

УДК 622.271.332.4

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАБОЯ РОТОРНОГО ЭКСКАВАТОРА  
НА ЕГО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ**

**М. Совала, А. Стремписки, Дж. Возняк, К. Пактва**

*Вроцлавский университет науки и технологии,  
E-mail: justyna.woznaik@pwr.edu.pl, г. Вроцлав, Польша*

Рассмотрены вопросы использования роторного экскаватора производительностью 100 000 м<sup>3</sup>/сут при отработке вскрышного уступа на угольном разрезе Белхатов в Польше. Исследованы варианты выемки вскрышной заходки постоянной длины на полную высоту уступа и подступами, а также с делением ее по ширине. Установлено, что лучшие показатели производительности экскаватора показал вариант с разделением уступа на подступы, обеспечивающий возможность уменьшения углов откосов обрабатываемого массива и повышения его устойчивости.

*Открытые горные работы, роторный экскаватор, вскрышной уступ, забой*

DOI: 10.15372/FTPRPI20190411

---

Обзор мировой научной литературы показывает, что роторные экскаваторы успешно применяются для разработки буроугольных месторождений [1, 2]. Международный проект BEWEXMIN связан с технологией работы роторных экскаваторов и направлен на разработку решений по сокращению частоты отказов экскаваторов, работающих в сложных горных условиях [3]. К таким решениям относится и мониторинг системы диагностики забоя в режиме реального времени.

В данной статье выполнен анализ технологии отработки вскрышного забоя экскаваторами SchRs 4600 (Krupp) and SchRs 4000 (Q&K) с суточной производительностью 100 000 м<sup>3</sup>. Рассмотрены вопросы совершенствования технологических схем работы роторного экскаватора при отработке вскрышного уступа в буроугольном разрезе Белхатов. Рассмотрено два варианта, предусматривающих отработку уступа на полную высоту 26 м и с делением на подступы высотой 14 и 12 м соответственно. При этом помимо технологических параметров учитывались геомеханические характеристики массива, ограничивающие высоту уступа по условиям его устойчивости. Таким образом, несмотря на технологическую возможность экскаваторов работать с уступами высотой выше 40 м, по соображениям безопасности их высота ограничена 30 м [4].

Одно из возможных технологических решений — экскавация двойным забоем (рис. 1) при фиксированном расположении ленточного конвейера и с двумя проходами роторного экскаватора. Этот вариант используется на уступах, сложенных породами с различными физико-механическими свойствами, чаще при разработке коротких забоев, когда для соединения съездами подступов требуется двойной проход экскаваторов [5].

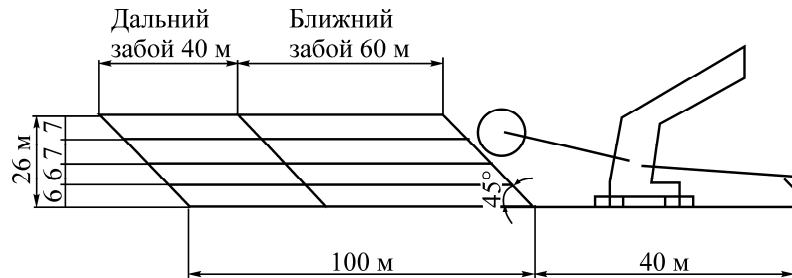


Рис. 1. Поперечный разрез двойного забоя для экскаватора SchRs 4600 × 50. Схема деления заходки

Горизонтальное разделение блока рассмотрено в двух вариантах: полный забой и короткий забой. Оба варианта проанализированы при выемке на всю высоту уступа и для подступной схемы. Для обоих вариантов принята единая ширина заходки 100 м, такими же выбраны параметры двойного забоя. Принимается, что экскаватор SchRs 4600 × 50 разрабатывает за первый проход заходку шириной 60 м, вторым проходом разрабатываются остальные 40 м. Расстояние оси конвейера от откоса уступа составляет 40 м.

#### СХЕМЫ КОРОТКОГО ЗАБОЯ

На основе рабочих параметров экскаватора SchRs 4600 × 50 разработаны четыре варианта отработки короткого забоя. Данные параметры не превышают предельных значений, которые могут привести к неэффективной эксплуатации экскаватора или к его отказу. Первый вариант включал отработку уступа на полную высоту 26 м и ширину без разделения на подступы. Максимальный угол поворота стрелы в плане принимался 90°, а угол наклона по вертикали 30°. Такой подход позволил достичь ширины заходки 86 м, обрабатываемой экскаватором.

Второй вариант предусматривает экскавацию на полную высоту уступа с разделением на подступы: нижний — 12 м, верхний — 14 м (каждый состоит из двух выемочных слоев). Углы поворота стрелы, как и в первом варианте, принимались 90 и 30°. Здесь достигнута ширина заходки 100 м. Оба значения не превышают предельные параметры расположения оси хода экскаватора. Данный вариант включает выемку уступа на полную высоту двумя проходами (60 и 40 м) экскаватора. Первый проход выполняется с меньшей шириной, чем последующий. Расстояние между осью движения экскаватора и нижней кромкой уступа составляет 41 м как для первого, так и для второго прохода. Расстояние между осью экскаватора и нижней бровкой бокового забоя 19 м (рис. 2).

Отличительная особенность этого варианта разработки — наличие в предполагаемой модели челночного маршрута экскаватора четырех осей хода. Сначала экскаватор проходит верхний подступ, начиная с ближнего забоя, и заканчивает выемку на дальнем забое (рис. 2, шаг 1, 2). Затем обрабатывается нижний подступ в той же последовательности (шаг 3, 4). Значения размеров забоя по этому варианту схожи с первым вариантом отработки без разделения на подступы. Каждая из проектируемых схем имеет различия и характерные особенности. Выбор одного из вариантов разработки — непростая задача, и решения должны опираться на тщательный анализ. Теоретические модели работы экскаватора перед их внедрением в практику должны быть подтверждены в реальных условиях.

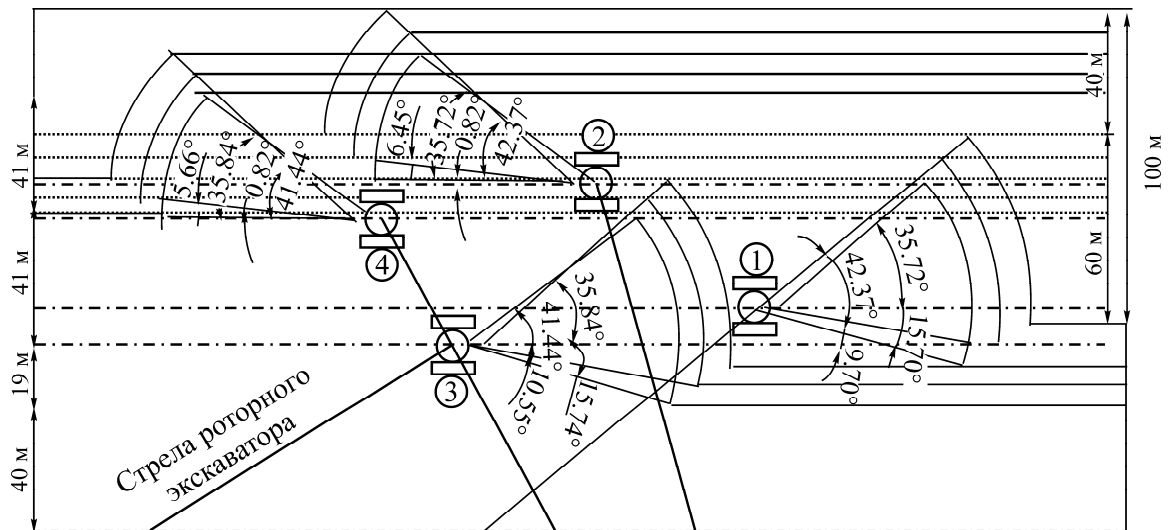


Рис. 2. Последовательность отработки заходки двойным забоем в плане: шаг 1, 2 — роторный экскаватор в ближнем и дальнем забое; шаг 3, 4 — роторный экскаватор на уровне конвейера в ближнем и дальнем забое

#### ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РАБОТЫ ЭКСКАВАТОРА

В данном анализе приняты упрощения, способствующие разработке обобщенной схемы забоя. Размеры рабочей зоны приняты без учета геологических и инженерных факторов. Руководства по анализу технологии горных работ должны включать следующие факторы: геотехнические особенности, опасность затопления, селективность выемки, транспортные уклоны на рабочих и постоянных уступах, изменение углов наклона постоянных откосов [6, 7]. Деление заходки по горизонтали выполнено на основе технологических параметров машин, углов поворота стрелы и высоты выемки. Вариант с делением высоты уступа по вертикали предусматривает его выемку подступами и на полную высоту.

Принятые исходные данные учитывают конструкцию и размеры забоя, относящиеся к длине расчетной рабочей зоны. Принята та же технология отработки врубной заходки (врезки) от стационарного конвейера, служащей для начала и окончания процесса выемки забоя. Длина врезки по фронту не учитывалась в расчетах, а длина фронта работ принята равной 3000 м при постоянной высоте рабочего уступа. Размеры выбранного забоя сопоставимы с реальными на действующем буроугольном разрезе Белхатов. В данных условиях максимальный диапазон длины стрелы экскаватора наиболее оптимален.

Предполагается, что экскаватор начнет работу в установленном рабочем забое из врубной заходки длиной 232 м по фронту и закончит выемочный цикл напротив приводной станции конвейера. В варианте с выемкой уступа на полную высоту (рис. 3а) экскаватор вынимает первым проходом заходку шириной 60 м, обратным проходом — остальные 40 м. Уровень установки конвейера при этом не изменяется. В варианте работы экскаватора двумя подступами (рис. 3б) сначала выполняется заезд на нижний подступ высотой 12 м по длине фронта 264 м (с уклоном 1 : 22 и шириной 100 м), затем начинается выемка 60 м забоя. Обратным ходом обрабатывается следующая заходка шириной 40 м. Когда экскаватор завершит полный цикл работы, забойный конвейер будет передвинут на 100 м.



Рис. 3. Схема движения экскаватора в рабочей зоне (вид сбоку): а — вариант без подступов, б — вариант с двумя подступами

Технологическая схема работы экскаватора SchRs 4600 × 50 разрабатывалась с учетом следующих требований:

- исходные параметры — горнотехнические и геотехнические факторы безопасной работы экскаватора (рекомендованные значения постоянных и рабочих углов откосов уступов, берм безопасности и максимальных высот рабочих уступов);
- рабочий диапазон экскаватора по экскавации — 134,5 м, радиус разгрузки в бункер конвейера — 92 м, максимальное расстояние от оси хода экскаватора до конвейера — 126 м. Высота экскавации ограничивается диаметром рабочего колеса и рекомендованными максимальными углами откоса уступа 45 и 60°;
- выбор ширины проектируемой заходки — около 100 м. Обычно принимается максимально возможная ширина заходки. При невозможности экскавации на всю ширину отрабатывается вариант с двумя проходами экскаватора;
- выбор высоты выемочных слоев — 6–7 м и деление уступа на подступы. Снижение риска, связанного с потерей устойчивости откосов путем деления на слои, что позволяет уменьшить относительную высоту выемки и снизить углы откоса боковых поверхностей до оптимальных;
- определение положения экскаватора в забое, т. е. минимального (41 м) и максимального расстояния до откоса уступа, что наряду с определением рабочих радиусов при экскавации позволяет установить положение оси хода машины;
- определение крайних значений углов поворота стрелы роторы (35° для нижнего подступа, 90° — для верхнего), 30° — для поворота разгрузочной консоли.

Схема работы экскаватора SchRs 4600×50 для сдвоенного забоя с разделением на подступы выполнена на основе параметров обрабатываемых заходок (рис. 4). Контуры будущих выработок на плане показаны штриховыми линиями, существующих — сплошными. Схема позволяет применить данную технологию в простых условиях горных работ. На практике последовательность ее реализации более сложная.

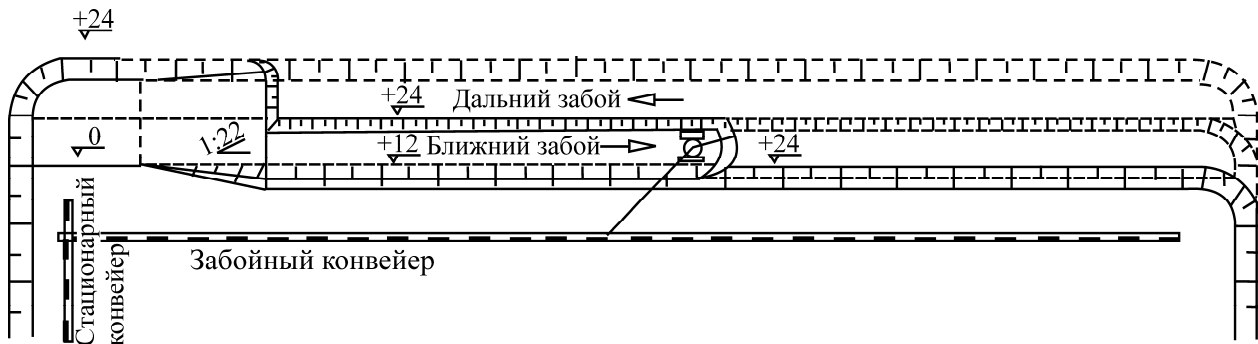


Рис. 4. Схема работы экскаватора SchRs 4600×50 двойным забоем с двумя рабочими подступами

#### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ЭКСКАВАТОРА ПРИ РАБОТЕ

Проведенные исследования касаются определения значений приращения длины маршрута экскаватора при выемке на полную ширину блока (без разделения на две заходки) в вариантах экскавации подступами и на полную высоту уступа. Наиболее полно анализировалась схема с выемкой на всю ширину блока, как наиболее распространенная на разрезах Польши и с большей производительностью, чем вариант с двумя заходками. Таким же образом анализировалась длина передвижения с двойным проходом. В исследовании принято, что средняя длина маневров экскаватора за один рабочий цикл (включая необходимость обустройства заезда) должна быть равна обычной длине маневров, выполняемых экскаватором при работе без заездов.

Экскавация вскрышных пород в границах заходки связана с изменением длины трассы экскаватора по сравнению с вариантом работы без подступов. Количество проходов по фронту работ увеличивается, но в направлении передового забоя снижается. Для оценки изменения расстояния маневровых проходов в вариантах схем выемки на полную высоту уступа и подступами может быть использован показатель маневренности экскаватора  $I_m$ , описанный в [5]. Этот коэффициент представляет собой отношение полного расстояния, пройденного экскаватором за один рабочий цикл, к величине подвигания забоя, т. е. к длине заходки, и выражается формулой  $I_m = \sum |s| / Z$ , где  $\sum |s|$  — общее расстояние, пройденное экскаватором за один цикл, м;  $Z$  — подвигание забоя, м.

Общее расстояние, пройденное экскаватором за цикл работы, определяется следующим образом  $\sum |s| = (2n - 1)Z + 2(H - h_g) \operatorname{ctg} \alpha_c$ . Здесь  $\alpha_c$  — угол откоса, град;  $H$  — высота блока, м;  $h_g$  — высота верхнего слоя, м;  $n$  — количество слоев в блоке. Для определения коэффициента  $I_m$  в варианте работы с двумя подступами его значения были вычислены отдельно для каждого подступа и просуммированы [5].

Полученные результаты (таблица) показывают, что при экскавации забоя высотой 26 м двумя подступами сокращается расстояние перемещений экскаватора SchRs 4600×50 за один рабочий цикл на 9.3% и уменьшается коэффициент маневренности экскаватора на 28%

по сравнению с вариантом без подступов. Сокращение расстояния маневров экскаватора способствует более эффективной работе, так как его движение по забою требует больших затрат времени. Время на маневры можно сократить с помощью приведенного выше варианта работы, обеспечивающего минимум перемещений экскаватора.

Результаты анализа расстояний перемещения экскаватора во время работы [8]

Параметр	Короткий забой без подступа, м	Короткий забой с двумя подступами, м	
		Верхний	Нижний
$\sum  s $	427.30	Верхний	197.20
		Нижний	193.80
		Сумма	391.00
$Z$	44.08	Верхний	51.16
		Нижний	52.10
$I_m$	9.69	Верхний	3.86
		Нижний	3.72
		Сумма	7.58

Предлагаемый вариант с подступами обеспечивает возможность сокращения непроизводительных операций экскаватора и в конечном счете увеличение эффективности его работы. Дополнительным преимуществом варианта является возможность уменьшения угла откоса забоев, что повышает безопасность работы роторного экскаватора.

#### ВЫВОДЫ

Проанализированы четыре варианта отработки вскрышной заходки: два варианта с делением вскрышного уступа по высоте (выемка на полную высоту уступа и подступами) и два варианта с делением заходки по ширине. Схема отработки на полную высоту уступа предпочтительна по технологическим причинам, так как при этом наиболее полно используются геометрические параметры экскаватора. Схема с разделением на подступы снижает объем недобора, обусловленный геометрией черпания роторным колесом.

Экскавация с подступами характеризуется уменьшением относительной высоты забоя по сравнению с вариантом выемки на всю высоту обрабатываемого блока, что позволяет уменьшить углы откоса уступа в забое и на уступе для повышения его устойчивости. По сравнению с вариантом выемки на всю высоту блока, сокращается общее расстояние проходов экскаватора на 9.3 %, а коэффициент маневренности  $I_m$  на 28 %.

Таким образом, вариант ведения горных работ с разделением уступа высотой 26 м на два подступа является более предпочтительным как по технологическим параметрам, так и по условиям безопасности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Galetakis M. and Vasiliou A. Selective mining of multiple-layer lignite deposits, a fuzzy approach, June, Expert Systems with Applications, 2010, Vol. 37, No. 6. — P. 4266–4275.
2. Galetakis M. and Roumpos C. A Multi-objective response surface analysis for the determination of the optimal cut-off quality and minimum thickness for selective mining of multiple-layered lignite deposits, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 2015, Vol. 37, No. 4. — P. 428–439.

3. **Galetakis M., Michalakopoulos T., Bajcar A., Roumpos C., Lazar M., and Svoboda P.** Project BEWEXMIN: bucket wheel excavators operating under difficult mining conditions including unmineable inclusions and geological structures with excessive mining resistance, Conference: 13<sup>th</sup> ISCSMA: Belgrade. — P. 103–113.
4. **Kasztelewicz Z. and Sikora M.** Zasady doboru koparek wielonaczyniowych dla kopalń odkrywkowych w zależności od występujących parametrów górniczo-geologicznych, AGH, Kraków, 2012 (in Polish).
5. **Kolkiewicz W.** Zastosowanie maszyn podstawowych w górnictwie odkrywkowym, Wydawnictwo Śląsk, Katowice, 1974 (in Polish).
6. **Koziol W. and Sośniak E.** Technologia udostępniania i eksploatacji węgla w polu Szczerców, Górnictwo i Geoinżynieria, 2011, Vol. 35, No. 3. — P. 181–192 (in Polish).
7. **Kozłowski Z.** Techniczno-górnicza analiza efektów pracy różnych typów koparek kołowych pracujących w KWB Bełchatów, Górnictwo Odkrywkowe, 2003, Vol. 45, No. 2–3. — P. 5–8 (in Polish).
8. **Sowała M.** Analiza technologii pracy koparki nadkładowej SchRs 4600 × 50 w piętrze o wysokości 26 m z uwzględnieniem zmiennego podziału pionowego i poziomego zabierki, Unpublished Engineering Thesis, 2018 (in Polish).

*Поступила в редакцию 11/VI 2018*

*После доработки 31/X 2018*

*Принята к публикации 03/VII 2019*