

УДК 624.13

*А.М. Чернухин, к.т.н.; Л.В. Герасименко;
О.А. Чернышенко; Б.Н. Шабалин,
НИИСП, Киев*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УПЛОТНЕНИЯ КРУПНООБЛОМОЧНОГО ГРУНТА НА ОПЫТНЫХ УЧАСТКАХ

АННОТАЦИЯ

Исследована технология уплотнения некондиционных известняков гладким вибрационным катком марки BW 213-D4 и автосамосвалом SKANIA-500 на опытном участке для катка и опытно-производственном участке для автосамосвала.

Ключевые слова: известняк, сжатая зона, уплотнение, осадка, марка, опытный участок, виброток, автосамосвал.

Необходимость в оценке эффективности уплотнения взорванного известняка возникла в связи с планируемым строительством объектов гражданского назначения на его отвалах, расположенных в отработанном Западно-Балаклавском карьере. Карьер находится на территории Крымского полуострова и характеризуется сейсмичностью в 9 баллов.

Разработка проекта строительства объектов на отвалах карьера осуществлялась фирмой ООО STOKMAN KONSTRAKCHN.

Намечаемая к строительству глубина заполнения карьера отходами обогатительных фабрик и некондиционным известняком составит 350 м. Складирование известняка в карьере началось в 1961 г. В течение 40 лет карьер заполнялся шламами обогатительных фабрик, которые доставлялись по трубам способом гидромеханизации на высоту приблизительно 90 м. По данным ЧП "Будгеология" шламы, заполнившие карьер, находятся в стабильном состоянии и в основном уплотнились до состояния суглинка. Последние 12 лет на шламах осуществлялось складирование некондиционного известняка сухим способом. Складированный известняк разрабатывается в соседнем карьере и входит в состав его вскрышных пород. Высота уже уложенного в Западно-Балаклавский карьер известняка составила более 100 м.

Работы по складированию известняка в карьере выполняет производственное предприятие "Балаклавское рудоуправление им. А.М.Горького"

Известняк, доставляемый автосамосвалами в Западно-Балаклавский карьер, представляет собой разнородную горную массу с преобладающим размером зерен от 10 до 20 см.

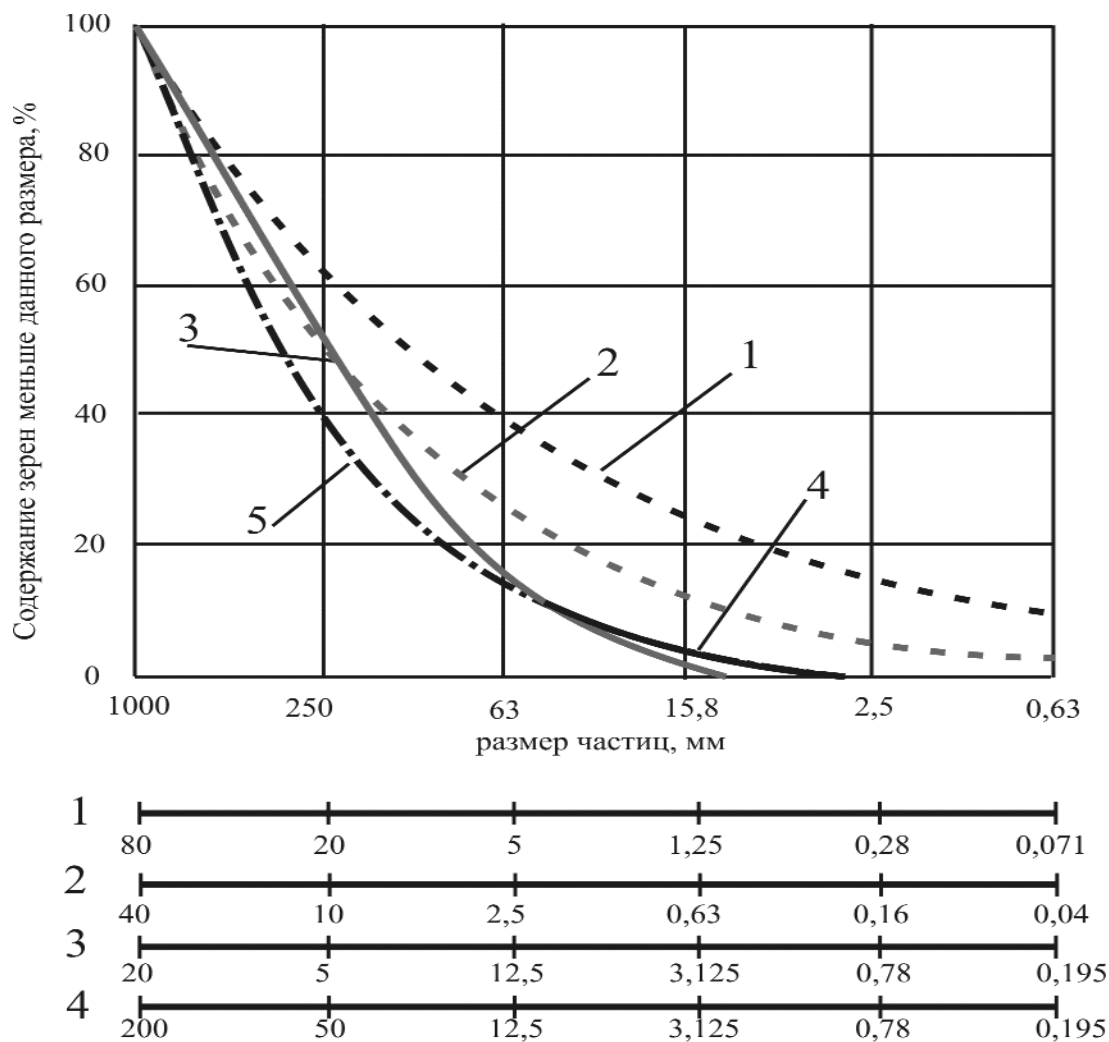
Складирование известняка в карьере производится слоями высотой по 10-15 м. По верху каждого отсыпаемого слоя для проезда по нему автосамосвалов на пневматическом ходу устраиваются карьерные дороги, отсыпаемые из мелких отходов камнедробильного производства.

При отсыпке каждого слоя бульдозер сталкивает известняк, привезенный автосамосвалами, вниз по откосу, длина которого достигает 30 м. Скатываясь по откосу, разнородная порция известняка расслаивается, причем наиболее крупные зерна породы скапливаются у подножья откоса, образуя арочные конструкции различной устойчивости и прочности, а более мелкие — задерживаются у его гребня. При сейсмических воздействиях возникает опасность разрушения неустойчивых арочных конструкций, вызывающих осадку отвалов, что повлечет за собой деформацию возводимых на них зданий и сооружений.

Поскольку заполнение карьера известняком продолжается и проектные отметки расположения фундаментов под гражданские здания еще не достигнуты, появилась возможность организовать более равномерную и плотную его укладку в пределах той части складированного известняка, в которой будет располагаться сжимаемая толща под фундаменты будущих зданий и сооружений. Сжимаемой толщиной принято считать ту часть основания, в пределах которой дополнительная нагрузка от этих зданий не превышает 0,1 от собственного веса грунта [1].

НИИ строительного производства (г. Киев) было предложено в пределах сжатой зоны, учитывая сейсмичность территории карьера, укладывать известняк слоями такой толщины, чтобы его можно было уплотнить имеющимся у производственного предприятия оборудованием.

Общеизвестно, что при плотной и организованной укладке крупнообломочные грунты, к которым относится и складированный известняк, являются надежными основаниями для зданий и сооружений различного назначения. Учитывая сейсмичность района предполагаемого строительства, было намечено выполнить опытные работы в производственных условиях, которые как нами предполагается, будут представлять значитель-



- 1 кривая сбега – К – 0,8 для зерен от 80 мм до 0,071 мм
 2 кривая сбега – К – 0,7 для зерен от 40 мм до 0,04 мм
 3 гранулометрический состав ОАО “БРУ”
 4 гранулометрический состав известняка в отвале
 5 кривая сбега – К – 0,6 для зерен от 20 мм до 0,018 мм

Рис.1. Сравнение кривых сбега гранулометрического состава некондиционных известняков после взрыва с оптимальными для плотной укладки в насыпь

ний интерес для специалистов, занимающихся строительством в аналогичных условиях.

По расчётам НИИСП величина сжатой зоны в основании фундаментов, запроектированных

Таблица 1. Техническая характеристика катка BOMAG BW 213-D4

Показатели	Величина
Рабочая масса виброкатка, т	12,53
Рабочая масса вибровальца, т	7,23
Ширина вибровальца, мм	2130
Статическая линейная нагрузка по его образующей, кг/см	33,9

ООО STOKMAN под нагрузку 1,3 кг/м², составила 10 м.

Производственное предприятие, выполняющее складирование известняка в выработанном пространстве карьера, было заинтересовано отсыпать его с уплотнением, с имеющимся в его распоряжении оборудованием, но слоями максимально возможной толщины.

С целью определения толщины отсыпаемого слоя известняка в насыпях, попадающих в пределы сжатой зоны, были организованы опытно – производственные исследования на двух опытных участках.

Таблица. 2. Результаты измерения осадок марок после уплотнения насыпей виброкатком BOMAG BW 213-D-4, создающего линейную нагрузку по образующей вальца 33,9 кг/см

Высота насыпи, м	Марка	Осадка Δh , мм, после проходов						Относительная осадка насыпей, %
		2	4	6	8	10	12	
1,00	1	27	36	48	55	59	61	
	2	4	37	35	45	72	70	
	3	4	7	23	32	29	30	
Среднее значение		14,3	27	35,3	44	53	53,7	4,3
2,23	4	12	45	45	52	-	60	
	5	34	69	63	79	-	74	
	6	34	55	61	71	-	60	
Среднее значение		28	56,3	56,3	67,3		64,0	2,86

На одном опытном участке №1 было отсыпано две насыпи известняка разной толщины с последующим уплотнением виброкатком марки BOMAG BW 213-D4.

Техническая характеристика катка BOMAG BW 213-D4 приведена в таблице 1.

На другом опытно-производственном участке отсыпка известняка слоем высотой около 10 м осуществлялась карьерным автотранспортом с последующим разравниванием бульдозерами, как это принято при обычном складировании известняка в карьере, — без применения специального оборудования для его уплотнения.

По поверхностям насыпей, выполненных из крупнозернистого материала, как это было принято при складировании известняка в отвалах, отсыпались слои мелкозернистого известняка толщиной до 100 мм.

Ориентировочный зерновой состав известняка, укладываемого в опытные насыпи и отвалы, приведен на рис.1.

Из анализа кривой зернового состава следует, что размеры зёрен и их количество в пределах каждой фракции в основном отвечают требованию максимально плотной укладки в качественную насыпь. Это требование, как известно, состоит в том, чтобы кривая зернового состава уплотняемого грунта находилась в пределах нормируемых стандартами кривых, коэффициенты сбега которых соответствовали значениям $K=0,6-0,7$ [3, 4].

Основная трудность в проведении опытных работ заключалась в том, что для оценки степени уплотнения крупнообломочных грунтов по глубине укладываемого слоя, к которым относится некондиционный известняк, не применимы известные в геомеханике способы: режущего кольца, зондирования, геофизики и даже метод "лунки".

Единственным показателем, позволяющим оценить воздействие дополнительного уплотнения на слой грунта из крупнообломочных грунтов, была осадка. Осадка измерялась величиной перемещения марок, установленных на поверхности уплотняемого слоя.

План разноразмерных насыпей в пределах опытного участка №1 и места расположения на них марок показаны на рис. 2.

Размеры насыпей в плане без учёта въездов и съездов составили 23X15м. Объем известняка, уложенного в насыпи, составил 600 м³. Перед началом уплотнения были определены средние значения высот каждой из насыпей. В низкой насыпи №1 средняя высота оказалась равной 1,0 м, а в более высокой №2 — 2,3 м.

Измерение высотного положения марок в процессе уплотнения фиксировалось после каждых двух проходов виброкатка по одному месту.

Результаты измерений сведены в таблицу 2.

Из таблицы следует, что в опытных насыпях предельная осадка Δh была достигнута после 10 проходов катка по 1 месту, среднее значение осадки насыпи №2 высотой 2,23 м оказалось на 10,3 мм больше чем в насыпи №1 при том, что технология отсыпки насыпей и их уплотнение выполнялось аналогичным способом. Повидимому, это связано с тем, что первоначальные плотности известняков, отсыпанных в насыпи, имели разную плотность.

По измеренным величинам осадок марок были определены зоны, в пределах которых плотность уложенного известняка отвечала требованиям, предъявляемым к грунтовым подушкам под фундаментами, а в нашем случае к грунтам, попадающим в "сжатую зону".

В соответствии с табл. 8 [2] при нагрузке на песчаную подушку до 2 кг/см² и общей толщине

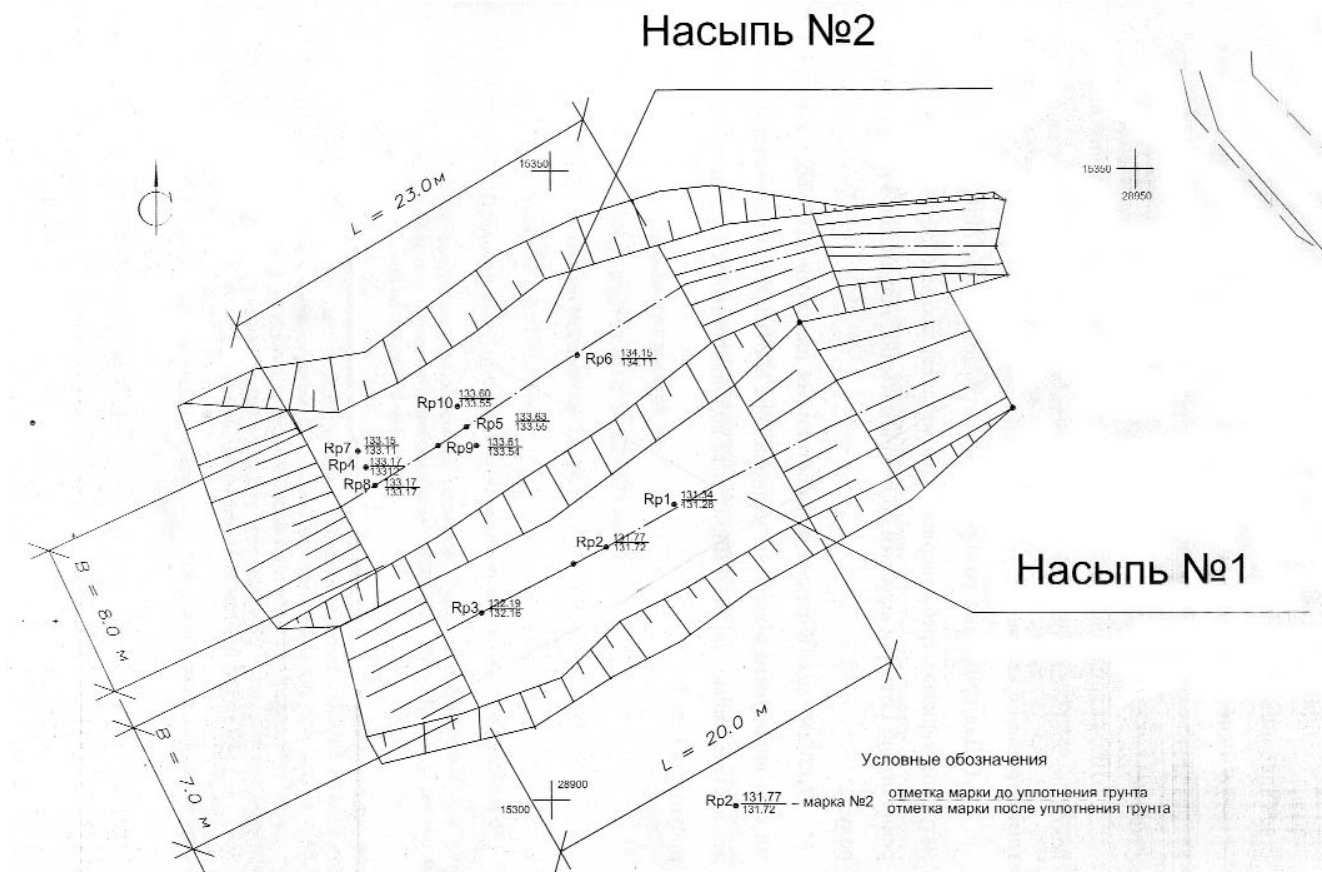


Рис. 2. План расположения марок на поверхности опытных насыпей

отсыпки слоем выше 6 м контрольное значение коэффициента уплотнения должно составлять $K_{\text{com}} = 0,96 \cdot Y_{\text{п}}$.

Плотность известняка ненарушенной структуры по данным института "Кривбасгеопроект" составляет в среднем $Y_0 = 2,65 \text{ т/м}^3$. Тогда плотность известняка в пределах "сжатой зоны" должна быть не ниже $Y_{\text{п}} = Y_0 \cdot K_{\text{com}} = 2,65 \text{ т/м}^3 \times 0,96 = 2,54 \text{ т/м}^3$.

Измеренная в отвалах насыпная плотность свежесыпанного известняка варьировалась в пределах $Y = 2,2-2,3 \text{ т/м}^3$. Предположительно в этих же пределах изменялась плотность и в опытных насыпях. Примем для ориентировочных расчётов плотность отсыпанного в насыпи известняка, равную $Y = 2,3 \text{ т/м}^3$.

Расчётную глубину насыпи h , в пределах которой плотность некондиционного известняка после 12 проходов катка составит необходимые $Y_{\text{п}} = 2,54 \text{ т/м}^3$, находим из условия, что массы известняка в рыхлом состоянии и уплотнённом остаются одинаковыми, что может быть представлено зависимостью:

$$Yh = Y_{\text{п}}(h - \Delta h).$$

Из этого уравнения определяем глубину уплотнения насыпи:

$$h = \Delta h / (1 - Y/Y_{\text{п}}),$$

где

Δh — средняя осадка насыпей.

Подставив в вышеприведённую зависимость величины осадок насыпей из табл.2, получим:

для насыпи №1 высотой 1м:

$$h = \Delta h / (1 - Y/Y_{\text{п}}) = 53,7 / (1 - 2,3/2,52) = 671 \text{ мм},$$

для насыпи №2 высотой 2,23 м:

$$h = 64 / (1 - 2,3/2,52) = 735 \text{ мм}.$$

Следовательно, глубина уплотнения насыпей находится в пределах 671-735мм.

На основании выполненных расчётов было рекомендовано при уплотнении некондиционного известняка виброкатком BOMAG BW 213-D4 отсыпать известняк слоем толщиной не более 700 мм.

На опытно-производственном участке оценка доуплотнения насыпи, отсыпанной на высоту 10 м, осуществлялась автосамосвалом SKANIA-500, загруженным некондиционным известняком. Общий вес автосамосвала с грузом составил 48,78 т. При площади следа от одного колеса автосамосвала 900 см² давление, передаваемое на уплотняемую этим самосвалом площадку, составило 6,7 кг/см², т.е. оно оказалось в 5 раз меньше давления, создаваемого виброкатком BOMAG BW 213-D4.

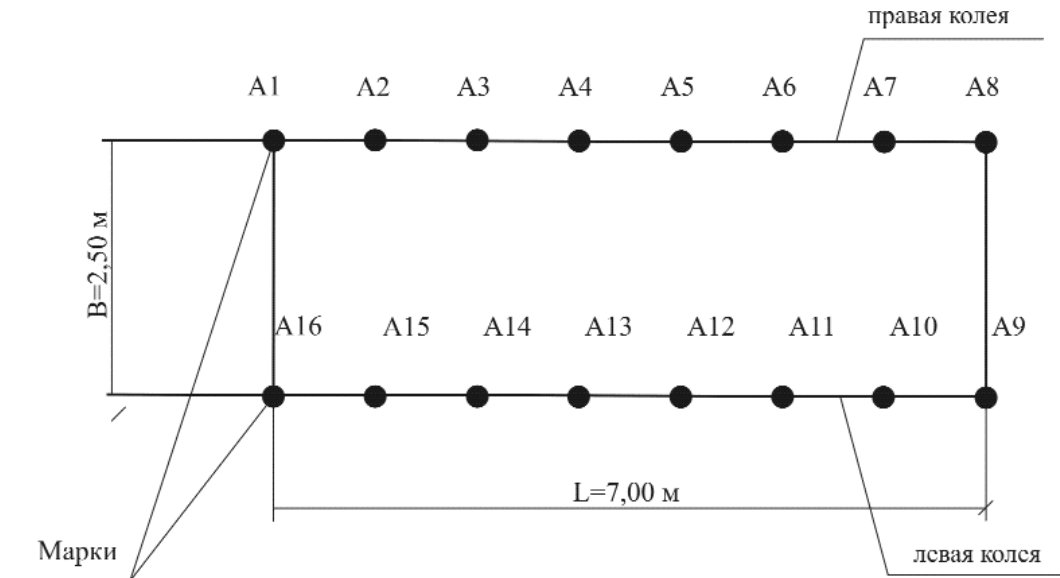


Рис. 3. Схема опытного промышленного участка

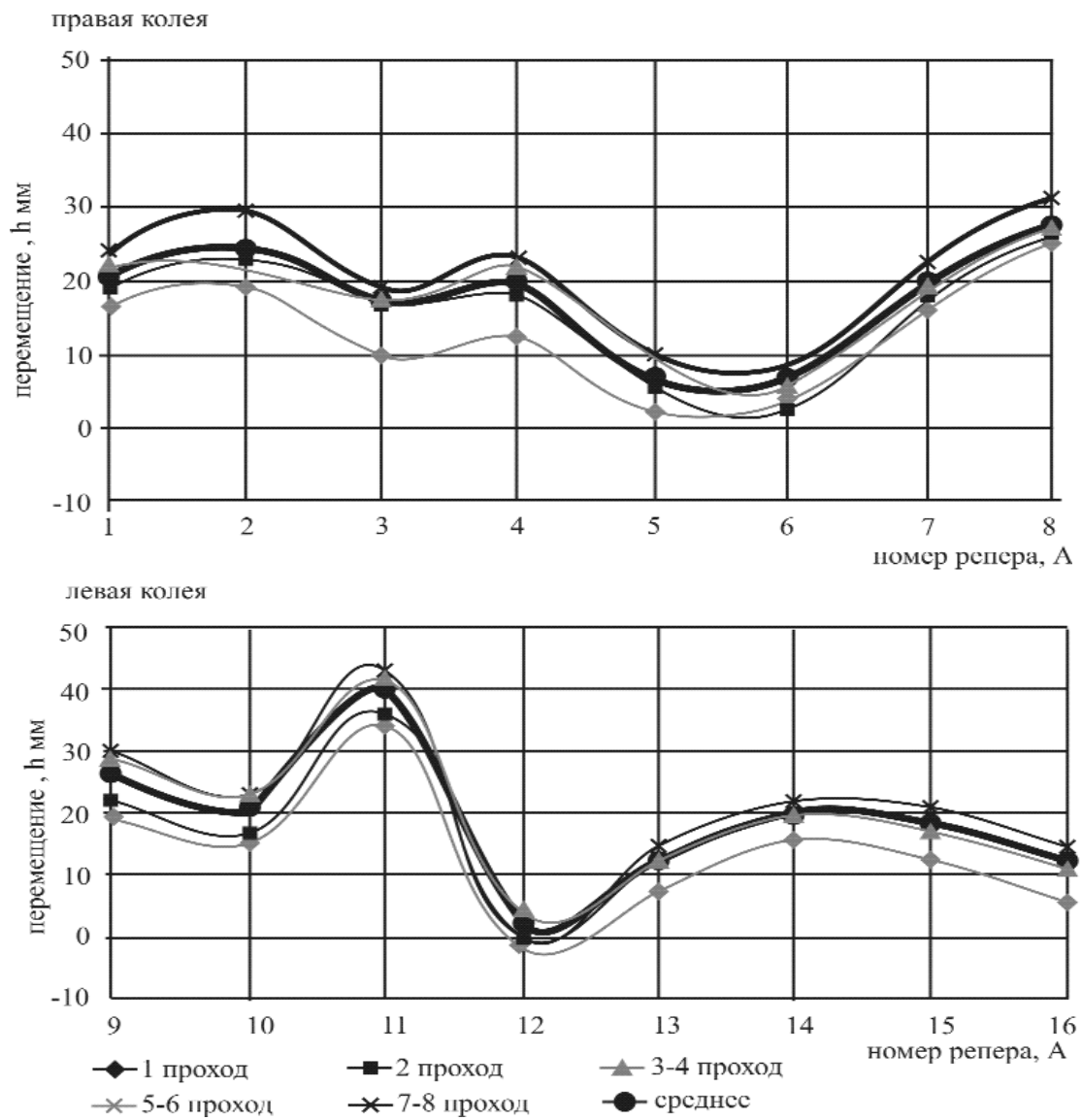


Рис. 4. График осадки марок от проходов

Размер опытной площадки составил 7X2,5 м. Схема размещения на ней марок показана на рис. 3

По осям правой и левой колеи движения автосамосвала было установлено 16 марок, т.е. по 8 на каждой колее. По маркам было осуществлено 8 проходов гружёного автосамосвала.

Изменения положения марок после каждого прохода фиксировались электронным тахометром высокой точности.

Результаты измерений приведены на графиках рис.4.

Из графиков следует, что осадки марок № 2, 11 и 8, которые расположены в начале и конце движения автосамосвала, оказались наибольшими. Величина осадок после 2 прохода составила всего 30 до 43 мм, т.е. они оказались меньше таких, которые обычно принимаются "за отказ". Максимальная осадка остальных марок за 8 проходов не превысила 20 мм. Неравномерные осадки соседних марок объясняются тем, что под этими марками оказались обломки известняка разной крупности,

На основании выполненных измерений был сделан вывод о том, что уплотнение некондиционного известняка слоем толщиной 10 м автосамосвалом марки SKANIA-500 в условиях промышленного складирования некондиционного известняка не вызвало существенного дополнительного его уплотнения

На основании выполненных производственных экспериментов можно сделать следующие выводы.

1. Применяемая технология складирования некондиционного известняка в выработанном пространстве Западно-Балаклавского карьера сопровождается его расслаиванием, в процессе которого крупные зерна концентрируются у основания отвалов, а мелкие — у ее гребня. При сейсмических воздействиях существует опасность их взаимного перемещения более плотной укладки, что может вызвать неравномерные просадки.

2. Уменьшение толщины отсыпаемого слоя известняка уменьшает вероятность его существенно расслаивания, поэтому для предупреждения возможных просадок качественных насыпей необходимо ограничить толщину отсыпаемого слоя до величины, при которой процесс отсыпки будет технологически оправданным.

3. Существенный эффект в уплотнении крупнообломочных известняков был получен при сочетании уплотнения с вибрацией. Применение виброролка, создающего осевую нагрузку по образую-

щей вальца 33,9 кг/см, позволило после 12 проходов по одному месту достичь коэффициента уплотнения $K_{\text{com}} = 0,96 \cdot Y_{\text{п}}$ на глубине, не превышающей 700 мм.

4. Осадка некондиционного известняка после 8 проходов автосамосвала, создающих удельное давление в 6,7 кг/см² на поверхности насыпи, составила всего 43 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В 2.1-10:2009 *Основи та фундаменти будинків і споруд. Основні положення проектування.*
2. СНиП 3.02.01 -87 *Земляные сооружения, основания и фундаменты.*
3. *Методические рекомендации по сооружению насытей земляного полотна автомобильных дорог из крупнообломочных грунтов.* М., 1977.
4. ВСН 55-69 *Инструкция по определению требуемой плотности и контроля за уплотнением земляного полотна автомобильных дорог.*
5. *Инженерно-геологические исследования по определению плотности некондиционного известняка в насытях опытной и промышленной отсыпки на территории выработанного пространства Западно-Балаклавского карьера.* ПП "Будгеология", Севастополь, 2012.

АНОТАЦІЯ

Досліджена технологія ущільнення некондиційних вапняків гладким вібраційним котком марки BW 213-D4 і автосамоскидом Skania-500 на дослідній ділянці для котка і дослідно-виробничій ділянці для автосамоскида.

Ключові слова: вапняк, стисла зона, ущільнення, осідання, марка, дослідна ділянка, вібророл, автосамоскид.

ANNOTATION

There was studied the technology of compaction of offgrade limestones by vibrating roller of trade mark BW 213-D4 and tipping lorry SKANIA-500 on the experimental ground for roller and on the experimental-processing area for tipping lorry.

Keywords: limestone, compressive zone, compaction, settlement, trade mark, experimental ground, vibrating roller, tipping lorry.