

УДК 622.271.4.012.3

Е.А.НЕСМАШНЫЙ, д-р техн. наук, проф.,  
Е.В. ГЕРАСИМОВА, Г.И. ТКАЧЕНКО, кандидаты техн. наук, доц.,  
Криворожский национальный университет

## ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УСТОЙЧИВЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТВАЛОВ КАРЬЕРА №4 ПАО «ЦГОК»

При проектировании отвалов железорудных карьеров особую важность имеют вопросы подготовки площадки отвала, в частности осушения, строительства дренажных сооружений, выделения участков первоочередной засыпки и т.п. Поэтому при определении безопасных геомеханических параметров отвалов необходимо еще на стадии проектирования разработать комплекс мероприятий, обеспечивающих наиболее эффективное использование подотвальной территории, увеличение высоты и емкости отвала. При этом параметры отвалов должны быть обоснованы результатами геомеханических исследований грунтов основания и вскрышных пород. Игнорирование или недостаточный учет водного фактора при оценке устойчивости отвалов на слабом основании, как правило, приводит к их значительному деформированию.

Выполнены расчеты по определению степени устойчивости проектных контуров внешнего отвала №3 карьера №4 ПАО «ЦГОК» на слабом основании. Также выполнены расчеты устойчивости проектных контуров отвала «Западный» по геомеханической схеме, учитывающей выпор основания. Рассмотрены два варианта возможного нарушения устойчивости в единой геомеханической системе борт-отвал карьера №4 ПАО «ЦГОК». С целью недопущения увлажнения пород, и формирования в теле отвала «Западный» техногенного водоносного горизонта, предложено использовать технологию отсыпки отвала с формированием вертикальных дрен из скальных пород. Даны рекомендации по предотвращению обводнения основания внешнего отвала «Западный» на участке его сопряжения с западным бортом карьера №4.

Игнорирование или недостаточный учет водного фактора при оценке устойчивости отвалов на слабом основании, как правило, приводит к их значительному деформированию. Для строительства безопасного отвала нижние ярусы отвала необходимо отсыпать скальной вскрышей, но в первый период эксплуатации карьеров (в тот период времени, когда начинается строительство отвала) в разработку вовлекается недостаточный объем скальной вскрыши, в горной массе преобладают рыхлые и глинистые породы. Особую важность имеют вопросы подготовки основания отвала, в частности осушения, строительства дренажных сооружений, выделения участков первоочередной засыпки и т.п. Поэтому при определении безопасных параметров отвалов необходимо еще на стадии проектирования разработать комплекс мероприятий, обеспечивающих наиболее эффективное использование подотвальной территории, увеличение высоты и емкости отвала.

**Ключевые слова:** устойчивость отвалов, слабое основание, коэффициент запаса устойчивости, вертикальные дрены.

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** В практике ведения открытых горных работ отсыпка отвалов на слабом основании является крайне нежелательным, но зачастую неизбежным техническим решением, ввиду отсутствия вблизи карьера других площадей под размещение отвала. При этом общепризнано, что основным негативным фактором, влияющим на устойчивое состояние отвалов, является наличие грунтовых и поверхностных вод [1,8]. Слабая геологическая изученность подотвальных территорий, отсутствие систематизации способов отсыпки горной массы, к сожалению, не позволяют спрогнозировать и предотвратить развитие деформационных процессов на ранних стадиях.

Игнорирование или недостаточный учет водного фактора при оценке устойчивости отвалов на слабом основании, как правило, приводит к их значительному деформированию. Для строительства безопасного отвала нижние ярусы отвала необходимо отсыпать скальной вскрышей, но в первый период эксплуатации карьеров (в тот период времени, когда начинается строительство отвала) в разработку вовлекается недостаточный объем скальной вскрыши, в горной массе преобладают рыхлые и глинистые породы. Особую важность имеют вопросы подготовки основания отвала, в частности осушения, строительства дренажных сооружений, выделения участков первоочередной засыпки и т.п.

Поэтому при определении безопасных параметров отвалов необходимо еще на стадии проектирования разработать комплекс мероприятий, обеспечивающих наиболее эффективное использование подотвальной территории, увеличение высоты и емкости отвала. При этом параметры отвалов должны быть обоснованы результатами геомеханических исследований грунтов основания и вскрышных пород.

**Анализ исследований и публикаций.** Выполненные ранее исследования устойчивости внешних отвалов на слабом основании карьеров Кривбасса показывают, что емкость этих отва-

лов ограничивается несущей способностью основания, физико-механическими свойствами вскрышных пород и горнотехническими условиями [1- 4, 11].

В 2011 г. институтом ГП «УкрНИПИИпромтехнологии» были выполнены работы по инженерно-геологическому исследованию песчано-глинистых пород в основании проектируемого отвала «Западный» [3].

При выполнении этих работ в основу инженерно-геологического анализа грунтового разреза территории под отвалом № 4 положены литологические признаки грунтов, их генезис и физико-механические свойства. Выделение инженерно-геологических элементов выполнено на основе оценки характера пространственной изменчивости физико-механических характеристик грунтов. В грунтовом разрезе площадки выделено 19 инженерно-геологических элементов (ИГЭ).

Инженерно-геологические исследования основания под размещение отвала №3 ПАО «ЦГОК» были проведены институтом «Кривбасспроект» в 1973 году [5].

На участке отвала №3 было пробурено 26 скважин глубиной 3,4-15,0 м, одна скважина глубиной 30 м. Из скважин было отобрано 8 монолитов и 14 образцов на влажность и пластичность, 8 проб песка на анализ механических свойств, из шурфа извлечено 6 монолитов.

Анализ результатов инженерно-геологических изысканий на площадках размещения внешних и временных отвалов карьера №4 ПАО «ЦГОК» показал, что наличие гидростатического и гидродинамического давления маловероятно. В большей степени наличие воды в основаниях может привести к формированию слабого слоя в основании за счет водонасыщения суглинков и глин до предела пластичности и выше [4 -7].

При размещении отвалов на слабом основании их деформирование, как правило, происходит в виде подподошвенных оползней, характерных призмой выпирания. Наиболее действенным способом предотвращения снижения сопротивления сдвигу отвальных пород и грунтов в его основании является отсыпка в нижнюю часть отвала слоя хорошо фильтрующих пород, мощность которого должна превышать высоту капиллярного поднятия (пластовый дренаж), а также отдельная отсыпка глинистых и скальных пород наклонными чередующимися слоями. Подобная технология осушения насыпей из связных грунтов известна в дорожном строительстве - вертикальная дрена.

Вертикальный дренаж широко используется при строительстве автомобильных насыпей. Задача вертикальной дрены - принять поровую воду и отвести её за пределы уплотняемого массива слабого грунта.

Для повышения эффективности вертикального дренажа в основании насыпи необходимо уложить горизонтальный дренирующий слой, обеспечивающий миграцию влаги из увлажненного грунта за пределы насыпи.

Изменение подхода к проектированию отвалов на слабых основаниях позволит снизить риск аварий, связанных с нарушениями устойчивости.

**Постановка задачи.** Как показал опыт, строительство внешних отвалов на слабом основании должно сочетаться с комплексом работ по гидрозащите как самого отвала, так и основания на которое он отсыпается.

Поэтому геомеханическое обоснование параметров отвала с учетом обводненности основания является актуальной научно-практической задачей.

**Изложение материала и результаты.** Проектом развития карьера №4 ПАО «ЦГОК» предусматривается наличие двух временных отвалов на западном и южном бортах карьера.

Временный отвал на западном борту карьера в настоящее время сформирован и до 2017 года предусматривается его разборка.

Формирование временного отвала на южном борту карьера предусматривается до 2017 года, его разборка предусматривается с 2020 г. при расширении карьера на юг.

В настоящей работе нами выполнена оценка устойчивости откосов в песчано-глинистой толще западного борта карьера с учетом нагрузки от временного отвала по состоянию на 01.01.2015 г.

Также проведена оценка устойчивости уступов западного борта карьера в песчано-глинистой толще пород после уборки временного отвала по состоянию на 01.01.2017 г.

В обобщенном виде результаты расчетов устойчивости временных отвалов карьера №4 ПАО «ЦГОК», приведены в табл. 1.

Результаты расчетов устойчивости временных отвалов карьера №4 ПАО «ЦГОК»

Номер разреза	М.О.	Высота борта, м	Угол наклона, град.	КЗУ, доли ед.
Откосы в песчано-глинистой толще (западный борт) 01.01.2015 г				
1-15	216/1000...1500	40	26	1,20
2-15	196...210/1000...1500	45	26	1,20
Откосы в песчано-глинистой толще (западный борт) 01.01.2017 г				
1-17	215/1000...1500	30	34	1,32
2-17	185/1000...1500	35	19	1,72
Временный отвал, южный борт 01.01.2017 г.				
3-17	120...175/870...970	55	19	1,47
Временный отвал, южный борт 01.01.2021 г.				
3-21	100...175/850...1050	45	14	1,75

Проектом развития внешнего отвала «Западный» предусматривается его формирование в три очереди.

На основании имеющейся исходной инженерно-геологической характеристики основания отвала, выполнены расчеты устойчивости перспективных контуров развития отвала «Западный».

Расчеты проведены для контуров отвала совмещенных с контурами развития карьера №4, для восточного борта отвала.

Расчеты западного борта отвала не проводились в виду отсутствия изысканий на площадке развития отвала.

Были рассмотрены два сценария возможного нарушения устойчивости в единой геомеханической системе борт-отвал карьера № 4 и отвала «Западный».

В первом варианте рассматривалось общепринятое представление о формировании поверхности скольжения с выпором, во втором варианте рассматривался пессимистический сценарий формирования слабонаклонного слоя в основании отвала, вследствие значительного обводнения основания.

В обобщенном виде результаты выполненных геомеханических расчетов по определению степени устойчивости проектных контуров развития отвала «Западный», приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты геомеханических расчетов устойчивости перспективных контуров развития отвала «Западный»

Номер разреза	Номер варианта расчета	Высота отвала, м	Угол наклона борта, град.	КЗУ
01.01.2021 г. (вторая очередь строительства)				
1-21	1	75	13	1,86
	2			1,37
2-21	1	60	15	1,52
	2			1,34
01.01.2031 г. (промежуточный контур)				
1-31	1	75	13	1,68
	2			1,31
2-31	1	90	12	1,55
	2			1,33
Конечный контур отработки карьера				
1-1	1	135	12	1,36
	2			1,25
1-2	1	120	12	1,43
	2			1,29
1-3	1	120	12	1,47
	2			1,25
1-4	1	75	14	1,50
	2			1,30
1-5	1	135	12	1,33
	2			1,20

Геомеханическая оценка устойчивости внешнего отвала №3 ПАО «ЦГОК» проведена на основании имеющихся инженерно-геологических изысканий, проведенных институтом «Кривбаспроект» на этапе проектирования отвала [3,4].

Расчеты устойчивости проведены для конечного контура отвала №3 в границах существующего земельного отвода, т.е. по состоянию на 2023 г.

В основу расчета положены проектные контура отвала предоставленные ООО «МИ-ЦЕНТР».

Расчет устойчивости внешнего отвала №3 выполнен согласно геомеханической схемы рекомендованной методическими указаниями для использования в случае размещения отвалов на слабом основании [1,11,12].

В соответствии с данной схемой расчет коэффициента запаса устойчивости проводился методом алгебраического сложения сил по отстроенным круглоцилиндрическим поверхностям скольжения, в том числе и выходящим в подошву отвала.

Расчеты проведены для двух вариантов предполагаемого положения поверхностей скольжения, с величиной выпора в 1/3 и 1/2 высоты отвала.

В обобщенном виде результаты выполненных расчетов по определению степени устойчивости проектных контуров внешнего отвала №3 ПАО «ЦГОК», представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчетов устойчивости внешнего отвала №3 ПАО «ЦГОК»

Номер разреза	Номер варианта расчета	Высота отвала, м	Угол наклона борта, град.	КЗУ, доли ед.
1-1	1	45	12	1,62
	2			1,68
2-2	1	55	12	1,67
	2			1,79
3-3	1	55	13	1,64
	2			1,72
4-4	1	52	16	1,56
	2			1,62
5-5	1	35	19	1,51
	2			1,61

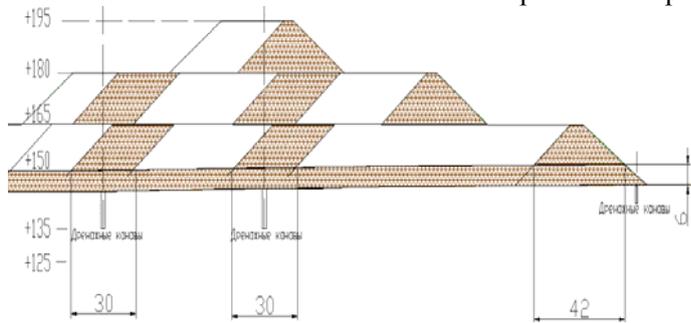
По данным ООО «МИ-ЦЕНТР», календарное распределение объемов скальной и рыхлой вскрыши, извлекаемой из карьера №4 ПАО «ЦГОК» в период формирования первой очереди отвала «Западный», не позволяет обеспечить отсыпку двух нижних ярусов отвала качественной, неветреной скальной вскрышей [5]. В связи с этим, для недопущения увлажнения пород как в теле отвала «Западный», так и в западном борту карьера №4, а также недопущения формирования в теле отвала техногенного водоносного горизонта, рекомендуется использовать технологию формирования отвала с формированием вертикальных дрен из скальных пород, разработанную в ООО «МИ-ЦЕНТР» (проект 04.0215.09.11-ГР).

Данная технология предусматривает размещение в основании отвала закрытых водоотводящих канав, отсыпку в основании отвала подступа высотой 6-7 м из качественных, неветрелых скальных пород и формирование в пределах каждого отвального яруса над горизонтальной проекцией трассы водоотводящих канав, полосы из качественной скальной вскрыши (см. рис. 1).

Закрытые водоотводящие канавы, слой скальной вскрыши в основании отвала и полосы скальной вскрыши, отсыпанные в пределах отвальных ярусов над трассами водоотводящих канав, образуют пространственную дренажную систему, называемую вертикальной дренажной. Для повышения устойчивости отвальных ярусов с восточной стороны отвала, вдоль западного борта карьера №4 ПАО «ЦГОК» рекомендуется предусмотреть отсыпку контрфорсов из крепких скальных пород. При проектировании второй очереди отвала «Западный» необходимо предусмотреть формирование в теле отвала, вдоль западной границы его первой очереди, вертикальной дренажной, трасса которой должна проходить западней линии водораздела, проходящей по подотвальной площади отвала «Западный» (первой и второй очереди).

Для недопущения капиллярного подъема воды в тело отвала и повышения степени устойчивости его бортов, рекомендуется предусмотреть отсыпку в основании отвала слоя качествен-

ной, неветреной, скальной вскрьши высотой не менее 6-7 м. После отсыпки скального подступа, на площади, запланированной для развития отвала на текущий период, над трассами закрытых водоотводящих траншей отсыпается полоса качественной скальной вскрьши шириной 20-30 м. Формирование вертикальных скальных дрен осуществляется параллельно с укладкой в тело отвала основного объема вскрьшных пород.



**Рис. 1.** Рекомендуемая схема размещения скальной вскрьши и формирования вертикальных дрен в теле отвала «Западный»

Контроль за обеспечением формирования вертикальных дрен с использованием качественной скальной вскрьши, осуществляют инженерно-технические руководители карьера.

Проектом должна быть предусмотрена отсыпка на каждом отвальном ярусе упорных призм. Упорные призмы располагаются с восточной стороны отвала, граничащей с западным бортом карьера.

Из-за существующего на протяжении всего периода отсыпки первой очереди отвала «Западный» дефицита скальных вскрьшных пород, невозможно выполнить отсыпку на всех отвальных ярусах вертикальных дрен над закрытыми траншеями сплошной полосой.

Поэтому вертикальная дрена на втором и третьем ярусах отвала отсыпается не сплошной полосой, а отрезками («скальными колодцами»), чередующимися с участками отсыпанными рядовой вскрьшей.

Длина «скального колодца» по простиранию (над трассой траншеи) 50 м, длина участка рядовой вскрьши - 100-150 м.

По высоте скальные участки необходимо отсыпать строго над скальными участками нижележащего яруса образуя, таким образом, «скальные столбы» в теле отвала, выполняющие функции вертикальных дрен.

Наличие скальных вертикальных дрен позволит избежать накопления атмосферных осадков в теле отвала, не допустить капиллярного подъема воды из основания отвала вверх, обеспечить проницаемость тела отвала для воздуха и других газов, отвести воду в траншеи и предотвратить образование техногенных водоносных горизонтов в теле отвала.

Соблюдая вышеописанную технологию строительства и отсыпки отвала «Западный», можно будет предотвратить развитие негативных деформационных процессов и обеспечить его устойчивое состояние.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Выполненные расчеты показали, что степень устойчивости временного отвала на южном борту карьера по состоянию как на 01.01.2017, так и на 01.01.2021 г. отвечает нормативным требованиям (расчетные коэффициенты запаса устойчивости находятся в пределах 1,47-1,75) и обеспечивает безопасные условия производства горных работ.

Степень устойчивости бортов внешнего отвала № 3 карьера № 4 ПАО «ЦГОК» по состоянию на 2023 г. существенно превышает нормативные требования (расчетные коэффициенты запаса устойчивости находятся в пределах 1,56-1,72), что свидетельствует о возможности проектной проработки вопроса о его расширении.

Степень устойчивости конечного и промежуточного контуров внешнего отвала «Западный» выше нормативной (расчетные коэффициенты запаса устойчивости находятся в пределах 1,33 - 1,96), а значит, обеспечивает безопасные условия производства горных работ на участке его сопряжения с западным бортом карьера №4.

При имитационном моделировании ситуации, которая предполагает обводнение основания внешнего отвала «Западный», на участке его сопряжения с западным бортом карьера №4 возможно формирование ослабленного породного слоя, наклонного в карьер.

В этом случае степень устойчивости отвала «Западный» на участке его сопряжения с западным бортом карьера №4, будет определяться в основном степенью обводненности горных пород в этом слое, а деформирование этого участка приведет не только к разрушению отвала, но и практически к остановке горных работ на всем карьере № 4.

Для предотвращения такого негативного развития геомеханической ситуации, рекомендуется использовать при строительстве и отсыпке отвала «Западный» технологию формирования вертикальных дренажей из скальных пород, разработанную в ООО «МИ-ЦЕНТР».

Она предусматривает размещение в основании отвала закрытых водоотводящих канав, отсыпку в основании отвала подступа из скальных пород и формирование в пределах каждого отвального яруса, над горизонтальной проекцией трассы водоотводящих канав, полосы из скальной вскрыши.

#### Список литературы

1. **Ткаченко Г.І.** Фізико-математична модель утворення поверхні зсуву в зовнішніх відвалах залізрудних кар'єрів / Вісник Криворізького технічного університету, 2011. – Кривий Ріг: КТУ. - Вип. 28. - С. 65-70.
2. **Ткаченко Г.І., Болотников А.В.** Оцінка стійкості східного борта Глеєватського кар'єра №1 в зоні його підроблення підземними гірничими роботами Вісник Криворізького технічного університету, 2012. - Кривий Ріг: КНУ.- Вип. 30.- С. 34-39.
3. Геомеханическое обоснование параметров отвала «Западный» и его влияние на устойчивость западного борта карьера № 4 ПАО «ЦГОК»/ отчет по НИР/ рук. **Несмашный Е.А.**/ КП «Академический дом» АГН Украины. Кривой Рог. – 2011
4. Обоснование безопасных геомеханических параметров карьера №4 и его отвалов (разработка рекомендаций по обеспечению устойчивости бортов и уступов отвалов и карьера): Отчет о НИР/ Академия горных наук Украины, КП «Академический дом»; рук. работы **Е.А. Несмашный**. - Кривой Рог, 2014.- 142 с.
5. Строительство и отсыпка 1-й очереди автомобильного отвала «Западный» на карьере №4 ПАО «ЦГОК» / Проект // ООО «МИ-ЦЕНТР», Кривой Рог - 2012.
6. Геолого-економічна переоцінка Артемівського родовища залізистих кварцитів // Звіт по НДР // Кер. проф. **Плотников А.В.** // Кривий Ріг, 2009.
7. Строительство и отсыпка 1 очереди автомобильного отвала «Западный» на карьере № 4 Артемовского месторождения /Рабочий проект. Инженерно-геологические изыскания // ГП «УкрНИПИИпромтехнологии» Желтые Воды, 2011.
8. Методичні вказівки з визначення оптимальних кутів нахилу бортів, укосів уступів і відвалів залізрудних та флюсових кар'єрів // Під ред. проф. **А.Г. Шапаря** // -К: - 2009. – 201 с.
9. **Голуб В. В., Полищук С. З., Ветвицкий И. Л.** Новые подходы к оценке устойчивости откосов и склонов: теория и практика / Днепропетровск: ЧМП «Экономика», 2011. - 172 с.
10. **Ткаченко Г.І., Максимов О.В.** Моделювання поверхонь сковзання для оцінки стану стійкості багатоярусних зовнішніх відвалів / Вісник Криворізького технічного університету, 2008. – Кривий Ріг: КТУ. - Вип. 8. - С.7-11.
11. Комп'ютерна програма для оцінки і розрахунку стійкості укосів бортів кар'єрів і ярусів відвалів «KUSTO»: Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Україна, МСП 03680 / **Є.Я. Бехлер Є.Я., О.В. Максимов, Є.О. Несмашний, О.В. Романенко, Г.І. Ткаченко.** - № 18720; Зареєстр.22.11.06.
12. Комп'ютерна програма «Комплекс комп'ютерних програм «РЕПЕР»: Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Україна, МОНУ / **Є.Я. Бехлер, А.В. Болотников, Є.О. Несмашний, О.В. Максимов, Г.І. Ткаченко.** – № 39943; Зареєстр. 02.09.11.

Рукопись поступила в редакцию 25.03.16

УДК 622.235: 622.271

А.А. СКАЧКОВ, інженер, С.О. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф.  
Криворізький національний університет

### ФОРМУВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ПРИКОНТУРНОЇ ЗОНИ УСТУПУ

Статтю присвячено вирішенню актуальної проблеми – зниження питомої витрати вибухових речовин на підрибнення гірських порід шляхом зміни порядку виконання підрибних робіт, коли блок утворено парним числом рядів свердловин, крім того, у всіх непарних рядах вагові заряди формуються відповідно до значень нормального енергонасичення, а в парних – навантаження знижується на 30-45% і починається ініціювання вибуху зі зменшеного заряду в другому ряді, після чого – ініціювання з затримкою найближчого повного заряду в першому, після чого в процес втягується наступна пара: зменшений заряд у другому ряду – повний заряд в першому, поки всі заряди не підірвуться в перших двох рядах; Потім ініціюються заряди з наступної пари рядів: від зменшеного заряду в четвертому ряді – до повного заряду в третьому, і так до тих пір, поки не закінчиться підрибнення всього блоку. Якщо потрібно, число пар рядів може бути збільшено. Це супроводжується зниженням на 15-20% маси вибухових речовин. У разі підрибнення більш високих уступів з'являється додатковий ряд зі зменшеними зарядами, розташованими між двома головними рядами, але ближче до переднього, і вони вибухають по черзі в групі: починаючи зі зменшеного в другому ряді, і закінчуючи – через затримку зменшеним в додатковому ряді – повним зарядом в першому ряді, поки вибухи не закінчаться в цих трьох рядах; Заряди в четвертій і третій парах рядів послідовно спрацьовують в глибині блоку.