



УДК 622.271.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАБОЙНЫХ БЛОКОВ В РАЗЛИЧНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ОБРАТНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЛОПАТ И АВТОСАМОСВАЛОВ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 240 Т

Лапаев М.Н.¹, Гоголин В.А.², Дубинкин Д.М.², Марков С.О.², Тюленев М.А.²

¹ ООО «Современные горные технологии», ОП Нерюнгринское

² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева



Информация о статье

Поступила:

18 мая 2024 г.

Рецензирование:

4 июня 2024 г.

Принята к печати:

10 июня 2024 г.

Ключевые слова:

открытые горные работы, обратные гидравлические лопаты, забойный блок, карьерный автосамосвал, экскаваторно-автомобильный комплекс, высота выемочного слоя, породугольная панель.

Аннотация. В данной работе изучено потенциальное изменение параметров системы открытой разработки в зависимости от горно-геологических условий. В качестве примера был принят экскаватор типа обратная гидролопата Liebherr R9150 в комплексе с автосамосвалом БелАЗ-7531. Результаты исследования, выполненного с применением разработанной математической модели, позволили получить зависимости ширины выемочных блоков и их объемов от углов откоса обрабатываемых слоев применительно к рабочим параметрам выбранного выемочно-погрузочного оборудования. Задача сводилась к нахождению координат одной из точек вектора, направленного под определенным углом – угол падения пласта, угол естественного откоса породы (например, при разработке развала) и т.д. Поскольку эффективная производительность экскаватора имеет прямую зависимость от объема выемочного блока, то полученные значения дают возможность прогнозировать время отработки того или иного участка уступа (породугольной панели) для использования полученных результатов при текущем планировании. Также разработанная модель косвенно позволяет учитывать изменение параметров автосамосвалов путем проверки возможности нижней погрузки при одних и тех же параметрах технологической схемы.

Для цитирования: Лапаев М.Н., Гоголин В.А., Дубинкин Д.М., Марков С.О., Тюленев М.А. Моделирование параметров забойных блоков в различных горно-геологических условиях при применении обратных гидравлических лопат и автосамосвалов грузоподъемностью 240 т // Техника и технология горного дела. – №2(25). – С. 104-116. – DOI: 10.26730/2618-7434-2024-2-104-116, EDN: YWOYQM

Обзор публикаций по теме работы

Проблема изменения производительности экскаватора в зависимости от угла падения и мощности угольного пласта, параметров рабочего оборудования достаточно актуальна и поднимается во многих трудах [1-20]. Например, в [10] приведена схема по определению технической высоты нижнего уступа при работе обратной гидролопаты, но она не подкреплена примерами расчетов, без чего невозможно утверждать о достоверности данной теории, к тому же автор акцентирует внимание на том, что метод исключительно графический. Несмотря на имеющиеся современные программы, с помощью которых возможно смоделировать конкретные горно-геологические условия и построить различные технологические и кинематические схемы работы экскаватора, определять только графическим методом технологические возможности техники относительно забойного блока нецелесообразно, поскольку необходимо использовать и



моделирование. Главной целью предлагаемой методики расчетов, по мнению автора, является инструмент прогнозирования производительности, но из-за вышеперечисленных нюансов выполнение поставленной задачи будет если не невыполнимо, то очень трудоемко по времени и объему работ. Также в работе предполагается выемка забойного блока под углом естественного откоса, что не позволит обеспечить максимальную производительность, поскольку нередки ситуации, когда ширина бермы безопасности будет увеличена по сравнению с базовой, но при этом и угол, при котором будет осуществляться выемка породного блока, будет значительно больше. В [11] авторами делается очевидный вывод о взаимосвязи рациональной мощности отрабатываемого слоя и его максимального объема, но обоснований того, что максимальный объем блока будет достигаться при оптимальной высоте слоя (4-5 м), несколько недостаточно, поскольку на объем вынимаемого забойного блока влияют и иные факторы, такие как угол встречи направления подвигания экскаваторной заходки с направлением фронта работ на уступе; сменное рабочее оборудование; изменение ширины бермы безопасности в зависимости от конкретных горно-геологических условий и т. д. Несомненно, высота и ширина породного блока напрямую связаны между собой, но в процессе нахождения их оптимальных значений (соотношений) не совсем корректно выражать одну величину через другую – по мнению авторов, заведомо одной из них мы должны задаться, причем чаще всего этой величиной является высота слоя. Также при расчетах вводятся константы, которые, по сути, ничем не обоснованы. Стоит отметить, что в формуле вычисления зависимости максимального радиуса черпания не учитывается величина бермы безопасности и угла естественного откоса. Дополнительно приводится график зависимости объема горной массы, отгружаемой за один шаг передвижки, от ширины слоя. Видно, что пик производительности прослеживается на мощности слоя 4-6 метров, но в то же время не учитывается время простоя экскаватора и время смены автосамосвалов при погрузке, именно поэтому ширина забойного блока на графиках и получается в вышеуказанных границах. Если рассмотреть данный вопрос с точки зрения геометрии, то логично предположить, что максимальный объем будет достигаться при наибольшей ширине слоя. Также из предоставленных расчетов можно сделать выводы, что при погрузке ниже уровня стояния экскаватора в автотранспорт ширина слоя будет в 1,25-1,5 раза больше, чем при погрузке на уровне стояния. Это достигается именно за счет расхождения времени подачи автосамосвала и увеличении времени цикла, однако в статье этого обоснования не приводится. В статье [12] основной идеей является определение оптимальной производительности обратной гидролопаты при селективной выемке и отгрузке породы или угля ниже уровня стояния экскаватора. Для оценки времени отработки породугольных блоков (отдельно породы и угля) выполняется расчет для конкретных условий по приведенной формуле, в которой фигурируют такие переменные, как высота слоя, мощность угольного пласта, ширина траншеи по дну и производительность применяемой техники. На приведенной в статье технологической схеме указаны значения всех вышеперечисленных геометрических параметров забоя, кроме высоты слоя. Авторами не указывается, при какой высоте слоя производится отгрузка: по предварительно рассчитанной или же ее принимали так, как это делается на предприятиях Кузбасса чаще всего (исходя из высоты автосамосвала), не показан пример расчета, вследствие чего нет возможности утверждать и о достоверности тех данных, которые сводятся далее в таблицу. Применение сложного забоя целесообразно лишь в том случае, когда отработка породного блока и угля по отдельности не представляется возможным, возникновение таких технологических условий возможно, к примеру, при слабонаклонном залегании пластов. Эти условия напрямую зависят от соотношения необходимого радиуса черпания и высоты слоя. Приводится формула расчета необходимого радиуса черпания, в которой присутствует слабо обоснованная константа. Наличие переменной (ширины хода экскаватора) также вызывает ряд вопросов о правильности соответствующей формулы, ее обоснования и приведенной ниже зависимости необходимого радиуса черпания от угла падения пласта. Хотя высокий темп внедрения гидравлических экскаваторов дал стимул для изучения задачи по достижению максимальной производительности, но на сегодняшний день по данным с действующих разрезов известно, что при работе с нижним черпанием и аналогичной погрузкой как раз и будет достигаться максимальный коэффициент полезного действия техники. Но, например, при



небольшой мощности пласта применение данной технологической схемы становится невозможным, так как для размещения рабочего оборудования недостаточно места. С целью разграничения технических возможностей определяется минимальная ширина площадки для установки экскаватора вблизи откоса уступа, приводится формула для ее определения, однако снова можно увидеть наличие необоснованной константы. Авторы ссылаются на различные научные работы при применении формул по определению вышеуказанных параметров, однако они основываются на практическом опыте горных предприятий Кемеровской области. Применение базы практических знаний в конкретных горно-геологических и климатических условиях для создания универсальной методики расчета геометрических параметров забоев в иных карьерах (даже в границах Кузнецкого бассейна) может оказаться просто невозможным. Высокая скорость развития современных технологий в горной промышленности требует разработки универсальной математической модели для подбора параметров разработки забоя гидравлическими экскаваторами, что существенно позволит повысить прогноз производительности, безопасность, даст возможность уменьшить текущий коэффициент вскрыши уже на действующих предприятиях. Развитие данного направления подразумевает в недалеком будущем и разработку программного обеспечения для беспилотной работы техники (частичной или полной автоматизации) [13-15]. В научной публикации [16] основной целью является установление взаимосвязи угла откоса уступа с рабочей глубиной копания обратных гидролопат. Для выполнения поставленной задачи авторами делается сводка в таблицу, а в дальнейшем и предоставляется графическое изображение зависимости вышеприведенных данных, которые были получены графоаналитическим путем на горных предприятиях Кузбасса. Проанализировав эти значения, делается вывод, что параметры экскаваторов с вместимостью ковша до 20 м³ имеют линейную зависимость между углом откоса уступа и рабочей глубиной черпания, а параметры экскаваторов, имеющих объем ковша выше данного значения, будут иметь уже квадратичную зависимость; однако какого-то комментария, из-за чего возможно такое разграничение, не последовало. Поскольку все экскаваторы имеют относительно одинаковую базовую кинематическую траекторию ковша, то можно предположить, что такие зависимости получились в результате использования классической схемы отработки уступа обратной гидролопаты. Также приводятся виды зависимостей, в которых присутствуют константы, играющие роль поправочного коэффициента, из чего следует, что данная теория «привязана» к конкретным моделям техники, а возможно, и к конкретным забоям. Несомненно, на производительность и на высоту слоя будет влиять и ширина слоя. Но в то же время очевидно, что минимальной шириной слоя будет являться ширина (или длина, смотря как посмотреть) ковша, однако это не обеспечит максимальную площадь выемки породного (угольного) блока и, соответственно, его объем.

Анализ ряда других публикаций по сходной тематике показал, что вопрос изучения производительности экскаватора, способов достижения ее максимальных значений и параметров забойных блоков, с одной стороны, изучен достаточно полно, однако основные результаты получены по данным реальной работы разрезов, в первую очередь Кузбасса. Поэтому теоретическое обоснование и моделирование параметров забойных блоков применительно к изменяющимся горно-геологическим условиям является актуальной задачей.

Основная часть

В настоящее время на разрезе «Черниговец» высота добычных и вскрышных уступов составляет 15 м. С учетом очень широкого разброса по горно-геологическим условиям предлагается рассмотреть достаточно популярную связку техники экскаватор-самосвал (Liebherr 9150, БелАЗ-7531) которая используется и на данном разрезе. Данная связка техники в основном применяется при вскрышных работах или валовом методе отработки, следовательно, расчет производительности оборудования будет производиться для угля с плотностью в целике 1,4 т/м³. Пласты карьерного поля, участвующие в разработке, не выдержаны по мощности и углу падения. В связи с резким изменением горно-геологических условий возникает вопрос об истинной производительности экскаватора. В зависимости от угла падения и мощности пласта меняется и его площадь вертикального сечения на обрабатываемом уступе (слое), а вместе с ним и объем,



который возможно обработать. Поэтому целью данной работы является подбор оптимальной высоты обрабатываемого уступа (при изменяющихся параметрах пласта) для достижения максимальной производительности экскаваторно-автомобильного комплекса. На Рис. 1 представлена схема забойного блока при отработке угольного пласта Подволковский I мощностью 5,3 м и углом падения 9° . Во избежание возможного падения экскаватора по условию устойчивости он устанавливается на расстоянии не менее 1 метра от края верхней бровки. Отработка производится по простирацию пласта.

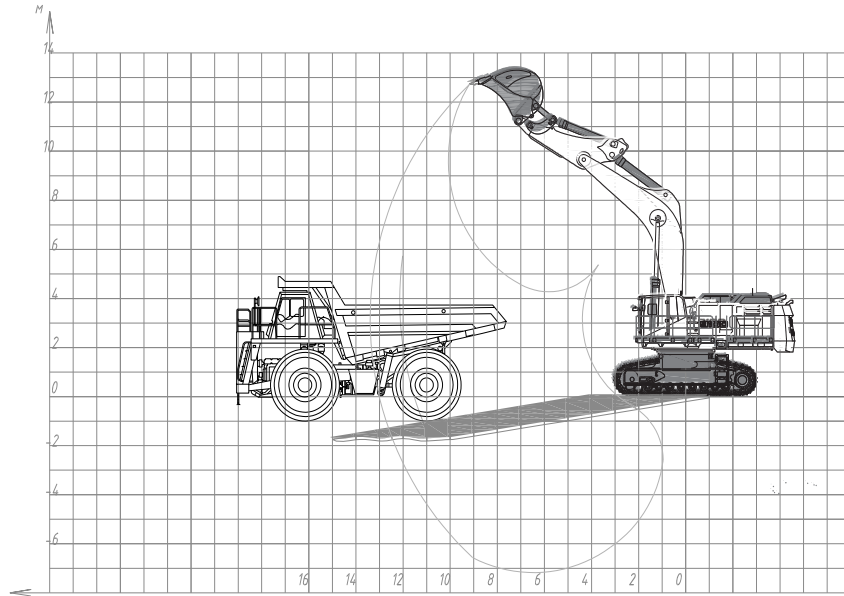


Рис. 1. Схема взаимного расположения экскаватора Liebherr 9150 и автосамосвала БелАЗ-7531 при отработке забойного блока, включающего пологий пласт (угол падения 9°)
Fig. 1. Scheme of mutual positioning of the Liebherr 9150 backhoe and BelAZ-7531 dump truck during excavation of the face block including a flat coal seam (dip angle of 9°).

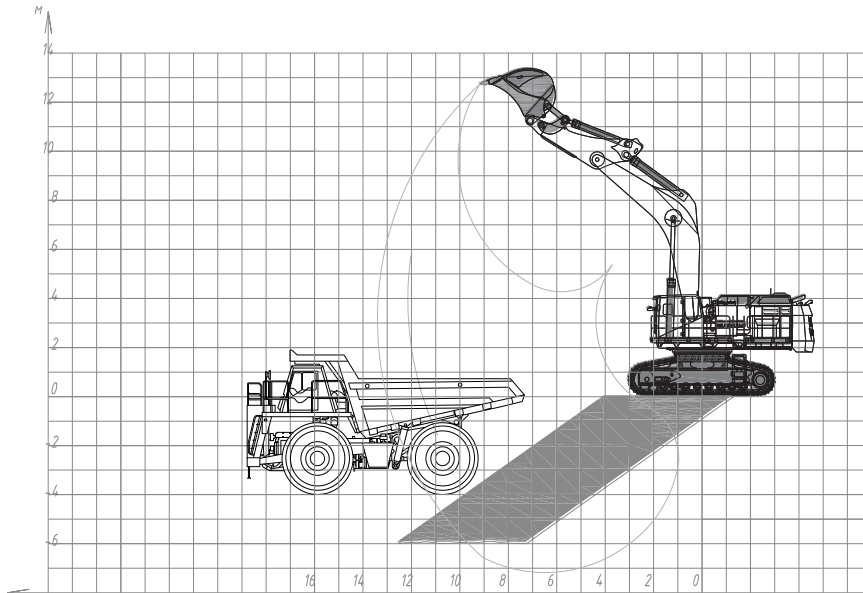


Рис. 2. Схема взаимного расположения экскаватора Liebherr 9150 и автосамосвала БелАЗ-7531 при отработке забойного блока, включающего наклонный пласт (угол падения 40°)
Fig. 2. Scheme of mutual positioning of the Liebherr 9150 backhoe and BelAZ-7531 dump truck during excavation of the face block including an inclined coal seam (dip angle of 40°).

По проекту высота уступа составляет 15 м, следовательно, при данном угле падения пласта будет целесообразно производить обработку пятью слоями по 3 м высоты. Однако, исходя из траектории движения режущей кромки зубьев ковша, можно сделать вывод, что обработать пласт получится только на глубину чуть более метра. Такое положение дел характерно для пластов с небольшим углом падения. Например, при залегании пласта, близком к крутому (Рис. 2) такая проблема встает менее остро.

Для возможности точного определения координат взаимодействия зубьев ковша с пластом и подсчета объемов обрабатываемого блока обратимся к аналитической геометрии. За начало координат примем точку крепления стрелы (Рис. 3). Оси абсцисс и ординат можно направить произвольно (от этого будет зависеть лишь то, отрицательным или положительным получится значение в итоге). Задача сводится к нахождению координат одной из точек вектора, направленного под определенным углом α – углом падения пласта, или при большом его значении – углом естественного откоса породы.

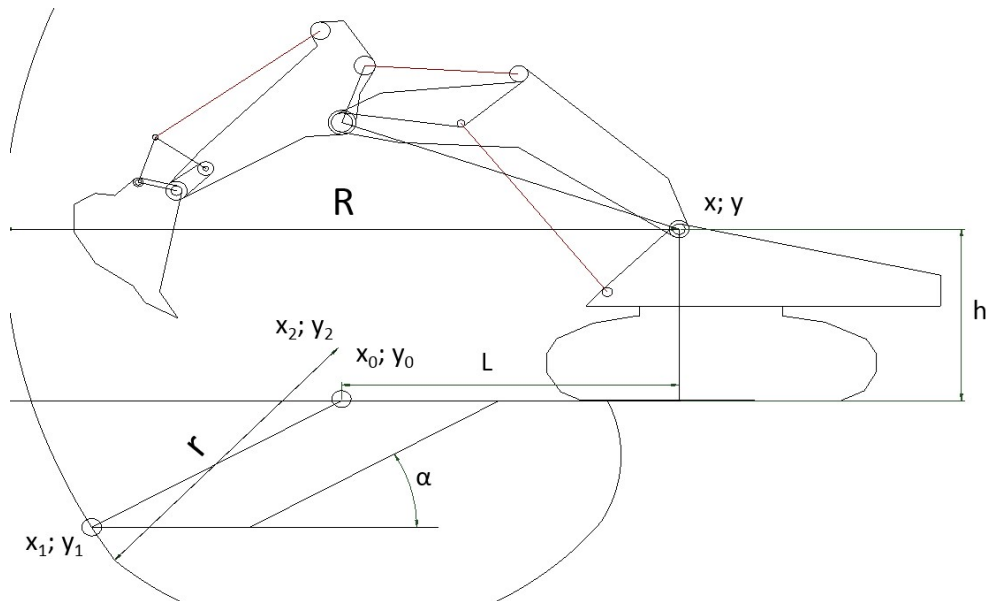


Рис. 3. Схема к определению координат взаимодействия зубьев ковша с пластом
Fig. 3. Scheme for determining the coordinates of interaction of bucket teeth with the seam

Для определения координат одной из точек вектора – точки M – потребуются две величины: первая – расстояние от уровня стояния экскаватора до точки крепления стрелы (координата y), вторая – расстояние от точки крепления стрелы до верхней бровки уступа (координата x). Зная координаты первой точки вектора и его угол относительно оси абсцисс, составим систему уравнений с двумя неизвестными.

$$\begin{cases} y - y_0 = \operatorname{tg} \alpha_0 (x - x_0) \\ x^2 + y^2 = r^2 \end{cases} \quad (1)$$

Верхнюю строчку в данной системе занимает уравнение вектора, нижнюю – уравнение окружности, которую описывают зубья ковша, вращаясь относительно точки крепления стрелы.

Путем математических преобразований получаем уравнение координаты y :

$$y = (R^2 + r^2 + p^2) \cdot \cos \left(\frac{\operatorname{arctg}(h_{oc} - (r - h_{\max}))}{\sqrt{p^2 - (h_{oc} - (r - h_{\max}))^2}} \right) - \left(\frac{R - \frac{R^2 - r^2 + p^2}{2p^2}}{p} \right) \cdot (h_{oc} - r - h_{\max}). \quad (2)$$



Зная значение координаты y , можно подставить ее в любое уравнение системы и найти вторую координату x , то есть, зная значения глубины черпания в зависимости от параметров рабочего оборудования, горно-геологических условий месторождения и требований безопасности по установке экскаватора от верхней бровки уступа, можно посчитать площадь под конкретные значения параметров.

Расчеты производились с диапазоном падения пластов от 0 до 90 градусов и горизонтальной мощностью от 0,5 до 15 метров (Таблица 1).

Для упрощения анализа полученных данных таблица была разделена цветовым градиентом. Результаты показывают, что оптимальные значения глубины черпания находятся в диапазоне углов падения от 60 до 90 градусов и горизонтальной мощности пласта от 0,5 до 5 метров. Стоит отметить, что наивысшее значение достигается не только в сопоставлении двух определенных величин, оно прослеживается на всем описанном выше оптимальном диапазоне. Выделенная желтая зона в таблице графически (и в реальных условиях) отображает момент полного вытягивания стрелы и включение рукояти в работу.

На основе этих значений также были подсчитаны и площади с таким же диапазоном по мощности и падению. Как и в предыдущем случае, момент включения рукояти в работу отображает желтая зона в таблице. Оптимальные значения находятся в границе между 6 и 12 метрами горизонтальной мощности и 70 и 90 градусами падения пласта. Приблизительно табличные значения объединены в Рис. 4.

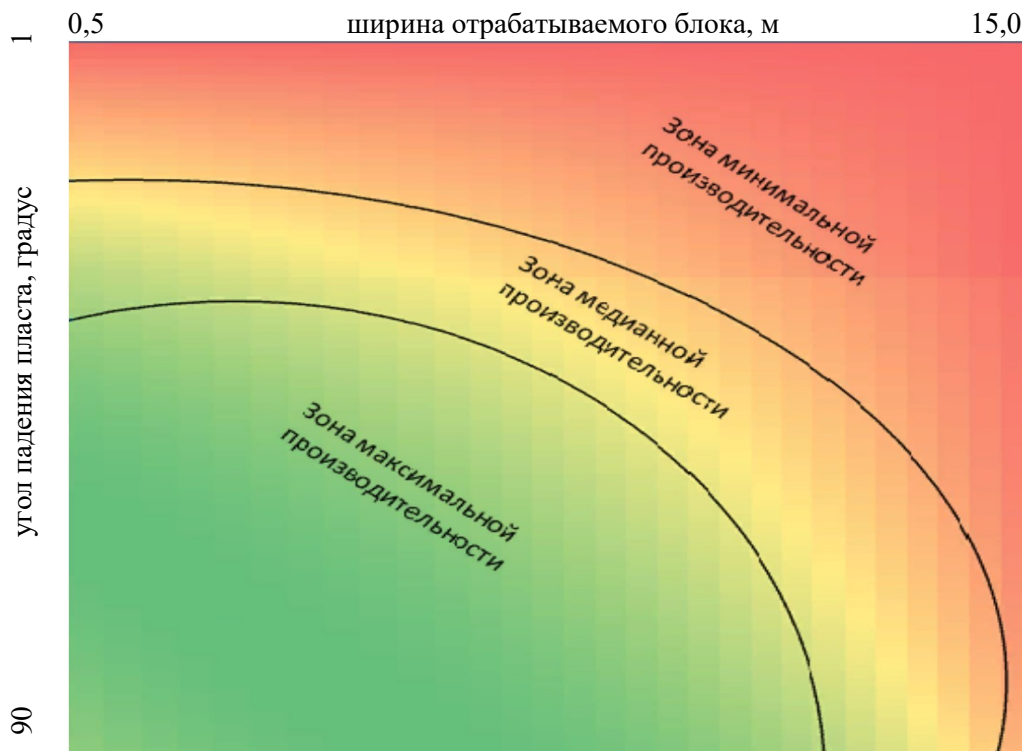


Рис. 4. Распределение высоты обрабатываемого слоя в зависимости от угла падения пласта и ширины выемочного блока

Fig. 4. Distribution of the height of the mined layer depending on the dip angle and width of the mining block

Составленную математическую модель возможно широко применять для прогноза производительности, а также внедрять в электронный блок управления экскаватора для отслеживания в реальном времени того, насколько эффективно работает техника.

Решенную на плоскости задачу потенциально следует преобразовать в объемную для уточнения формы и объема забойного блока при различных режимах работы экскаваторно-



автомобильного комплекса (например, при изменении шага передвижки экскаватора, при выемке одновременно верхним и нижним черпанием и т.п.) и для изменяющихся горно-геологических условий (например, при изменении угла падения или мощности пласта). Также в дальнейших исследованиях предполагается учесть геомеханическое состояние обрабатываемого массива горных пород и его влияние в моменте и при длительном стоянии борта на функционирование горнотехнической системы.

Результаты исследования, выполненного с применением разработанной математической модели, позволили получить зависимости объемов выемочных блоков от углов откоса обрабатываемых слоев и их ширины применительно к рабочим параметрам выбранного оборудования. Поскольку эффективная производительность экскаватора имеет прямую зависимость от объема выемочного блока, то полученные значения дают возможность прогнозировать время отработки того или иного участка уступа (породоугольной панели) для использования полученных результатов при текущем планировании.

Для рассматриваемого комплекса выемочно-погрузочного и транспортного оборудования получен оптимальный диапазон рабочих условий, обеспечивающих наивысшую производительность экскаватора как основной (определяющей) единицы в зависимости от угла падения и мощности обрабатываемого угольного пласта.

Однако при изменении параметров или составляющих выемочно-погрузочного комплекса, например, смене модели автосамосвала, значения параметров забойного блока также изменятся. Это обусловлено тем, что при нижней погрузке возможности экскаватора по прочерпыванию и разгрузке становятся более чувствительными к изменению горно-геологических условий, причем это проявляется тем заметнее, чем меньше угол падения пласта (откоса забоя). Например, при нижнем черпании и нижней погрузке в автосамосвалы грузоподъемностью 240 т изменение угла падения обрабатываемого пласта с 60 до 80 градусов не повлечет за собой сколь-либо значимых изменений структуры и параметров технологической схемы, в то время как при уменьшении угла падения пласта с 30 до 10 градусов более остро проявляется проблема установки автосамосвала под погрузку из-за того, что рукоять экскаватора не дотягивается хотя бы до середины кузова.

Поэтому для хотя бы частичного решения этого вопроса возможны следующие основные варианты:

- 1) уменьшение высоты обрабатываемых слоев с одновременным увеличением их числа;
- 2) использование погрузки на уровне или выше уровня установки экскаватора;
- 3) использование сменного рабочего оборудования (рукоять и ковш);
- 4) применение автосамосвалов меньшей грузоподъемности и соответственно меньших геометрических параметров, что позволит подъезжать им более близко к экскаватору.

Но при работе по варианту (1) резко падает производительность комплекса, в первую очередь из-за того, что при малой высоте вынимаемого слоя экскаватор не наполняет ковш за один цикл черпания; второй вариант подразумевает увеличение времени экскаваторного цикла; третий вариант, являясь по сути одним из наиболее перспективных, не всегда реализуем на практике вследствие того, что в современных условиях проблематично обеспечить наличие двух, а то и трех комплектов сменного оборудования (рукоятей и ковшей). Четвертый вариант приводит к снижению чистого времени работы экскаватора из-за меньшего числа ковшей, загружаемых в один автосамосвал.

Поэтому с точки зрения организации работы крайне важно получить оптимальный состав выемочно-погрузочно-транспортного комплекса, позволяющий обеспечить наивысшую производительность как экскаватора, так и карьерного автосамосвала при прочих равных условиях.

Выводы

1. Разработанная математическая модель позволяет получить точные значения координат режущей кромки зубьев ковша в любой точке забойного блока для определения возможности прочерпывания, например, угольного пласта, залегающего под определенным углом.



2. Получаемая по итогам вычислений таблица (по сути, координатная плоскость) демонстрирует три зоны возможных положений рабочего оборудования: оптимальная зона; допустимая зона (стрела вытянута полностью и в работу включается рукоять); недопустимая зона.

3. Следующими этапами данной работы являются адаптация математической модели и проверка ее валидности применительно к другим моделям и маркам обратных гидравлических лопат и транспортного оборудования, а также учет возможного изменения рабочих параметров экскаватора путем, в частности, использования сменных рукоятей и ковшей.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2024 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2022-016 от 07.04.2022 г. с ПАО «КАМАЗ» по комплексному проекту «Создание высокотехнологичного производства автономных карьерных самосвалов грузоподъемностью 240 тонн с отечественным тяговым приводом для работы в системе цифровой добычи полезных ископаемых открытым способом», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

Информация об авторах

Лапаев Максим Николаевич, горный мастер
e-mail: maxlapaev6@mail.ru

ООО «Современные горные технологии», ОП Нерюнгринское, 678965, Россия, Республика Саха (Якутия), г. Нерюнгри, ул. Разрезовская, 15

Гоголин Вячеслав Анатольевич, доктор технических наук, профессор
e-mail: gva.pm@kuzstu.ru

Дубинкин Дмитрий Михайлович, кандидат технических наук, доцент
e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Марков Сергей Олегович, к.т.н., доцент кафедры открытых горных работ
e-mail: markovso@kuzstu.ru

Тюленев Максим Анатольевич, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой открытых горных работ
e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический университет им Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Список литературы

1. Логинов Е. В., Тюленева Т. А. Управление параметрами карьера в целях повышения эффективности использования гидравлических экскаваторов типа обратная лопата // Уголь. 2021. № 12(1149). С. 6–10. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10. EDN QIGUUA.
2. Воронов А. Ю. Оптимизация эксплуатационной производительности экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов: дис. ... канд. тех. наук: 05.05.06, 05.13.18. КузГТУ. Кемерово, 2015. 195 с.
3. Макаров В. В. Повышение эффективности работы мощных экскаваторно-автомобильных комплексов карьеров на базе экспертных систем. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. Екатеринбург : Уральский государственный горный университет, 2006. 162 с.



4. Филиппов С. А., Куролов А. А. Повышение эффективности работы экскаваторно-автомобильных комплексов при формировании транспортной схемы глубоких карьеров технологическими модулями // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 5. С.14–20.
5. Фурман А. С. Оценка эффективности эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов на технологических трассах разрезов Кузбасса: дис. ... канд. тех. наук: 05.05.06. Кемерово, 2018. 137с.
6. Сорокин С. Н., Данилов С. Н., Обанин С. В. О необходимости корректировки высоты добычного уступа при отработке слабонаклонных угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № S1–1. С. 481–487.
7. Шестаков И. Г., Косых С. В. Использование гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата» в сложных горно-геологических условиях // Вологдинские чтения. 2012. № 80. –С. 168–170. EDN PHNTGJ.
8. Безкорвайный П. Г., Шестков В. С. Определение рациональных параметров рабочего оборудования гидравлического экскаватора с напорным звеном // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2023. № 1. С. 25–35. EDN HMXSFD.
9. Комиссаров А. П., Шестаков В. С., Набиуллин Р. Ш., Хорошавин С. А. Исследование нагруженности рабочего оборудования гидравлического экскаватора «обратная лопата» // Горное оборудование и электромеханика. 2021. № 6(158). С. 15–20. EDN BLOCWP.
10. Курехин Е. В. Выемка маломощных пластов гидравлическими экскаваторами зарубежного производства // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2008. № 3(67). С. 3–5. EDN IUEBFB.
11. Сысоев А. А., Литвин О. И. Рациональная мощность слоя при отработке вскрышных уступов обратными гидравлическими экскаваторами // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2008. № 2(66). С. 35–37. EDN IKPVHX.
12. Тюленева Е. А., Лесин Ю. В., Литвин Я. О. Исследование технологии отработки угленасыщенных зон на разрезах Кузбасса простыми и сложными забоями // Техника и технология горного дела. 2019. № 1(4). С. 35–50. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-1-35-49. EDN OIPWJP.
13. Дубинкин Д. М., Ясмаилова Ш. Я. Определение параметров модели суглинка и глины для имитационного моделирования погрузки и разгрузки грузовой платформы карьерного самосвала // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 6(160). С. 94–104. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-6-94-104. EDN JWQMCQ.
14. Воронов Ю. Е., Воронов А. Ю., Дубинкин Д. М., Максимова О. С. Сравнительная оценка качества функционирования действующих и роботизированных экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов // Уголь. 2023. № 11(1173). С. 65–71. EDN AXZTZO.
15. Воронов Ю. Е., Воронов А. Ю., Дубинкин Д. М., Максимова О. С. Диспетчеризация в карьерных экскаваторно-автомобильных комплексах с беспилотным транспортом // Уголь. 2023. № 9(1171). С. 75–83. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-75-83. EDN NYKHNY.
16. Литвин О. И., Литвин Я. О., Тюленев М. А., Марков С. О. Об определении параметров забойных блоков при ведении горных работ обратными гидравлическими лопатами // Горная промышленность. 2021. № 6. С. 76–81. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-76-81. EDN MBXAOF.
17. Литвин О. И., Хорешок А. А., Дубинкин Д. М. [и др.] Анализ методик расчета производительности карьерных гидравлических экскаваторов // Горная промышленность. 2022. № 5. С. 112–120. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-5-112-120. EDN UQIXQR.
18. Бугебрин Ш. Ш., Михайлов А. В., Казаков Ю. А. Контроль позиционирования ковша экскаватора с применением датчиков // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2024. № 25. С. 169–175. EDN MAJXBN.
19. Litvin O., Makarov V., Strelnikov A., Tyuleneva E. Study of the Backhoe's Digging Modes at Rock Face Working-Out // E3S Web of Conferences: IVth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo. EDP Sciences: EDP Sciences, 2019. Vol. 105. P. 01024. EDN PYNMFL.
20. Litvin O., Tyuleneva E., Kolesnikov V., Dobrov A. Coal-Bearing Zone Transformation into a Coalless One at the Open Pit // E3S Web of Conferences: 3rd International Innovative Mining Symposium, PIMS 2018: Electronic edition, Kemerovo, 2018. Kemerovo: EDP Sciences, 2018. Vol. 41. DOI 10.1051/e3sconf/20184101020. EDN XVSTHF.
21. Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Набиуллин Р. Ш., Хорошавин С. А. Цифровая модель процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием карьерного экскаватора // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 4. С. 156–168. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_4_0_156. EDN BLPOYX.



MODELING OF FACE BLOCK PARAMETERS IN DIFFERENT MINING AND GEOLOGICAL CONDITIONS WHEN USING BACKHOES AND DUMP TRUCKS WITH 240 TONS PAYLOAD CAPACITY

Maxim N. Lapaev¹, Vyacheslav A. Gogolin², Dmitry M. Dubinkin²,
Sergey O. Markov², Maxim A. Tyulenev²

¹ Modern Mining Technologies LLC, Neryungri separate subdivision

² T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University



Article info

Received:

18 May 2024

Revised:

4 June 2024

Accepted:

10 June 2024

Keywords: open-pit mining, backhoes, face block, quarry dump truck, excavator-automobile complex, height of excavation layer, rock-coal panel.

Abstract.

In this paper the potential change of parameters of the open-pit mining system depending on mining and geological conditions is studied. Liebherr R9150 backhoe type excavator in combination with BelAZ-7531 dump truck was taken as an example. The results of the study, performed with the use of the developed mathematical model, allowed to obtain the dependences of the width of excavation blocks and their volumes on the slope angles of the excavated layers in relation to the operating parameters of the selected excavation-loading equipment. The task was reduced to finding the coordinates of one of the points of the vector directed at a certain angle – the angle of dip of the seam, the angle of natural slope of the rock (for example, when developing a blasted rock mass), etc. Since the effective productivity of the excavator has a direct dependence on the volume of the excavation block, the values obtained make it possible to predict the time of mining a particular section of the ledge (rock-coal panel) to use the results obtained in the current planning. Also, the developed model indirectly allows to take into account the change of dump truck parameters by checking the possibility of lower loading at the same parameters of the flowsheet.

For citation: Lapaev M.N., Gogolin V.A., Dubinkin D.M., Markov S.O., Tyulenev M.A. Modeling of face block parameters in different mining and geological conditions when using backhoes and dump trucks with 240 tons payload capacity, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 2(25):104. DOI: 10.26730/2618-7434-2024-2-104-116, EDN: YWOYQM

The work is financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the agreement dated 07.04.2022 № 075-11-2022-016 with PJSC KAMAZ on the integrated project "Development of high-tech production of autonomous mining dump trucks with a lifting capacity of 240 tons with a domestic traction drive for operation in an open-source digital mining system", with participation of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University in terms of research, development and technological works.

References

1. Loginov E.V., Tyuleneva T.A. Control of quarry parameters in order to improve the efficiency of hydraulic backhoes. *Ugol'*. 2021; 12(1149):6–10. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10. EDN QIGUUA. [In Russ.]
2. Voronov A.Yu. Optimization of the operational productivity of excavator-automobile complexes of open-pit mines: PhD thesis. Kuzbass State Technical University. Kemerovo, 2015. 195 p. [In Russ.]
3. Makarov V.V. Increasing the efficiency of powerful excavator-automobile complexes of quarries on the basis of expert systems: PhD thesis. Ekaterinburg: Ural State Mining University; 2006. 162 p. [In Russ.]
4. Filippov S.A., Kurolov A.A. Increase of the excavator-automobile complexes work efficiency at formation of the transport scheme of the deep quarries by the technological modules. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' = Mining information and analytical bulletin*. 2007; 5:14–20. [In Russ.].



5. Furman A.S. Estimation of the excavator-automobile complexes operation efficiency on the technological routes of the Kuzbass open-pit mines: PhD thesis. Kemerovo: Kuzbass State Technical University; 2018. 137 p. [In Russ.]
6. Sorokin S.N., Danilov S.N., Obanin S.V. On the need to adjust the height of the mining ledge when mining weakly inclined coal seams. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' = Mining information and analytical bulletin*. 2015; S1-1:481–487. [In Russ.]
7. Shestakov I.G., Kosykh S.V. Use of hydraulic backhoe excavators in difficult mining and geological conditions. *Vologdinskije chteniya = Vologda readings*. 2012; 80:168–170. EDN PHNTGJ. [In Russ.]
8. Bezkorovaynyy P.G., Shestakov V.S. Determination of the rational parameters of the working equipment of the hydraulic excavator with a pressure link. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2023; 1:25–35. EDN HMXSFD. [In Russ.]
9. Komissarov A.P., Shestakov V.S., Nabiullin R.Sh., Khoroshavin S.A. Investigation of loading of the working equipment of the hydraulic excavator "backhoe". *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining equipment and electromechanics*. 2021; 6(158):15–20. EDN BLOCWP. [In Russ.]
10. Kurekhin E.V. Excavation of low thickness seams by hydraulic excavators of foreign production. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2008; 3(67):3–5. EDN IUEBFB. [In Russ.]
11. Sysoev A.A., Litvin O.I. Rational layer capacity at overburden benches mining by backhoe hydraulic excavators. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2008; 2(66):35–37. EDN IKPVHX. [In Russ.]
12. Tyuleneva E.A., Lesin Yu.V., Litvin Ya.O. Research of the coal-bearing zones' mining technology at Kuzbass open pits using simple and complex faces. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela = Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2019; 1(4):35–50. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-1-35-49. EDN OIPWJP. [In Russ.]
13. Dubinkin D.M., Ismailova Sh.Ya. Determination of the parameters of the model of loam and clay for simulation modeling of loading and unloading of the cargo platform of the quarry dump truck. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2023; 6(160):94–104. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-6-94-104. EDN JWQMCQ. [In Russ.]
14. Voronov Yu.E., Voronov A.Yu., Dubinkin D.M., Maksimova O.S. Comparative evaluation of the functioning quality of the operating and robotized excavator-vehicle complexes of open-cut mines. *Ugol'*. 2023; 11(1173):65–71. EDN AXZTZQ. [In Russ.]
15. Voronov Yu.E., Voronov A.Yu., Dubinkin D.M., Maksimova O.S. Dispatching in quarry excavator-automobile complexes with unmanned transport. *Ugol'*. 2023; 9(1171):75–83. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-75-83. EDN NYKHNY. [In Russ.]
16. Litvin O.I., Litvin Ya.O., Tyulenev M.A., Markov S.O. On determining the parameters of face blocks during mining operations with backhoes. *Gornaya promyshlennost' = Russian Mining Industry*. 2021; 6:76–81. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-76-81. EDN MBXAOF. [In Russ.]
17. Litvin O.I., Khoreshok A.A., Dubinkin D.M. [et al.] Analysis of methods for calculating the productivity of open-pit hydraulic shovels and backhoes. *Gornaya promyshlennost' = Russian Mining Industry*. 2022; 5:112–120. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-5-112-120. EDN UQIXQR. [In Russ.]
18. Bugebrin Sh.Sh., Mikhaylov A.V., Kazakov Yu.A. Control of the excavator bucket positioning using sensors. *Transportnoe, gornoe i stroitel'noe mashinostroenie: nauka i proizvodstvo = Transport, mining and construction engineering: science and production*. 2024; 25:169–175. EDN MAJXBN. [In Russ.]
19. Litvin O., Makarov V., Strel'nikov A., Tyuleneva E. Study of the Backhoe's Digging Modes at Rock Face Working-Out. *E3S Web of Conferences*. 2019; 105:01024. DOI: 10.1051/e3sconf/201910501024. EDN PYNMFL.
20. Litvin O., Tyuleneva E., Kolesnikov V., Dobrov A. Coal-Bearing Zone Transformation into a Coalless One at the Open Pit. *E3S Web of Conferences*. 2018; 41:01020. DOI: 10.1051/e3sconf/20184101020. EDN XVSTHF.
21. Komissarov A.P., Lagunova Yu.A., Nabiullin R.Sh., Khoroshavin S.A. Digital model of the process of rock excavation by the working equipment of the quarry excavator. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' = Mining information and analytical bulletin*. 2022; 4:156–168. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_4_0_156. EDN BLPOYX. [In Russ.]

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2024 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Information about the authors

Maxim N. Lapaev, mining foreman
e-mail: maxlapaev6@mail.ru

Modern Mining Technologies LLC, Neryungri separate subdivision
678965, Russia, Sakha Republic, Neryungri, 15 Razrezovskaya st.

Vyacheslav A. Gogolin, Dr. Sc. in Engineering, Professor of Mathematics department
e-mail: gva.pm@kuzstu.ru

Dmitry M. Dubinkin, C. Sc. in Engineering, associate professor of Mining Machines and Complexes department
e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Sergey O. Markov, C. Sc. in Engineering, associate professor of Open Pit Mining department
e-mail: markovso@kuzstu.ru

Maxim A. Tyulenev, C. Sc. in Engineering, associate professor, chief of Open Pit Mining department
e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
650000, Russian Federation, Kemerovo, 28 Vesennaya St.

