

## Научная статья

УДК 622 + 004.02 : [62-408.66 + 681.518.2]

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-1-85-92

Черкасов Павел Вадимович<sup>1,2\*</sup><sup>1</sup> Федеральний исследовательский центр угля и углехимии СО РАН<sup>2</sup> Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

\* для корреспонденции: pavel.v@gmail.com

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ВЫПУСКА УГЛЯ ПОДКРОВЕЛЬНОЙ ТОЛЩИ В НОТАЦИИ СИСТЕМНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОДХОДА****Аннотация.**

Технология отработки мощных угольных пластов с выпуском, в настоящее время применяемая во многих странах мира, является перспективной и для угольных бассейнов нашей страны. Конструкция секции механизированной крепи с управляемым выпуском обеспечивает реализацию технологии и позволяет обрабатывать на полную мощность пласты, в которых содержатся особо ценные марки углей. Кроме того, технологией обеспечивается высокая степень автоматизации и минимальное присутствие человека в забое, что особенно важно для повышения степени безопасности ведения горных работ. Работа посвящена проведению системного анализа части технологического процесса выпуска, связанного с перемещением горной массы питателем секции крепи и ее погрузкой на забойный конвейер. Объектами исследования являлись технологическая операция выпуска угля подкровельной толщи в технологии выпуска угля на забойный конвейер, а также процесс измерения объема горной массы для регистрации текущей производительности питателя и выбора рационального режима выпуска. В работе представлен системно-функциональный подход к описанию обоих объектов исследования. Системно-функциональное моделирование позволило явно определить, структурировать и систематизировать функциональные блоки, управляющие воздействия и ресурсы, а также взаимовлияние выходных параметров технологического процесса выпуска угля подкровельной толщи. На основе проведенного системно-функционального анализа разработана конструкция стенда для измерения объема выпускаемой горной массы с использованием машинного зрения и проецирования сетки лазерных линий, позволяющая проводить измерение объема горной массы в граничных условиях освещенности, влажности и запыленности, а также определять влияние факторов среды на качество распознавания лазерной сетки системой машинного зрения.

**Информация о статье**

Поступила:

19 января 2025 г.

Одобрена после  
рецензирования:

01 марта 2025 г.

Принята к печати:

10 марта 2025 г.

Опубликована:

24 марта 2025 г.

**Ключевые слова:**

горная масса, секция крепи, управляемый выпуск, технологический процесс, машинное зрение, моделирование, IDEF0

**Для цитирования:** Черкасов П.В. Технологический процесс выпуска угля подкровельной толщи в нотации системно-функционального подхода // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 1 (177). С. 85-92. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-1-85-92, EDN: XHJRAC

**Введение**

Приоритеты освоения технологий добычи угля без постоянного присутствия людей в очистных и подготовительных забоях на базе современной комплексной механизации, а также внедрение автоматизированных систем управления на базе цифровых технологий обозначены в Программе развития угольной промышленности России на период до 2035 года [1].

При существующих ограничениях легкодоступных промышленных запасов угля становится актуальной разработка трудноизвлекаемых запасов из мощных пластов [2]. Пласты могут разрабатываться камерно-столбовым способом с добычей угля из узких выемочных камер, с послынным изъятием горных пород, отработкой пласта на всю мощность без разделения на слои, а также технологией с выпуском угля подкровельной толщи, предусматривающей использование горного давления и силы

тяжести горной массы [3]. Технология извлечения угля с выпуском подкровельной толщи является перспективной из-за возможности отработки пластов в сложных горно-геологических условиях [4, 5]. В настоящее время механизированные комплексы с выпуском угля подкровельной толщи преимущественно распространены в КНР, Франции, Австралии и Вьетнаме. К примеру, в КНР данной технологией обрабатываются пласты мощностью от 5,6 до 14,6 м, в то время как в Австралии технологией с выпуском отработки пласты мощностью не менее 6 м [6].

Для отработки мощных пластов в ФИЦ УУХ СО РАН разрабатывается конструкция механизированной крепи с выпуском угля подкровельной толщи на забойный конвейер, а также система управления элементами секции [7]. Такая система разрабатывается для обеспечения полноты и безопасности извлечения запасов полезного ископаемого. Подсистема измерения объема выпускаемой горной массы (далее – ГМ) как часть системы управления крепью разрабатывается для регистрации текущей производительности питателя, благодаря чему появится возможность согласования режимов работы секций механизированных крепей, обеспечивающих выемку пласта на всю мощность при полном заполнении конвейера без перегрузов. То есть будет обеспечен рациональный режим управляемого выпуска угля.

При этом методы, основанные на работе систем машинного зрения (далее – МЗ), начинают активно использоваться в горнодобывающей промышленности [8–12] как при открытой, так и при подземной отработке месторождений. В условиях работы крепи наиболее перспективным для измерения объема ГМ является применение технологии МЗ, дополненной подсветкой контрастных структурированных лазерных линий (далее – маркеров) [13]. В общем виде последовательность обобщенных операций способа для расчета объема ГМ системой МЗ представлена на Рис. 1.

Внешние помехи на участках, где должен производиться выпуск угля, могут создавать проблемы для работы системы МЗ (СМЗ). Для их решения могут быть использованы фильтры и алгоритмы улучшения изображения [14]. К наиболее распространенным фильтрам обработки изображений относятся дифференциальный, Прюитта, Кэнни, Лапласа и некоторые другие [15–18]. Предложенный способ отличается упрощенной обработкой данных видеоизображения. Для получения проекции лазерной сетки используется массив лазерных модулей. Дополнительным преимуществом данного способа является то, что он не зависит от интенсивности освещения в зоне съемки в диапазоне 0...16 лк [13].

Интеграция подсистемы измерения объема ГМ как инструмента выбора рационального режима



Рис. 1. Последовательность операций для расчета объема горной массы системой машинного зрения, дополненной сеткой контрастных маркеров

Fig. 1. Operations sequence for volume calculation with machine vision system combined with light markers grid

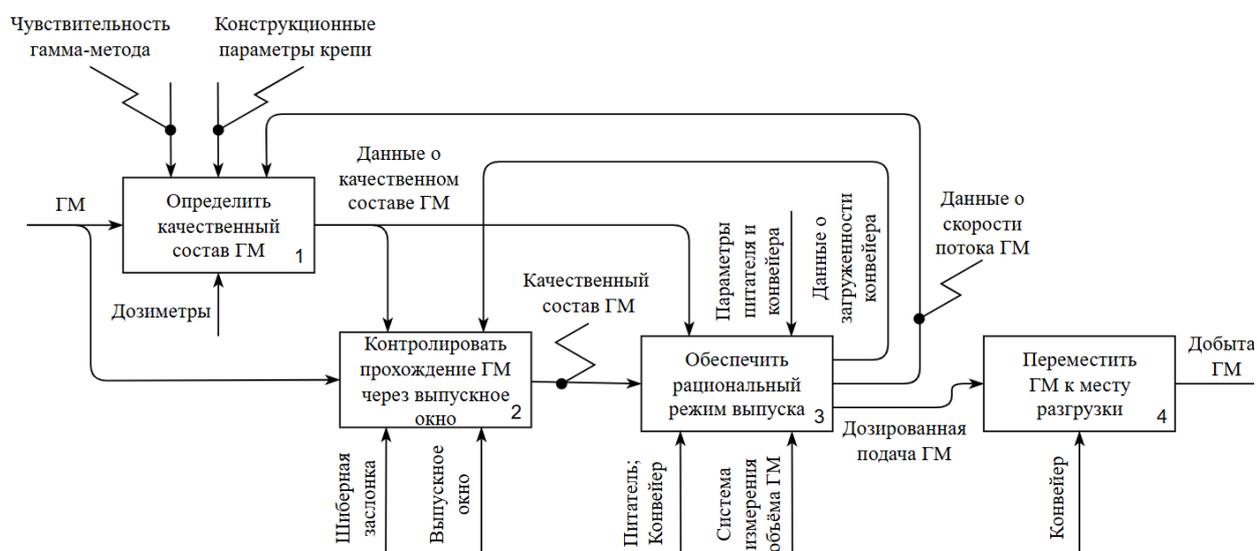


Рис. 2. Схема процесса выпуска угля подкровельной толщи по стандарту системно-функционального моделирования IDEF0

Fig. 2. Scheme of longwall top coal caving process according to standard IDEF0

выпуска потребовала проведения системного анализа части технологического процесса выпуска, связанного с перемещением ГМ питателем, изменением в реальном времени объема порции ГМ, а также ее погрузкой на конвейер. Для этого выбрана методология моделирования, которая позволяет структурировать, систематизировать и определять требования и функции при анализе, в том числе, технологических процессов. Структурные методологии базируются на декомпозиции (разбиении) объекта или процесса на автоматизируемые функции [19]. При этом система сохраняет целостное представление, в котором все составляющие компоненты взаимосвязаны. Известна методология функционального графического моделирования IDEF0 семейства ICAM [20]. Данная методология позволяет отображать и анализировать модели сложных систем с различным уровнем детализации.

В рамках стандарта IDEF0 процессы, ограниченные технологией с выпуском угля, представляются в виде функциональных блоков, преобразующих вход в выход. Также учитываются управляющие воздействия, оказывающие влияние на выполняемые процессы, а также ресурсы, задействованные для достижения результата при выполнении процессов.

Схема процесса выпуска угля подкровельной толщи по стандарту системно-функционального моделирования IDEF0 показана на Рис. 2.

Горно-шахтные условия участков, где должен производиться выпуск угля, являются управляющим воздействием для представленных процессов. Рабочий персонал выступает в роли ресурса. Для удобства восприятия они не отображены на схеме.

Первые два функциональных блока схемы раскрыты в исследованиях, направленных на отличие угля от пустой породы по значению естественной радиоактивности, которые ведутся в ФИЦ УУХ СО РАН [21-23].

Функциональный блок обеспечения рационального режима выпуска выполняется последовательно после первых двух. Здесь вторая подсистема

измерения объема ГМ в автоматическом режиме регистрирует текущую производительность питателя. В зависимости от того, какой объем ГМ выпускает каждая секция, система автоматически подбирает рациональные параметры частоты работы питателя, угла его наклона, а также угла наклона шиберной заслонки и длины ее выдвижения. Применение такого решения позволяет обеспечить согласование режимов работы секций механизированных крепей, обеспечивающих выемку пласта на всю мощность при полном заполнении конвейера без перегрузов на его участках. На Рис. 3 представлена декомпозиция данного функционального блока.

Последним функциональным блоком части технологического процесса выпуска угля в представленной схеме является перемещение забойным конвейером выпущенной ГМ к месту разгрузки.

Обеспечение рационального режима выпуска состоит из двух основных функциональных блоков, имеющих обратную связь в виде данных о загрузенности конвейера. Так называемая дозированная подача ГМ определяется принципом работы качающегося питателя (ступенчатого питателя с наклонным столом) с частотой возвратно-поступательных движений стола от 0,1 до 1,1 Гц [24]. Таким образом, измеренный объем ГМ сопоставляется с условным ограничением грузоподъемности конвейера и определяется рациональный режим выпуска.

На основе проведенного анализа системно-функциональное моделирование части технологического процесса выпуска угля подкровельной толщи позволило явно определить, структурировать и систематизировать функциональные блоки, управляющие воздействия и ресурсы, а также взаимовлияние выходных параметров двух подсистем друг на друга.

Однако разработка данных подсистем требует их лабораторной апробации в моделируемых условиях. Поэтому для подсистемы измерения объема ГМ, основанной на работе СМЗ, необходимо определить значения основных варьируемых парамет-

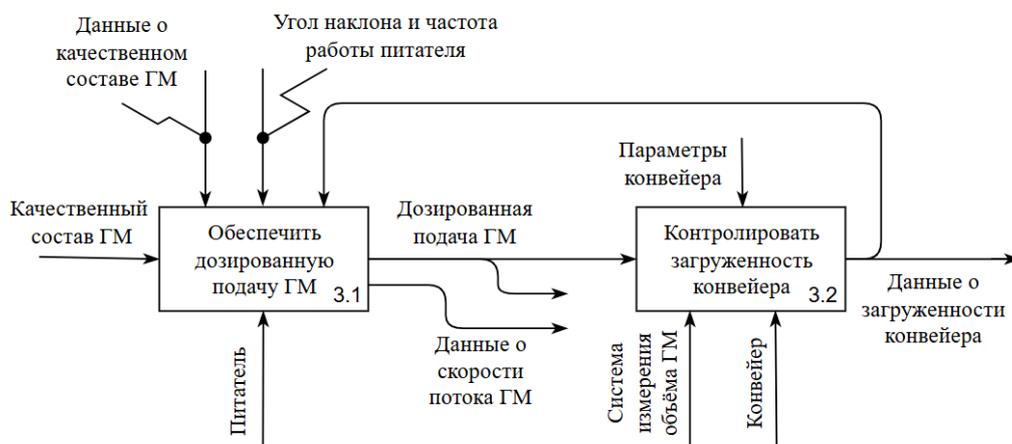


Рис. 3. Декомпозиция третьего структурного элемента по стандарту системно-функционального моделирования IDEF0

Fig. 3. Decomposition of the third structural element according to standard IDEF0



Рис. 4. Проведение экспериментов на стенде по стандарту системно-функционального моделирования IDEF0

Fig. 4. Experiment conducting process on work bench according to standard IDEF0

ров, влияющих на распознавание геометрического соответствия проекций лазерной сетки шаблону. Такими параметрами являются фильтры обработки изображения, пороговые значения яркости пикселей и параметры структурного элемента функций математической морфологии (дилатации и эрозии). Проблема отсутствия достаточных данных о применении этих параметров в шахтных условиях обосновывает необходимость их лабораторного уточнения на стенде.

Автоматизированный процесс измерения объема ГМ на лабораторном стенде аппаратно-программным комплексом (далее – АПК) также может быть описан по стандарту системно-функционального моделирования IDEF0 (Рис. 4).

Методика проведения эксперимента по измерению объема ГМ является управляющим воздействием для представленных процессов. Оператор выступает в роли ресурса. Для удобства восприятия они не отображены на схеме.

В данной схеме все функциональные блоки выполняются последовательно. В блоке настройки камеры и лазерных модулей происходит подготовка стенда к проведению эксперимента: положение лазерных модулей настраивается так, чтобы контрастные маркеры формировали сетку с заданным размером ячеек на измерительном участке. При нулевом содержании объема ГМ создается шаблон для дальнейшего выявления его геометрического соответствия деформированной проекции маркеров. Далее проводится проверка функций СМЗ на АПК. Вместе с этим камера СМЗ выставляется так, чтобы вся сетка попадала в зону ее захвата и сканирования.

Для расчета погрешности измерения объема ГМ в автоматическом режиме сначала измеряется фактический объем ГМ ручным способом.

На этапе выполнения функционального блока расчета координат высот ГМ СМЗ фиксирует деформированную проекцию сетки контрастных маркеров на поверхности ГМ, выделяет точки их пересечения. Затем АПК формирует карту высот, на основе которой вычисляется объем ГМ. После чего происходит сравнение измеренного значения со значением фактического объема и определение относительной погрешности.

Запись результатов в массив данных необходима для сравнения полученных значений относительных погрешностей для различных сценариев применения фильтров обработки изображения, пороговых значений яркости пикселей и используемых функций математической морфологии.

На основе проведенного системно-функционального анализа разработана конструкция стенда для измерения объема выпускаемой горной массы с использованием машинного зрения и проецирования сетки лазерных линий, позволяющая исследовать параметры алгоритмов построения карт высот для измерения объема ГМ в граничных условиях, аналогичных шахтным, а также влияние факторов среды на качество распознавания сетки СМЗ.

#### Заключение

Таким образом, система управления элементами секции крепи с управляемым выпуском в условиях отработки мощных угольных пластов, представленная в работе в виде двух подсистем, должна обеспечить: автоматическое определение наличия ГМ на питателе; измерение объема неоднородного потока ГМ, вызванного дискретными перемещениями питателей; определение момента поступления пустой породы в выпускное окно; принятие обоснованных решений по продолжению выпуска и корректировке режимов работы элементов секции

крепи; своевременную остановку процесса выпуска; снижение степени разубоживания выпущенной ГМ; полноту наполнения и исключение перегруза конвейера.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» проект FWEZ-2024-0025 «Разработка научных основ создания автономных и автоматизированных горных машин, оборудования, технических и управляющих систем на базе перспективных цифровых и роботизированных технологий» (рег. №1023033000581-6).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение «Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года» от 13 июня 2020 г. № 1582-р // Российская газета.
2. Новоселов С. В. РГМЦК-технологии для трудноизвлекаемых запасов угля на мощных крутых пластах – стратегическая перспектива Кузбасса // Уголь. 2024. № 10. С. 100–104. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-10-100-104.
3. Клишин В. И., Шундулиди И. А., Ермаков А. Ю., Соловьев А. С. Технология разработки запасов мощных пологих пластов с выпуском угля : монография. Наука : Обособленное подразделение «Сибирская издательская фирма «Наука», 2013. 248 с. EDN: TXCLGD.
4. Кизилев С. А., Никитенко М. С., Неоджи Б. [и др.] Автоматизация управления технологическими процессами при отработке мощных пластов с выпуском угля подкровельной толщи // Горная промышленность. 2017. № 6 (136). С. 76. EDN: YLQRRK.
5. Кизилев С. А., Никитенко М. С., Худынец Е. А. Схема управления техническими средствами обеспечения регулируемого выпуска угля подкровельной толщи на забойный конвейер // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2018. № 4. С. 313–316. EDN: XTCOFN.
6. Разумов Е. А., Венгер В. Г., Зеяева Е. А. [и др.] Опыт механизированной отработки мощных пологих пластов на угольных шахтах Кузбасса и рекомендации по отработке весьма мощных пологих пластов // Уголь. 2021. № 6(1143). С. 4–10. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-6-4-10. EDN: HXPXVO.
7. Секция механизированной крепи очистного забоя с устройством регулируемого выпуска угля: пат. 210254 U1 Рос. Федерация. № 2021131401 / Клишин В. И., Анферов Б. А., Кузнецова Л. В. [и др.]; заявл. 26.10.2021 : опубл. 04.04.2022, Бюл. № 10. 6 с. EDN: TYZBEO.
8. Ali D., Frimpong S. Artificial intelligence, machine learning and process automation: existing knowledge frontier and way forward for mining sector // Artificial Intelligence Review. 2020. Vol. 53. Pp. 6025–6042. DOI: 10.1007/s10462-020-09841-6 EDN: DEZQGD.
9. Hyder Z., Siau K., Nah F. Artificial intelligence, machine learning, and autonomous technologies in mining industry // Journal of Database Management (JDM). 2019. Vol. 30. Issue 2. Pp. 67–79. DOI: 10.4018/JDM.2019040104.
10. Barnewold L., Lottermoser B. G. Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry // International Journal of Mining Science and Technology. 2020. Vol. 30. Issue 6. Pp. 747–757. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.07.003. EDN: VYPLPV.
11. Калашников В. А., Соловьев В. И. Приложения компьютерного зрения в горнодобывающей промышленности // Прикладная информатика. 2023. Т. 18. № 1. С. 4–21. DOI: 10.37791/2687-0649-2023-18-1-4-21. EDN: RUJCOY.
12. Huang M. Q., Ninic J., Zhang Q. B. BIM, machine learning and computer vision techniques in underground construction: Current status and future perspectives // Tunnelling and Underground Space Technology. 2021. Vol. 108. P. 103677. DOI: 10.1016/j.tust.2020.103677 EDN: MVKAZC
13. Черкасов П. В., Попинако Я. В., Никитенко М. С. Анализ влияния освещенности на качество распознавания лазерной сетки машинным зрением // Горная промышленность. 2024. № S5. С. 110–115. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-5S-110-115. EDN: BGREOE.
14. Попинако Я. В., Никитенко М. С., Худоногов Д. Ю. [и др.] Экспериментальные исследования зависимости влияния освещенности на качество распознавания лазерной линии машинным зрением // Уголь. 2024. № 11S. С. 171–179. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-11S-171-179.
15. Klinger T. Image Processing with LabVIEW and IMQ Vision. Prentice Hall PTR, 2020. 319 p.
16. Kwon K., Ready S. Practical Guide to Machine Vision Software: An Introduction with LabVIEW. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2015. 278 p. ISBN 978-3-527-33756-9.
17. Ханова А. А., Озерова М. И. Обзор методов выделения контуров на изображениях // Информационные технологии в науке и производстве : Материалы VII Всероссийской молодежной научно-технической конф. Омск : Омский государственный технический университет, 2020. С. 89–92. EDN: GPZNLN.
18. Титов И. О., Емельянов Г. М. Выделение контуров изображения движущегося объекта // Вестник Новгородского государственного университета. 2010. № 55. С. 27–31. EDN: MSTEER.
19. Lomakin V. V., Putivtseva N. P., Zaitseva T. V. [и др.] Multi-criteria selection of a corporate system by using paired comparison analysis // Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2017. Vol. 9. Issue 7S. Pp. 1472–1482.
20. Р 50.1.028-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200028629> (дата обращения: 17.01.2025).
21. Баловнев Е. А. Обоснование параметров стенда по исследованию глубины чувствительности

гамма-метода анализа горных пород при выпуске угля // Развитие-2023: Сборник трудов конф. Кемерово : ФИЦ УУХ СО РАН, 2023. С. 8–18. EDN: DEVYLM.

22. Баловнев Е. А. Системно-функциональное моделирование непрерывного контроля параметров горной массы в технологическом процессе выпуска угля подкровельной толщи // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 5 (175). С. 70–77. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-70-77. EDN: RCMWUL.

23. Баловнев Е. А., Худогов Д. Ю., Попинако Я. В. [и др.] Программная реализация управле-

ния стендом для исследования радиационных свойств угля и вмещающих пород // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2023. № 9. С. 228–233. EDN: АМКВАЗ.

24. Никитенко М. С., Кизилов С. А., Захаров Ю. Н. [и др.] Измерение производительности питателя при выпуске угля из подкровельной толщи на основе технологии машинного зрения // Горные науки и технологии. 2022. Т. 7. № 4. С. 264–273. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-09-22. EDN: MAWGYW

© 2025 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

**Черкасов Павел Вадимович**, инженер, ФИЦ УУХ СО РАН (650000, Россия, г. Кемерово, пр-т Советский, 18), [cherkasov.pavel.v@gmail.com](mailto:cherkasov.pavel.v@gmail.com)

Заявленный вклад авторов:

Черкасов Павел Вадимович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-1-85-92

**Pavel V. Cherkasov**<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Federal Research Centre of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of Russian Academy of Science

<sup>2</sup> T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

\* for correspondence: [cherkasov.pavel.v@gmail.com](mailto:cherkasov.pavel.v@gmail.com)

## LONGWALL TOP COAL CAVING TECHNOLOGICAL PROCESS IN THE NOTATION OF THE SYSTEM-FUNCTIONAL APPROACH



### Article info

Received:

19 January 2025

Accepted for publication:

01 March 2025

Accepted:

10 March 2025

Published:

24 March 2025

### Abstract.

The technology of mining high-power coal deposits with production, currently used in many countries of the world, is promising for the coal basins of our country. The structure of the mechanized support section with controlled release ensures the implementation of the technology and makes it possible to work out formations containing particularly valuable grades of coal at full capacity. In addition, technology ensures a high degree of automation and a minimal human presence in the face, which is especially important for improving the safety of mining operations. The work is devoted to a systematic analysis of a part of the technological release process associated with the displacement of rock mass by the feeder of the support section and its loading onto the downhole conveyor. The objects of research were the technological operation of launching coal from the subsurface in the technology of coal release onto a downhole conveyor, as well as the process of measuring the volume of rock mass to register the current feed capacity and select the rational start-up mode. The paper presents a system-functional approach to the description of both objects of research. The system-functional modeling made it possible to explicitly define, struc-

**Keywords:** rock mass, roof support section, controlled release, technological process, machine vision, modelling, IDEF0.

ture and systematize the functional blocks that control impacts and resources, as well as the mutual influence of the output parameters of the technological process of producing coal from the subsurface. Based on the conducted system-functional analysis, a stand structure has been developed for measuring the volume of rock mass produced using machine vision and projection of a grid of laser lines, which makes it possible to measure the volume of rock mass in the boundary conditions of illumination, humidity and dustiness, and It is also necessary to determine the influence of environmental factors on the quality of recognition of a laser grid by a machine vision system

**For citation:** Cherkasov P.V. Longwall top coal caving technological process in the notation of the system-functional approach. Mining Equipment and Electromechanics, 2025; 1(177):85-92 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-1-85-92, EDN: XHJRAC

#### REFERENCES

1. Order "Program for the development of the Russian coal industry for the period up to 2035" dated June 13, 2020 No. 1582-r // Rossiyskaya Gazeta.
2. Novoselov S.V. Robotic hydraulic mechanized heading complexes: technologies for hard-to-recover coal reserves in thick steep seams – a strategic prospect for Kuzbass. *Ugol*. 2024; (10):100–104. (In Russ.) DOI: 10.18796/0041-5790-2024-10-100-104.
3. Klishin V.I., Shundulidi I.A., Ermakov A.Yu., Solovyov A.S. Technology of developing reserves of powerful shallow formations with coal production. Novosibirsk: Nauka; 2013. 248 p. (In Russ.) EDN: TXCLGD.
4. Kizilov S.A., Nikitenko M.S., Neogi B., Nikolaev P.I., Kuznetsov I.S. Technological process control automation during longwall top coal caving. *Gornaya Promyshlennost*. 2017; 6(136):76. (In Russ.) EDN: YLQRRK.
5. Kizilov S.A., Nikitenko M.S., Khudyntsev E.A. Control scheme of technical devices ensuring the longwall top coal caving. *High-tech technologies for the development and use of mineral resources*. 2018; 4:313–316. (In Russ.) EDN: XTCOFN.
6. Razumov E.A., Wenger V.G., Zelyaeva E.A., Pudov E.Yu., Kalinin S.I. The experience of mechanized mining of powerful shallow seams in Kuzbass coal mines and recommendations for the development of very powerful shallow seams. *Ugol*. 2021; 6(1143):4–10. (In Russ.) DOI: 10.18796/0041-5790-2021-6-4-10. EDN: HXPXVO.
7. Section of the mechanized support of the cleaning face with a device for controlled release: pat. 210254 U1 Russian Federation. No. 2021131401 / Klishin V.I., Anferov B.A., Kuznetsova L.V. [et al.]; application 26.10.2021 : publ. 04.04.2022, Bul. No. 106 p. (In Russ.) EDN: TYZBEO.
8. Ali D., Frimpong S. Artificial intelligence, machine learning and process automation: existing knowledge frontier and way forward for mining sector. *Artificial Intelligence Review*. 2020; 53:6025–6042. (In Eng.) DOI: 10.1007/s10462-020-09841-6. EDN: DEZQGD.
9. Hyder Z., Siau K., Nah F. Artificial intelligence, machine learning, and autonomous technologies in mining industry. *Journal of Database Management*. 2019; 30(2):67–79. (In Eng.) DOI: 10.4018/JDM.2019040104.
10. Barnewold L., Lottermoser B.G. Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020; 30(6):747–757. (In Eng.) DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.07.003. EDN: VYPLP V.
11. Kalashnikov V.A., Soloviev V.I. Applications of computer vision in the mining industry. *Journal of Applied Informatics*. 2023; 18(1):4–21. (In Russ.) DOI: 10.37791/2687-0649-2023-18-1-4-21. EDN: RUJCOY.
12. Huang M.Q., Ninić J., Zhang Q.B. BIM, machine learning and computer vision techniques in underground construction: Current status and future perspectives. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2021; 108:103677. (In Eng.) DOI: 10.1016/j.tust.2020.103677. EDN: MVKAZC.
13. Cherkasov P.V., Popinako Ya.V., Nikitenko M.S. Analyzing the effect of illumination on machine vision detection of the laser grid shape. *Russian Mining Industry*. 2024; (5S):110–115. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2024-5S-110-115. EDN: BGREOE.
14. Popinako Ya.V., Nikitenko M.S., Khudonogov D.Yu., Cherkasov P.V., Kizilov S.A. Experimental researches of illumination dependence on qualitative light line shape detection with machine vision. *Ugol*. 2024; (11S):171–179. (In Russ.) DOI: 10.18796/0041-5790-2024-11S-171-179.
15. Klinger T. Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision. Prentice Hall PTR; 2020. 319 p. (In Eng.) ISBN 0-13-047415-0.
16. Kwon K., Ready S. Practical Guide to Machine Vision Software: An Introduction with LabVIEW. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 2015. 278 p. (In Eng.) ISBN 978-3-527-33756-9.
17. Khanova A.A., Ozerova M.I. Overview of methods for selecting contours in images. *Information technologies in science and production: Proceedings of the conference*. 2020; 89–92. (In Russ.) EDN: GPZNLE.
18. Titov I.O., Yemelyanov G.M. Selection of contours of the image of a moving object. *Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2010; (55):27–31. (In Russ.) EDN: MSTEER.

19. Lomakin V.V., Putivtseva N.P., Zaitseva T.V., Liferenko M.V., Zaitsev I.M. Multi-criteria selection of a corporate system by using paired comparison analysis. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 2017; 9(7S):1472–1482. (In Eng.)

20. P 50.1.028-2001 Information technologies for product life cycle support. Methodology of functional modeling. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200028629> (accessed 17.01.2025). (In Russ.)

21. Balovnev E.A. Substantiation of the parameters of the stand for the study of the depth of sensitivity of the gamma method of rock analysis during coal mining. *Razvitie-2023: Proceedings of the conference*. 2023; 8–18. (In Russ.) EDN: DEVYLM.

22. Balovnev E.A. System-functional modeling of continuous monitoring of rock mass parameters in the technological process longwall top coal caving. *Mining*

*Equipment and Electromechanics*. 2024; 5(175):70–77. (In Russ.) DOI: 10.26730/1816-4528-2024-5-70-77. EDN: RCMWUL.

23. Balovnev E.A., Khudonogov D.Yu., Popinako Ya.V., Kizilov S.A., Kamennaya A.V. Software implementation of control of a stand for studying the radiation properties of coal and host rocks. *High-tech technologies for the development and use of mineral resources*. 2023; 9:228–233. (In Russ.) EDN: AMKBAZ.

24. Nikitenko M.S., Kizilov S.A., Zakharov Yu.N., Khudonogov D.Yu., Ignatova A.Yu. Measurement of feeder performance during coal discharge from an underroof seam using machine vision. *Mining Science and Technology*. 2022; 7(4):264–273. (In Russ.) DOI: 10.17073/2500-0632-2022-09-22. EDN: MAWGYW.

© 2025 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

*About the author:*

**Pavel V. Cherkasov**, engineer, FRC CCC SB RAS (650000, Russia, Kemerovo, Sovetsky av., 18), e-mail: [cherkasov.pavel.v@gmail.com](mailto:cherkasov.pavel.v@gmail.com)

*Contribution of the authors:*

Pavel V. Cherkasov – setting the research problem, conceptualisation of the study, data analysis, summarising, writing, review of current literature.

*Authors have read and approved the final manuscript.*

