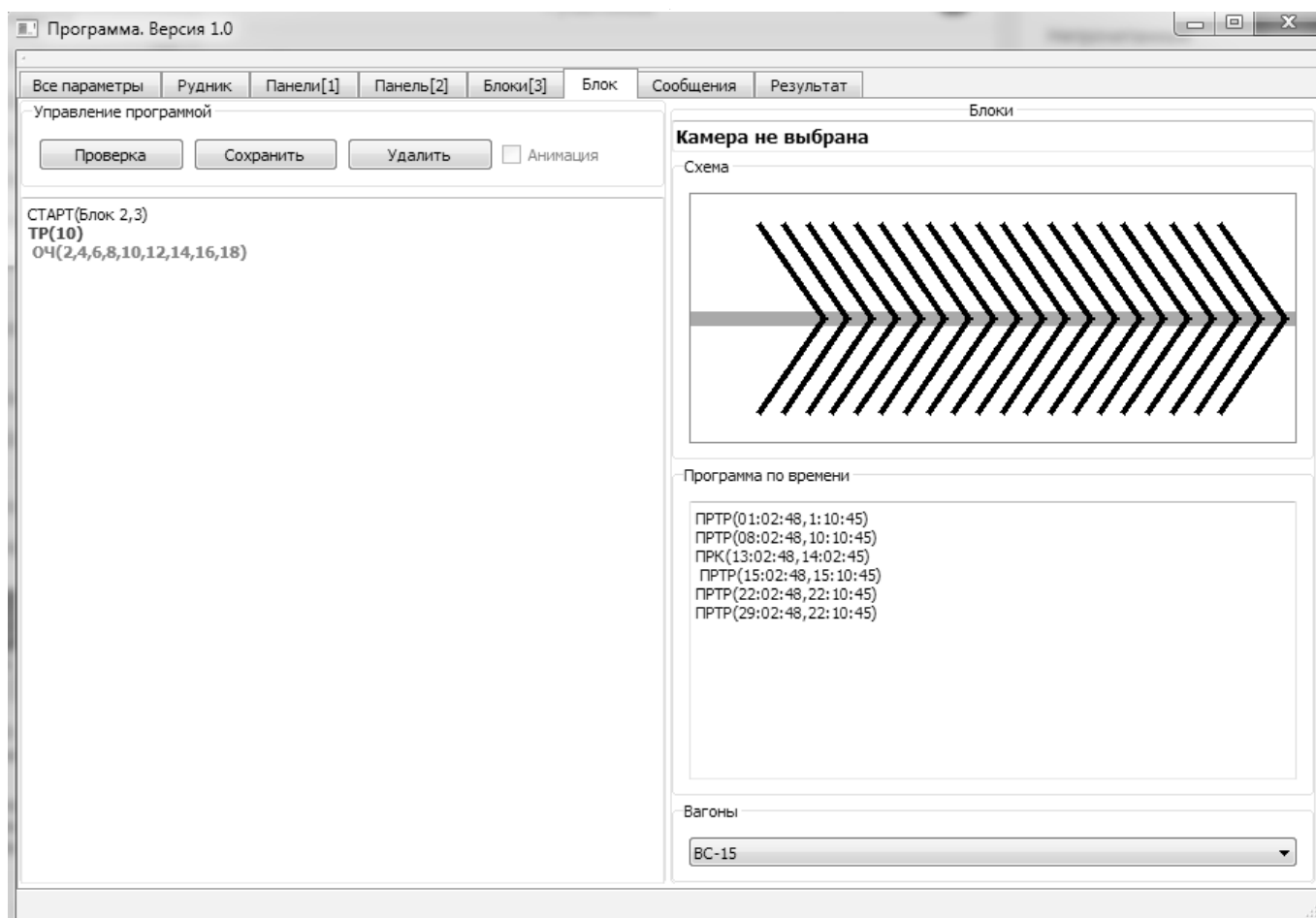


Рис. 3. Интерфейс пользователя модели

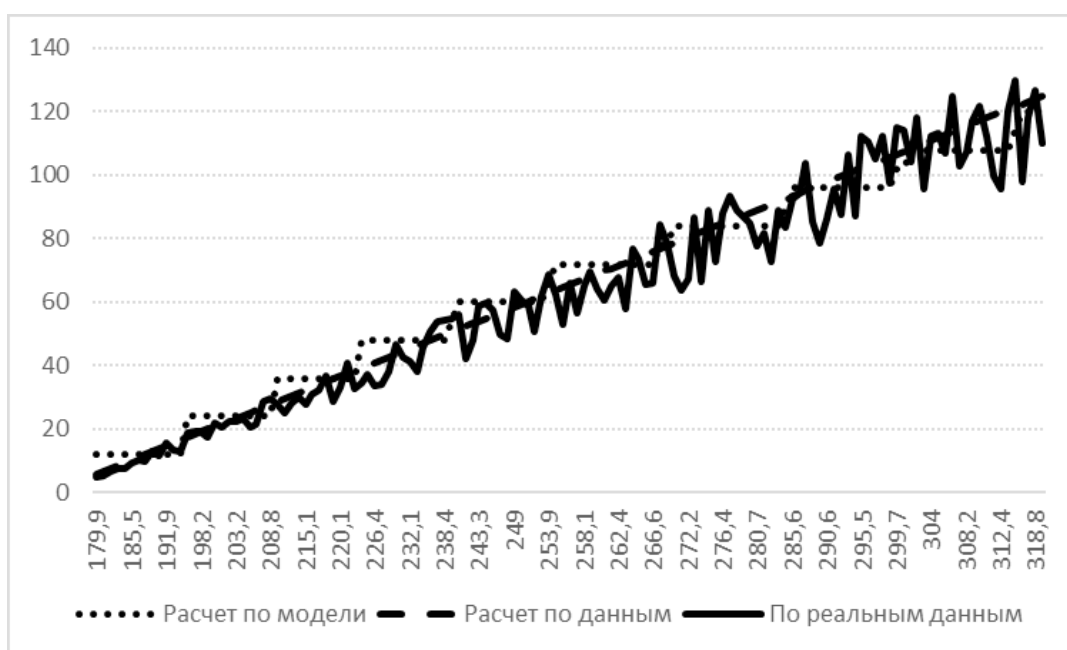


Рис. 4. Время ожидания комбайном вагона

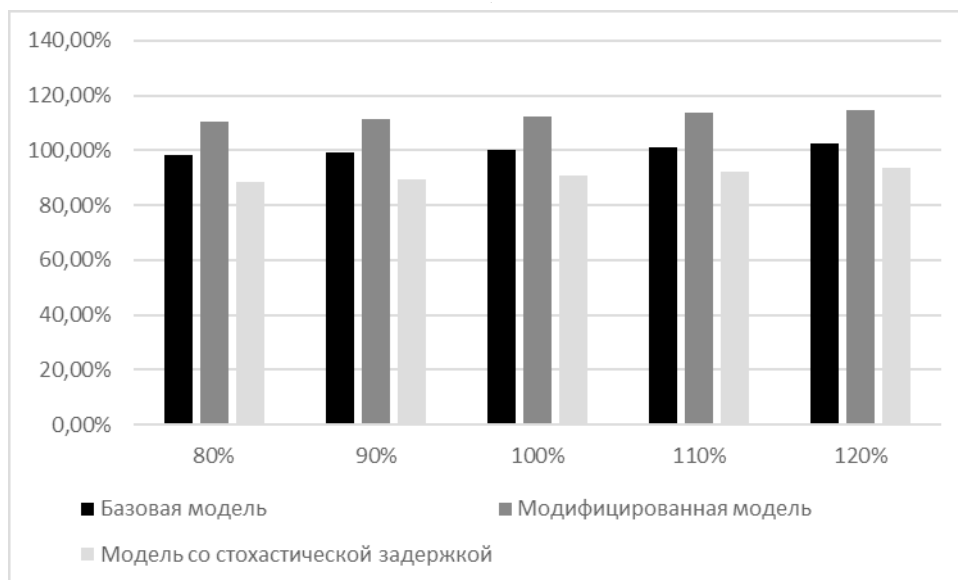


Рис. 5. Изменение добычи от изменения скорости движения вагона

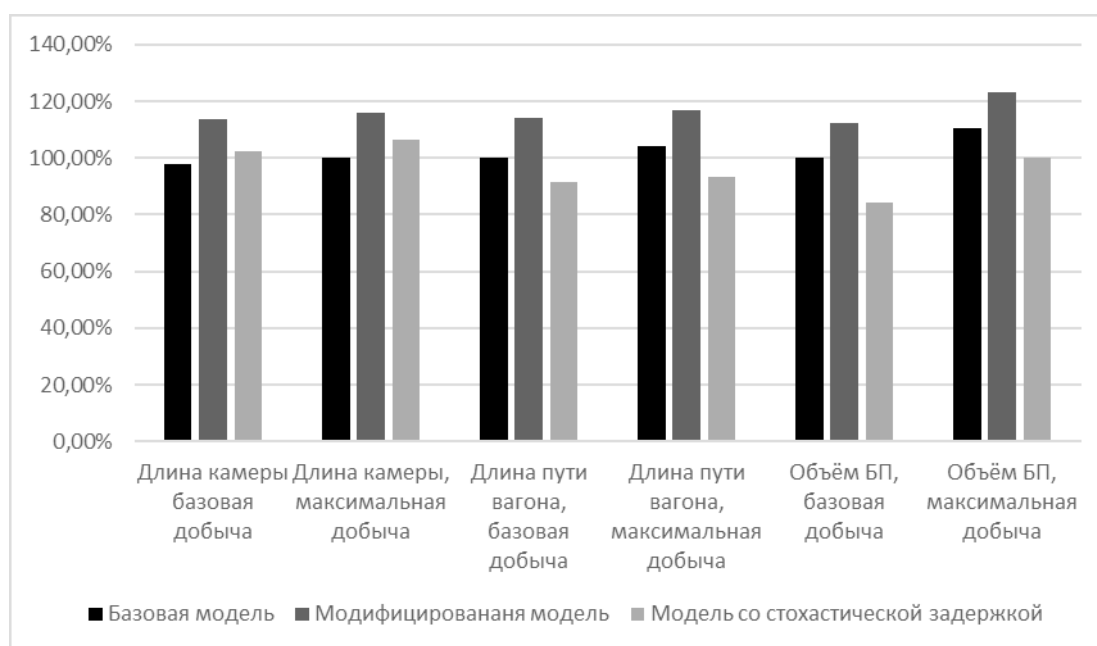


Рис. 6. Изменение добычи от изменения управляющих факторов

исходя из скорости движения комбайна и длины пути и график реального времени ожидания, полученный при анализе данных об энергопотреблении. «Ступени» на модельном графике объясняются принятым шагом моделирования. Кроме того, на показанном графике учитываются задержка во времени при прибытии к комбайну, который выполняет только отбойку руды без одновременной отгрузки на самоходный вагон, т.к. в этом случае мы можем быть уверены, что вагон загружен

на 100%, и нет дополнительной задержки между временем прибытия вагона к комбайну и началом отгрузки руды.

Как видно из графика, время между окончанием предыдущей отгрузки руды и началом следующей и, следовательно, скорость движения комбайна отличается от расчетной и модельной в различные моменты времени как в сторону увеличения, так и в сторону умень-

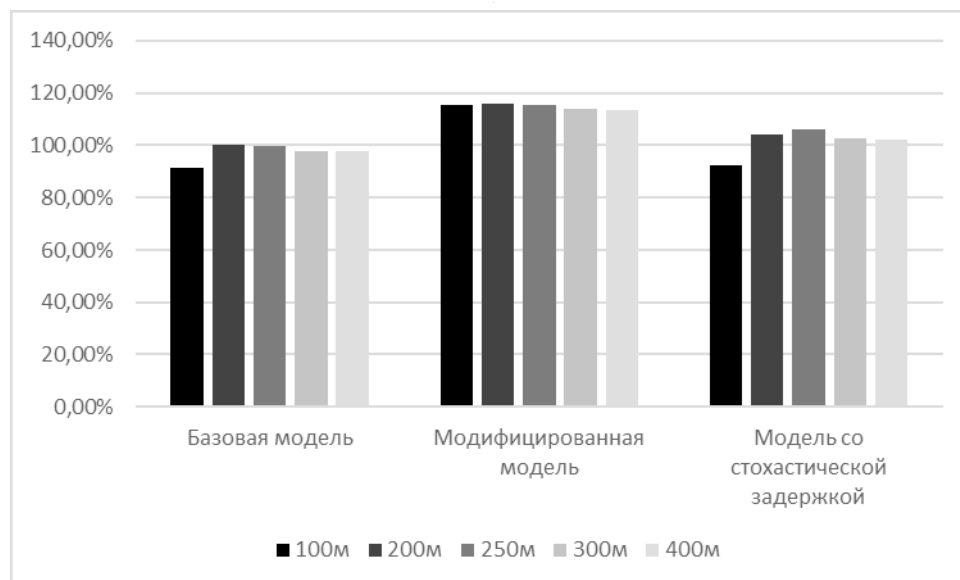


Рис. 7. Изменение добычи от изменения длины камеры

шения. Увеличение времени может объясняться различными факторами — очередью на разгрузку, сниженной скоростью движения комбайна, задержкой при выгрузке руды. Все эти факторы входят в созданную нами модель в виде стохастической задержки. Уменьшение времени может говорить только об одном — комбайн способен передвигаться со скоростью, превышающую заложенную в модель, следовательно, скорость также является управляемым фактором. Исходя из максимального отклонения времени прибытия вагона, и зная времена выгрузки руды на точку разгрузки, было вычислено возможное увеличение скорости движения вагона — 21% по сравнению с заложенной в модель. На практике такое увеличение скорости возможно осуществить несколькими способами: снижением времени задержки вагона при отгрузке руды на точку разгрузки, в том числе устранением очереди ожидания вагонов перед разгрузкой и уменьшением непрямолинейных участков движения вагонов.

Исследовано, насколько изменение скорости вагона может изменить общий объем выработки комбайна. Расчет производился для 5 значений скорости вагона: заложенная в модель, 80%, 90%, 110% и 120% от заложенной в модель соответственно и для 3-х случаев: оригинальная модель с комбайном, неспособным работать в режиме одновременной отбойки и отгрузки руды, модифицированная модель с возможностью для комбайнов выполнения такой операции и модифицированная модель со стохастической задержкой, результат представлен на рис. 5.

Как видно из графика, увеличение скорости в физически возможных пределах (до 21%) во всех описанных случаях приводит к увеличению добычи. Разница в до-

быче для случаев возможности одновременной отбойки и отгрузки и невозможности такой операции одинаковая с точностью до погрешности моделирования, что полностью соответствует действительности: в обоих случаях комбайн в начале камеры не успевает заполнить свой бункер-перегрузатель до момента прибытия самоходного вагона, и не появляется простоев в работе; после наступления момента, когда такая задержка начинает появляться, комбайн перестает работать в режиме одновременной отбойки и отгрузки. Максимальное увеличение добычи при изменении фактора «скорость движения вагона» составляет 2,3% для детерминированной модели и 2,7% для модели со стохастической задержкой.

Аналогичные графики были построены для всех остальных управляемых факторов: длина пути от точки разгрузки до начала отбойной камеры (20,30,50,70 и 100 метров), длина отбойной камеры (100,200,250,300,400 метров) и объем бункера-перегрузателя и самоходного вагона (модель ВС-15, объем 12,45 тонн и модель ВС-30, объем 22 тонны). На рис. 6 представлены все графики — наибольшая и базовая добыча для каждого случая.

Для всех факторов, кроме длины отбойной камеры, наибольшее значение получается в ожидаемых условиях — при минимальной длине пробега самоходного вагона, при максимальной скорости вагона, при максимальной грузоподъемности вагона. Все вышеописанные факторы являются независимыми, и мы можем принять общее улучшение объекта как сумму всех улучшений, тогда общее увеличение добычи будет 16,8% по сравнению с базовым значением для случая с комбайном, не работающим в режиме одновременной отбойки и отгрузки

руды, 15,5% для комбайна, работающего в таком режиме и 21,4% для модели со стохастической задержкой. Отдельно следует выделить случай с длиной отбойной камеры. График для него представлен на рис. 7.

Как видно из графика, для детерминированного случая и для стохастического максимальная добыча получается при различных длинах отбойной камеры — 200 метров и 250 метров соответственно. Однако, случай с изменением длины отбойной камеры является наиболее сложным из всех. В произведенных расчетах учитывалась только месячная добыча одним комбайном на возможных длинах отбойной камеры, однако в реальности принятие такого решения потребует проведения дополнительного технического и экономического обоснования, в то время как изменение всех остальных факторов возможно принятием решения на месте при планировании добычи.

Таким образом, в рамках исследования были выделены управляемые факторы в работе горно-выемочной машины. Помимо очевидных факторов — длины камеры, длины пути самоходного выгона и грузоподъемность самоходного вагона, было показано, что скорость вагона тоже может быть управляемым фактором. Для всех факторов были проведены расчеты возможного увеличения добычи за месяц работы при изменении факторов в пределах технологически возможных значений. Общее увеличение добычи комбайна при применении всех предложенных изменений при добыче руды может

составлять от 15,5% до 21,4% в зависимости от режима работы комбайна и задержек в работе комбайнов.

ВЫВОДЫ

Изучены последствия возможных изменений 4-х факторов для увеличения производительности добычи калийной руды. Два из них (длина камер и объем самоходного вагона) сложны и дороги в реализации. Использование самоходных вагонов и бункеров-перегрузателей с объемом больше используемого в данный момент, потребует дополнительных капитальных затрат, что в нынешней экономической ситуации может быть нецелесообразно.

Изменение двух других факторов — уменьшение пути, проходимого самоходным вагоном (т.е. расположение точки разгрузки) и скорость самоходного вагона (в том числе геометрия проходимого пути) — возможны в реальности. Однако такое изменение не может применяться массово, кроме того, необходим его дополнительный экономический и технологический анализ. При уменьшении камеры останется большой объем неотбитой руды, при увеличении длины необходимо заново рассчитывать расположение камер в пласте. Поэтому наиболее приемлемыми изменение длины пути самоходного вагона и изменение его скорости, приводящие к максимальному увеличению производительности комбайна до 4,8% (3048 тыс. тонн в месяц для моделируемого комбайна).

ЛИТЕРАТУРА

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. Morales, N. Incorporation of geometallurgical attributes and geological uncertainty into long-term open-pit mine planning / N. Morales, S. Seguel, A. Cáceres, E. Jélvez, M. Alarcón // Minerals, 2019, Vol.9. Issue 2, P. 108.
3. Варламова С.А., Володина Ю.И., Затонский А.В., Язев П.А. Разработка имитационной модели для планирования горно-выемочных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 10. — С. 214–222.
4. 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.
5. Капутин Ю.Е. Информационные технологии планирования горных работ (для горных инженеров). — СПб.: Недра. — 2004. — 424 с.
6. Соловьев, В.А., Секунцов А.И. Разработка калийных месторождений: практикум. — Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. — 265 с.
7. 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.
8. Козлова О.Ю., Козлов В.В., Агафонов В.В. Разработка структуры имитационной модели на базе высокоуровневой схемы моделируемых процессов подземного рудника // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 7. — С. 3–7.
9. Затонский А.В. моделирование технологического участка обогатительной фабрики в пакете Matlab // Обогащение руд. — 2014. — № 4. — С. 49–54.

© Язев Павел Александрович (yazev1988@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»