

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К КАРЬЕРНОЙ ВЫЕМКЕ ОРГАНОГЕННОГО МАТЕРИАЛА

Михайлов А.В., Смирнов А.И., Ал-Аттар М.Т.

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург

Ключевые слова: органогенный грунт, карьерный способ, откос карьера, одноковшовый экскаватор, выемка, торфяное сырье.

Аннотация. В настоящее время по причине отсутствия на рынке узкоспециализированных многоковшовых экскаваторов выемку органогенного сырья карьерным способом возможно осуществлять с помощью одноковшовых гидравлических экскаваторов. В рамках параметрической схемы гидроманипулятор одноковшового экскаватора осуществляет практически любую траекторию режущей кромки ковша в забое за счет независимых приводов поворота стрелы, рукояти и ковша. С целью уменьшения рисков обрушения борта торфяного карьера, усреднения органогенного сырья и отвода воды из ковша в процессе выемки рекомендуется осуществлять выемку со всей глубины залежи. Способ экскавации осуществляется совмещением движений стрелы, рукояти и ковша экскаватора. В результате ковш перемещается по прямолинейной траектории и срезает стружку постоянной величины с откоса карьера, пересекая все стратиграфические слои торфяного месторождения.

ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL REQUIREMENTS FOR ORGANOGENIC MATERIAL OPEN-PIT EXCAVATION

Mikhailov A.V., Smirnov A.I., Al-Attar M.T.

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Keywords: organogenic ground, open-pit, pit slope, single-bucket excavator, excavation, peat.

Abstract. Currently, due to a lack of highly specialized multi-bucket excavators on the market, organogenic raw materials are quarried using single-bucket hydraulic excavators. Within the parametric scheme, the hydraulic manipulator of a single-bucket excavator can perform almost any trajectory of the cutting edge of the bucket in the face, thanks to independent drives for turning the boom, handle, and bucket. In order to reduce the risk of collapse of the open-pit sides, as well as to ensure the averaging of organogenic materials and the drainage of water from the bucket during excavation, it is recommended to excavate from the entire depth of the deposit. This method of excavation is carried out by combining the movements of the boom, handle, and bucket of the excavator, resulting in a bucket moving along a rectilinear trajectory and cutting off chips of consistent size from the face of open-pit. This process crosses all stratigraphic layers of the peat deposit.

Введение. В настоящее время перспективной технологией по разработке органогенных грунтов (торфяных месторождений) является карьерный способ, по которому возможно осуществлять практически круглогодичную добычу торфяного сырья, что снижает общие затраты и повышает эффективность производства [1-3].

Карьерный способ разработки торфяных месторождений широко применялся во второй половине XX века [4-6]. В рамках карьерного способа выемка торфяного сырья осуществлялась узкоспециализированными многоковшовыми экскаваторными комплексами со всей глубины торфяного месторождения при рабочей ширине карьера от 10,0 до 12,5 м. Применяемое оборудование было полностью электрифицировано от высоковольтной ЛЭП, которая проводилась параллельно карьере на расстоянии 75 м от него. При этом обслуживание такого комплекса осуществлялось машинистом, помощником машиниста и 4-мя подсобными рабочими, выполняющими вспомогательные работы.

Суть способа заключается в том, что торфяное сырье извлекается из карьера глубиной до 4 м многоковшовым рабочим органом с 16-ю ковшами объемом до 0,13 м³ с откоса карьера стружкой до 0,15 м и транспортируется для внутрикарьерной переработки с сепарацией каменных и мелких древесных отходов, измельчением и перемешиванием

торфяного сырья. После чего торфяное сырье по выдающему конвейеру поступает в транспортные средства, обслуживающие экскаватор, и направляется на поле сушки.

Анализ технологической схемы карьерного способа разработки торфяных месторождений показывает, что:

- выемка торфяного сырья осуществляется движением ковшей по прямолинейной траектории с постоянной толщиной срезаемой стружкой со всей глубины торфяного месторождения с пересечением стратиграфических слоев залежи, обеспечивая усреднение торфяного сырья по плотности и степени разложения;
- внутрикарьерная переработка в сепараторе и молотковой дробилке экскавированного торфяного сырья обеспечивает высокие качественные показатели торфяной сырьевой массы;
- реализуется непрерывность технологических процессов в течение добычного сезона при отсутствии цикличности;
- обеспечивается устойчивость откоса карьера за счет угла заложения и прижатия ковшовой рамы к поверхности откоса;
- низкий уровень пожароопасных рисков, за счет натуральной влажности торфяного сырья и независимость от погодных факторов;
- совмещение процессов выемки и рекультивации, после которых остается искусственный водоем с потенциалом для развития флоры и фауны.

Несмотря на ряд преимуществ карьерного способа выемки торфяного сырья, был выявлен ряд недостатков, связанных с надежностью выполнения процесса:

- опыт эксплуатации показал нецелесообразность их применения на залежах со средним и высоким содержанием древесных включений по причине того, что при попадании многоковшового рабочего оборудования на пень происходило его заклинивание, поломка оборудования и, как следствие, это приводило к простоем производства;
- экскаваторный комплекс включает в себя добычной и перерабатывающие модули, связанные между собой последовательно кинематически и конструктивно, что значительно снижает надежность всей технологической системы в целом;
- экскаваторный комплекс требует большого количества обслуживающего персонала с высокой долей ручного труда, из-за чего не удастся осуществить полную механизацию процесса.

Основной целью текущего исследования является обоснование технологических требований для выемки торфяного сырья карьерным способом с применением гидравлических экскаваторов.

Технологические требования к выемке торфяного сырья. В рамках оценки климатических, геологических, геотехнических условий, специфичных для торфяного карьера [7, 8], рассмотрен ряд технологических требований, на основе которых возможно сформировать принципы выемки торфяного сырья карьерным способом:

- 1) выемка торфяного сырья осуществляется со всей глубины торфяного карьера до 4 м по прямолинейной траектории стружкой, что обеспечивает усреднение физико-механических характеристик торфяного сырья и устойчивость откоса;
- 2) управление процессом выемки осуществляется изменением толщины срезаемой стружки так, чтобы в процессе выемки вместимость ковша соответствовала объёму срезаемой стружки с учетом коэффициентов разрыхления и наполнения;
- 3) при выемке торфяного сырья с откоса карьера (часть под водой) из ковша производится отвод воды, попадающей в ковш при выемке;
- 4) адаптация к меняющимся условиям выемки с учетом первичной сепарации крупных древесных включений, что соответствует концепции ответственной добычи по максимальному использованию компонентов месторождения (основных, второстепенных и сопутствующих) [9, 10].
- 5) выемка торфяного сырья должна осуществляться универсальным серийным оборудованием, которое обладает повышенной проходимостью с пониженным давлением на грунт.

На основе изложенных требований выполнен анализ решения по выбору добычного оборудования и его адаптации к карьерному способу выемки торфяного сырья с откоса карьера с учётом современного уровня механизации.

Анализ выемки торфяного сырья с откоса карьера. В связи с широким распространением одноковшовых гидравлических экскаваторов, используемых для добычи полезных ископаемых, строительных и ландшафтных работ, и отсутствием на рынке узкоспециализированных многоковшовых экскаваторов в настоящее время возможно применять гидравлический одноковшовый экскаватор для выемки торфяного сырья. Для обеспечения повышенной проходимости и устойчивости торфяного откоса рационально выбрать экскаватор среднего класса по массе 10-13 т, который обеспечивает меньшее давление на слабый грунт и оснащен гусеницами с шириной 1,5 м.

Рабочее оборудование одноковшового гидравлического экскаватора представляет собой трехзвенный манипулятор с четырьмя степенями свободы (рис. 1). Поскольку каждое из четырех звеньев может вращаться только на своих осях, то их основными геометрическими характеристиками являются длины звеньев и их относительные углы поворота. Непосредственно участвуют в операции копания стрела, рукоять и ковш, которые создают необходимое усилие копания с помощью гидравлических цилиндров.

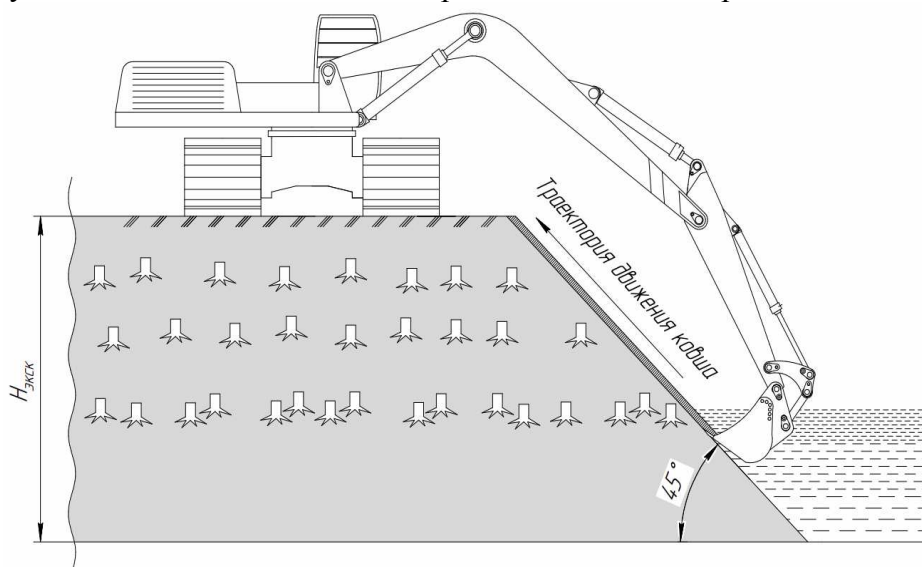


Рис. 1. Выемка торфяного сырья с откоса карьера из-под воды

Гидроманипулятор одноковшового гидравлического экскаватора в рамках параметрической схемы машины способен задать практически любую траекторию движения режущей кромки ковша в забое. За счет независимых приводов поворота стрелы, рукояти и ковша обеспечивается высокая точность позиционирования ковша при выполнении выемочных работ [11].

Так как торфяная залежь представляет собой свиту нескольких горизонтально наложенных пластов, разнородных по своему составу, то выемка торфяного сырья методом поворота ковша и рукояти, не обеспечивает усреднения его физико-механических свойств. Для торфяной залежи характерна высокая влажность в осушенном состоянии (в пределах 87-89%) [12]. Так как копание торфяного сырья производится экскаватором обратной лопатой с поверхности торфяной залежи со всей глубины торфяной залежи до 4 м путем образования откоса, угол заложения которого 45° , то существует опасность обрушения борта торфяного карьера, по причине низкой прочности торфяной залежи.

С целью получения торфяного сырья с усредненными физико-механическими характеристиками и уменьшения рисков обрушения откоса торфяного карьера, рекомендуется осуществлять выемку торфяного сырья со всей глубины залежи, таким образом, чтобы ковш экскаватора при выемке торфяного сырья срезал стружку со всего откоса карьера, пересекая все стратиграфические слои торфяного месторождения.

Особенности выемки торфяного сырья гидравлическим экскаватором.

Планирование траектории ковша экскаватора и управление манипулятором является ключевым моментом для осуществления выемки грунта. В процессе выемки грунта необходимо планировать траекторию движения ковша с учетом свойств грунта, усилия копания и полной скорости ковша.

Для решения поставленных целей должна быть реализована прямолинейная траектория рабочего органа экскаватора при ограничениях, специфичных для конкретной задачи выемки сырья, которая достигается поворотом стрелы и рукояти с регулируемым положением ковша экскаватора относительно разрабатываемого откоса. Параметрическая схема экскаватора представляет собой замкнутую плоскую фигуру. При таком способе экскавация производится совмещением поворота стрелы и рукояти экскаватора с регулируемым положением ковша, в результате которого ковш движется по прямолинейной траектории с постоянной скоростью по откосу карьера [13].

При поступательном движении ковша в плоскости откоса карьера происходит главное движение, обеспечивающее отделение грунта в направлении, совпадающем с прямолинейной траекторией, и его заполнение.

Для эффективного наполнения ковша необходимо соблюдение следующих условий:

1) объем срезаемой стружки с откоса карьера $q_k \leq (k_{раз} k_{нап} q_m)$, где q_k – объем ковша экскаватора, $k_{раз}$ – коэффициент разрыхления торфяного сырья; $k_{нап}$ – коэффициент наполнения ковша; q_m – объем срезаемой стружки;

2) объем воды в ковше $V_g \rightarrow \min$;

Объем срезаемой стружки с откоса карьера:

$$q_m = b_k L h_c, \quad (1)$$

где h_c – толщина срезаемой стружки; L – длина откоса; b_k – ширина ковша (рис. 2).

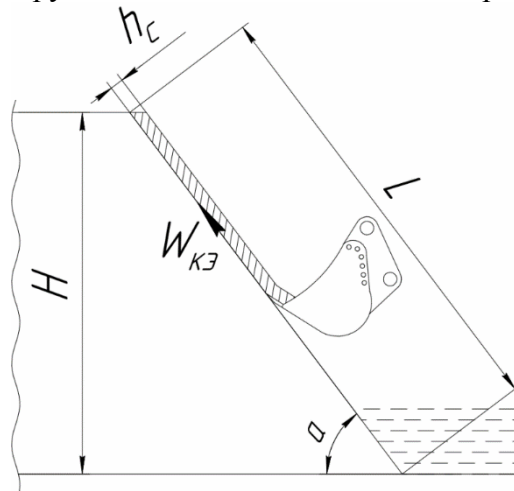


Рис. 2. Траектория движения ковша экскаватора по откосу

Толщина стружки определяется как

$$h_c = q_m / (L b_k), \quad (2)$$

Анализ выражения (2) показывает, что толщина стружки, срезаемой в процессе выемки сырья, зависит от длины откоса и объема ковша. Так как глубина выемки составляет до 4 м, то с учетом объема ковша толщина срезаемой стружки составляет 0,10-0,15 м.

Длина откоса зависит от глубины выемки и угла заложения откоса

$$L = H / \sin \alpha, \quad (3)$$

Возможная толщина стружки определяется также сопротивлением копанию:

$$W_{кз} = k_{уд} b_k h_c, \quad (4)$$

где $W_{кз}$ – рабочее усилие на режущей кромке ковша; $k_{уд}$ – удельное сопротивление грунта копанию ($k_{уд} = 0,12$ МПа для торфяного грунта).

Анализ формул (1)-(4) показывает, что при выемке слабого грунта I категории по трудности капания объём срезанной стружки с откоса карьера и сопротивления на режущей кромке ковша экскаватора будут определяться только толщиной срезанной стружки. Таким образом, регулирование процесса выемки торфяного сырья может осуществляться только изменением толщины срезанной стружки.

Процесс выемки торфяного сырья по прямолинейной траектории с малым углом заложения обеспечивает местную устойчивость откоса карьера. Инкрементная модель выемки с постепенным набором ковша обеспечивает более точное позиционирование и минимизирует вероятность дестабилизации склона с машиной на нем.

При рабочем ходе ковша по откосу возможно осуществлять селективную выемку из залежи попадающих крупных древесных включений. Когда режущая кромка ковша экскаватора встречается с тонкой лапой древесного включения, то она срезается и перемешивается в ковше со всей основной массой. Этот процесс повторяется, пока режущая кромка не упрется в крупный пень. Тогда выемка торфяного сырья прекращается, выгружая добытый материал в штабель. Ковш позиционируется у древесного включения, подцепляет его и выгружает в отвал древесных отходов. Рабочий цикл затем продолжается.

При передвижении по верху уступа расстояние от бровки откоса до ближайшей точки опоры экскаватора зависит от крутизны заложения откоса. Это расстояние должно составлять не менее 1 м в соответствии со (СНиП III-4-79).

Гидравлические экскаваторы, оборудованные обратной лопатой, разрабатывают выемки ограниченной ширины и глубины, не превышающей максимальной глубины резания. Выемку с откоса карьера планируют за один проход экскаватора по участку при верхних стоянках экскаватора, что облегчает разработку слабых связных грунтов. Продольная база экскаватора располагается параллельно бровке откоса. Гидроманипулятор располагается перпендикулярно линии бровки. Произведя выемку, экскаватор передвигается вдоль откоса карьера и снимает очередной участок откоса с перекрытием предыдущего на 0,2 м.

Заключение

Гидравлический одноковшовый экскаватор приспособлен для выемки органогенного сырья карьерным способом со всей глубины залежи и соответствует технологическим требованиям по выемке торфяного сырья с откоса карьера. Выемка органогенного сырья осуществляется путем совмещения поворота стрелы и рукояти экскаватора с регулируемым положением ковша экскаватора относительно разрабатываемого откоса, чтобы рабочий орган экскаватора перемещался по прямолинейной траектории по откосу.

Способ выемки с откоса карьера обеспечивает:

- местную устойчивость откосов;
- минимизирует вероятность дестабилизации склона;
- высокую точность при наборе грунта в ковш тонкой стружкой;
- усреднение торфяного сырья по качеству.

Список литературы

1. Михайлов А.В., Казаков Ю.А., Гарифуллин Д.Р., Короткова О.Ю., Агагена А. Анализ структуры мобильного комплекса для добычи органогенного сырья карьерным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – №6-1. – С. 317-330. – DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_317.
2. Михайлов А.В., Смирнов А.И. Анализ технологических особенностей экскавации органогенного сырья // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – № 29. – С. 136-143. – doi.org/10.26160/2658-3305-2024-29-136-143.
3. Кремчев Э.А. Особенности структуры комплекса технологических операций при экскаваторной добыче торфа со стадийным обезвоживанием сырья // Записки Горного института. – 2018. – Т. 231. – С. 225-234. – DOI: 10.25515/PMI.2018.3.225.
4. Солопов С.Г., Горцакалян Л.О., Самсонов Л.Н., Цветков В.И. Торфяные машины и комплексы. – М.: Недра, 1981. – 416 с.
5. Власов В.П. Технология производства кускового торфа / Калинин. политехн. ин-т. – М.: Недра, 1974. – 149 с.
6. Гревцев Н.В., Сёмин А.Н., Гревцева И.Н. Занимательно о торфе. – М.: Фонд «Кадровый резерв», 2020. – 192 с.

7. Ларгин И.Ф., Корчунов С.С., Малков Л.М. и др. Справочник по торфу / Под ред. А.В. Лазарева, С.С. Корчунова и др. – М.: Недра, 1982. – 760 с.
8. Тюремнов С.Н., Ларгин И.Ф., Ефимова С.Ф., Скобеева Е.И. Торфяные месторождения и их разведка. – М.: Недра, 1977. – 264 с.
9. Drebenstedt C. The responsible mining concept — contributions on the interface between science and practical needs // Mine Planning and Equipment Selection, Springer Cham. 2014, pp. 3-24. DOI: 10.1007/978-3-319-02678-7_1.
10. Холодныяков Г.А., Логинов Е.В., Ву Дык Туан Малоотходная открытая разработка полезных ископаемых с помощью гидравлических экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – №1. – С. 357-363.
11. Гурко А.Г. Математическая модель манипулятора экскаватора с обратной лопатой // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2011. – №55. – С. 79-89.
12. Афанасьев А.Е., Малков В.И., Смирнов В.И. Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений. – М.: Недра, 1987. – 311 с.
13. Zhang Bin, Wang Shuang, Liu Yuting, Yang Huayong. Research on Trajectory Planning and Autodig of Hydraulic Excavator // Mathematical Problems in Engineering. 2017, p. 7139858. DOI: 10.1155/2017/7139858.

References

1. Mikhailov A.V., Kazakov Yu.A., Garifullin D.R., Korotkova O.Yu., Agagena A. Analysis of the structure of a mobile complex for the extraction of organogenic raw materials by the quarry method // Mining information and Analytical Bulletin. 2022, no. 6-1, pp. 317-330. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_317.
2. Mikhailov A.V., Smirnov A.I. Analysis of technological features of excavation of organogenic raw materials // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2024, no. 29, pp. 136-143. doi.org/10.26160/2658-3305-2024-29-136-143.
3. Kremcheev E.A. Features of the structure of the complex of technological operations during excavator peat extraction with staged dewatering of raw materials // Journal of Mining Institute. 2018, vol. 231, pp. 225-234. DOI: 10.25515/PMI.2018.3.225.
4. Solopov S.G., Gortsakalyan L.O., Samsonov L.N., Tsvetkov V.I. Peat machines and complexes. – М.: Nedra, 1981. – 416 p.
5. Vlasov V.P. Technology of lump peat production / Kaliningrad Polytechnic Institute. – М.: Nedra, 1974. – 149 p.
6. Grevtsev N.V., Semin A.N., Grevtseva I.N. It's interesting about peat. – М.: HR Reserve Foundation, 2020. – 192 p.
7. Largin I.F., Korchunov S.S., Malkov L.M. et al. Peat Handbook / Ed. Lazarev A.V., Korchunov. S.S. et al. – М.: Nedra, 1982. – 760 p.
8. Turemnov S.N., Largin I.F., Efimova S.F., Skobeeva E.I. Peat deposits and their exploration. – М.: Nedra, 1977. – 264 p.
9. Drebenstedt C. The responsible mining concept — contributions on the interface between science and practical needs // Mine Planning and Equipment Selection, Springer Cham. 2014, pp. 3-24. DOI: 10.1007/978-3-319-02678-7_1.
10. Kholodnyakov G.A., Loginov E.V., Wu Duc Tuan. Low-waste open-pit mining using hydraulic excavators // Mining information and Analytical Bulletin. 2017, no. 1, pp. 357-363.
11. Gurko A. G. Mathematical model of an excavator manipulator with a reverse shovel // Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Road University. 2011, no. 55, pp. 79-89.
12. Afanasyev A.E. Technology and integrated mechanization of peat deposit development. – М.: Nedra, 1987. – 311 p.
13. Zhang Bin, Wang Shuang, Liu Yuting, Yang Huayong. Research on Trajectory Planning and Autodig of Hydraulic Excavator // Mathematical Problems in Engineering. 2017, p. 7139858. DOI: 10.1155/2017/7139858.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Михайлов Александр Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения	Mikhailov Aleksandr Viktorovich – doctor of technical science, professor of mechanical engineering Department
Смирнов Андрей Игоревич – аспирант	Smirnov Andrey Igorevich – postgraduate student
Ал-Аттар Мурад Талатович – магистрант	Al-Attar Murad Talatovich – master's student
a.s.555@inbox.ru	

Получена 12.02.2025