**Надуть В.П.**

д. т. н., професор

Сухарев В.В.

к.т.н., ст.науч.сотр.

Костыря С. В.

к.т.н., мл.науч.сотр.

*Институт геотехнічної
механіки ім. М.С.
Полякова Національної
академії наук України*

Naduty V.

Dr. Sc. of Eng., Professor

Sukharev V.

Ph.D. of Eng., Senior Researcher

Kostyrya S.

Ph.D. of Eng., Junior Researcher

*Institute of Geotechnical
Mechanics named M.S.
Polyakov of the National
Academy of Sciences of
Ukraine*

УДК 622.794.002.5**DOI: 10.37128/2306-8744-2020-4-1**

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ГОРНОЙ МАССЫ НА ВИБРАЦИОННОМ УСТРОЙСТВЕ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ

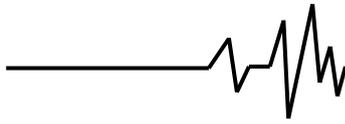
Большие сложности возникают при переработке влажного минерального сырья менее 1 мм, и этой проблеме уделяется пристальное внимание. Существует острая необходимость обезвоживания конечного продукта горного производства до минимального процентного содержания влаги. К такому сырью относится уголь, который в процессе добычи и переработки образует большое количество мелких частиц крупностью $1,0 \pm 0,05$ мм и при его обогащении пенной флотацией насыщается влагой, что затрудняет последующее использование угля. Также, для переработки техногенных месторождений, состоящих из золошлаковых отходов, их необходимо обезвоживать для последующей комплексной переработки, заключающейся в использовании магнитной сепарации и тонкого грохочения.

Аппараты механического обезвоживания не всегда обеспечивают необходимый процент влажности, требуемый для дальнейшей технологии переработки. Механическими способами извлекается только свободная и слабосвязанная влага, а поровая и капиллярная влага не удаляется. Поэтому в качестве вспомогательного процесса обезвоживания полезных ископаемых используется различные источники теплоты.

В статье представлены результаты исследований обезвоживания мелкодисперсной горной массы на вибрационном устройстве новой конструкции. Интенсификация процесса обезвоживания достигается за счет вертикального шнека конической формы и созданием виброкипящего слоя. Предварительные исследования показали эффективность использования транспортно-сушильного устройства, при этом удалось снизить влажность в готовом продукте с 15% до 5%.

По результатам экспериментов установлено, что при работе транспортно-сушильного устройства толщина слоя уменьшается от загрузки к выгрузке в 3 раза, при этом путь движения материала по рабочей поверхности увеличивается в 2,5 раза, диапазон частот вибровозбуждения от 1000-1200 об/мин, амплитуда колебаний составляет 4-5 мм и температура подаваемого воздуха 50-80 °С. Таким образом, предложенное обезвоживающее устройство может быть использовано в горной промышленности, так как способно выполнять помимо транспортировки еще и обезвоживание влажного материала с достаточной эффективностью.

Ключевые слова: *вибрация, транспортирование, обезвоживание, виброкипящий слой.*



Введение: Критическая потребность в энергетических ресурсах и экологическая обстановка в Украине нуждается в эффективных действиях, направленных на поднятие топливно-энергетического баланса страны, и, естественно, решение проблем, связанных с окружающей средой.

Уголь является одним из самых востребованных полезных ископаемых и важнейшим источником тепловой энергии во многих отраслях промышленности. В Украине уголь применяется как энергоноситель на теплоэлектростанциях и, на протяжении многих лет используется в металлургической и коксохимической промышленности.

Известно, что в процессе добычи и переработки угля образуется большое количество мелких частиц крупностью $1,0 \pm 0,05$ мм. Для обогащения углей класса $1,0 \pm 0,05$ мм используется флотация, которая на сегодняшний день является практически единственным процессом обогащения шлама на углеобогатительных фабриках. Решение задачи увеличения объемов обогащения угля, расширения производства угольного концентрата для коксования и энергетики и повышения его качества неразрывно связано с повышением эффективности флотации.

Вместе с тем, из-за не эффективности традиционной пенной флотации угольные частицы попадают в камерный продукт и уносятся с ним в илонакопители и отстойники. Зольность данного продукта колеблется в пределах 55 – 65 %. Это приводит к тому, что в илонакопителях теряются тысячи тонн горючей массы, которая может быть использована. Кроме того, илонакопители занимают значительные площади территории Украины (около 1.5 млн. м²), дренаж через дно отстойника ведет к загрязнению водоносных слоев, с поверхности отстойника происходит испарение в атмосферу. Все это приводит к ухудшению экологической обстановки в промышленных регионах страны и свидетельствует о необходимости увеличения селективности и эффективности обогащения тонких классов углей [1].

Также, в процессе деятельности предприятий, сжигающих угли, образуется много золошлаковых отходов (ЗШО), которые представляют собой минеральное сырье сложного химического, минералогического и гранулометрического состава и могут использоваться как товарный продукт после соответствующей переработки с последующей утилизацией. К ЗШО относится также и мелкодисперсная их составляющая – зола уноса (ЗУ) дымов после сгорания угля в котлах, частично улавливаемая фильтрами в вытяжных трубах после сгорания угля.

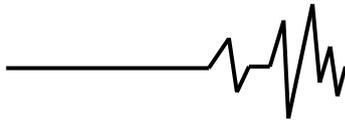
На данный момент существующие золоотвалы полностью перегружены и в них накопились миллионы тонн золы, поэтому возникает необходимость в дополнительных площадях под золоотвалы. Разработка золоотвалов и прекращение наращивания их площадей за счет переработки свежей золы без ее складирования, являются чрезвычайно важными, поскольку в настоящее время на твердом топливе (в виде угля различных марок) работает большое число ТЭС [2].

Золошлаковые отходы следует отнести к техногенному минеральному сырью, которое в отличие от природного со временем накапливается и не истощается. Это повышает перспективность их изучения, а также их переработка. Комплексная переработка золошлаковых отходов путем извлечения ценных компонентов (железо, уголь и силикат) позволит освободить занимаемые отвалами площади, понизить негативное воздействие на экологию и окружающую среду.

Предварительные исследования золы методами химического анализа и магнитной сепарации показали в ее составе содержание несгоревшего углерода в отдельных классах крупности (недожиг) до 30 % и магнитовосприимчивого железа до 20 % (в сростках) [3]. Это указывает на целесообразность ее комплексной переработки с целью извлечения углерода, железа и силикатной части с дальнейшей утилизацией этих продуктов.

Важной составляющей комплексной переработки является магнитная сепарация и тонкое грохочение. Для этого необходимо произвести обезвоживание золы в перспективном диапазоне крупностей $1,0 \pm 0,05$ мм. Это обусловлено, прежде всего, наличием в этих классах большое количество не сгоревшего угля и частиц железа. Традиционными способами такое сырье обезвоживается только до 18-22% [4].

При переработке полезных ископаемых чаще всего используются мокрые процессы. Вследствие этого продукты обогатительных фабрик имеют высокую влажность, которую необходимо снижать по требованиям последующей технологии переработки. Мокрых процессы обогащения применяются для переработки железной руды, базальтов и туфов Волыни, отходов угольной промышленности, при переработки отвалов и многое другое. Поэтому полученные концентраты подвергаются обезвоживанию [5, 6]. В отдельных случаях проводят обезвоживание отходов обогатительных фабрик в основном с целью выделения из них воды для оборотного водоснабжения либо для сухого складирования отходов. При обезвоживании удаляется обычно свободная влага, а при термической сушке возможно удаление всей влаги.



Цель работы: Поиск технических решений по повышению эффективности процесса обезвоживания, создание и исследование нового вибрационного устройства для снижения затрат на обезвоживание мелкодисперсной горной массы.

Основные исследования были направлены на разработку новой конструкции сушилки непрерывного действия с виброкипящим

слоем. Применение вертикального транспортно-сушильного устройства конусного типа является целесообразным, так как в нем соединены процессы сушки и транспортирования [7].

В Институте геотехнической механики было разработано транспортно-сушильное устройство конусного типа [8], конструктивная схема которого представлена на рис. 1.

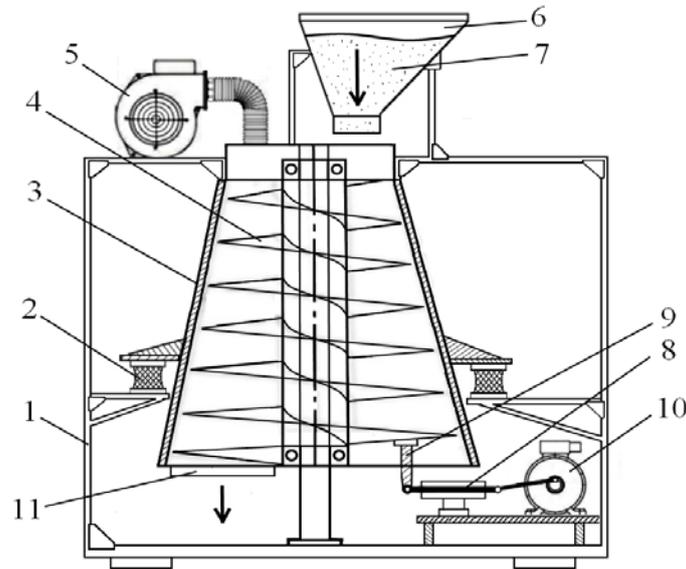


Рис. 1. - Транспортно-сушильное устройство конусного типа

1 – металлическая рама устройства; 2 – резиновые амортизаторы; 3 – корпус обезвоживающего устройства; 4 – конический шнек; 5 – воздушный насос; 6 – загрузочный бункер; 7 – влажный материал; 8 – кривошипно-шатунный механизм; 9 – кронштейн; 10 – двигатель; 11 – разгрузочное отверстие.

Результаты исследований: Транспортно-сушильное устройство конусного типа имеет жесткую металлическую раму 1 и установленный на резиновых амортизаторах 2 корпус сушильного устройства 3, в котором размещен конусный шнек 4. Сверху расположен воздушный нагнетатель 5 и загрузочный бункер 6, в который постоянно подается влажный сыпучий материал 7. Вибрационное колебание создается с помощью кривошипно-шатунного механизма 8, который закреплен к кронштейну конусного шнека 9; кривошипно-шатунный механизм приводится в действие с помощью электродвигателя 10; сухой материал разгружается через отверстие 11.

Отличительной чертой обезвоживающего устройства является использование шнека конической формы и кривошипно-шатунного механизма. Благодаря использованию конической формы в 2,5 раза увеличивается путь движения материала по рабочему органу устройства, при этом слой материала уменьшается в 3 раза, что приводит к улучшению процесса обезвоживания.

Использование кривошипно-шатунного механизма обеспечивает непрерывное движение виброкипящего слоя по плоскости конического шнека с минимальной нагрузкой на привод и потреблением электроэнергии.

В качестве примера проведены экспериментальные исследования на базальтах, туфе и угле. В результате было установлено, что при вибрационном воздействии образовывался виброкипящий слой и толщина слоя материала уменьшается от загрузки к выгрузке в 3 раза. При таком состоянии слоя происходит перемешивание частиц, увеличивается пористость слоя и продуваемость нагретым воздухом, что способствует процессу обезвоживания.

Результаты экспериментальных исследований работы транспортно-сушильного устройства конусного типа представлены на рис. 2 в виде зависимости изменения влажности W , % от температуры воздуха, подаваемого в устройство.

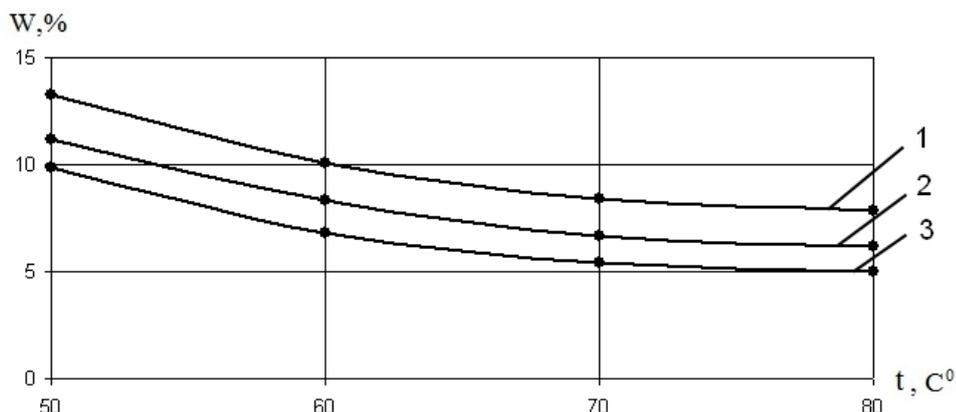
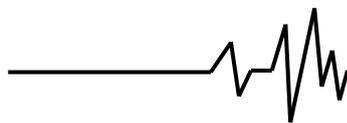


Рис. 2 – Зависимость изменения влажности от температуры подаваемого воздуха

W – влажность, %; t – температура воздуха, град. 1 – базальт; 2 – туф; 3 – уголь

На рис. 3 представлены результаты обезвоживания материала с изменением частоты вращения вала вибровозбудителя.

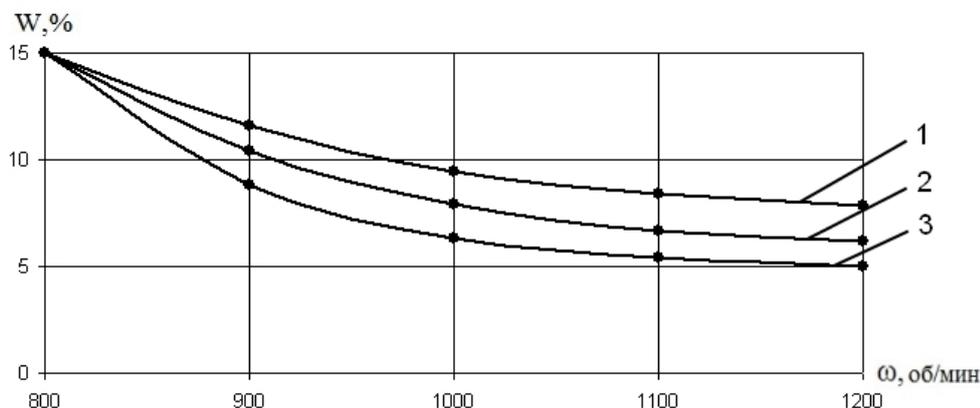


Рис. 3. – Зависимость изменения влажности от частоты вращения вала вибровозбудителя

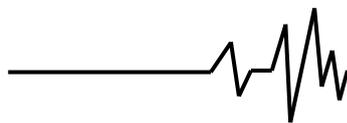
W – влажность, %; ω – частота вращения вала вибровозбудителя, об/мин. 1 – базальт; 2 – туф; 3 – уголь

Предварительные исследования показали эффективность использования транспортно-сушильного устройства, при этом удалось снизить влажность в готовом продукте с 15% до 5%.

Выводы. Установлено, что при работе транспортно-сушильного устройства толщина слоя уменьшается от загрузки к выгрузке в 3 раза, при этом путь движения материала по рабочей поверхности увеличивается в 2,5 раза, диапазон частот вибровозбуждения от 1000-1200 об/мин, амплитуда колебаний составляет 4-5 мм и температура подаваемого воздуха 50-80 °C. Таким образом, предложенное обезвоживающее устройство может быть использовано в горной промышленности, так как способно выполнять помимо транспортировки еще и обезвоживание влажного материала. Суммарное энергопотребление данного вибрационного устройства новой конструкции зависит от его производительности, но оно на порядок ниже существующих методов.

Список использованных источников

1. Золотко А.А. Ресурсы вторичного топлива в отходах обогащения и возможности его извлечения // Уголь Украины. – 1996. – № 12. – С. 36-39.
2. Надутый, В.П. Переработка золы уноса теплоэлектростанций / В.П. Надутый, А.И. Шевченко, И.П. Хмеленко // Геотехнічна механіка : Міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 68. – С. 99-104.
3. Надутый, В.П. Метод оценки качества шламов из илонакопителей / Геотехнічна механіка : Міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 61. – С. 284-292.
4. Надутый В.П. Тонкое вибрационное грохочение при переработке угольных шламов / Надутый В.П., Нагорский А.Ф., Шевченко А.И. // Геотехническая механика: Сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. – 2005. – Вып. 58. – С. 185-190.



5. Радушкевич В.Л. Интенсификация фильтрационного обезвоживания угольных флотошламов с помощью электроосмоса / В.Л. Радушкевич, Г.Ю. Гольберг // Вестник ИОТТ. – Люберцы, 1994. – Вып. 2. – С. 70-76.

6. Надутый В.П. Результаты комплексного обезвоживания горной массы на вибрационном устройстве / В.П. Надутый, В.В. Сухарев, С.В. Костыря // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, 2014. – Вип. 1(73). – С. 88-93.

7. Потураев В.Н., Франчук В.П., Червоненко А.Г. Вибрационные транспортирующие машины. М., «Машиностроение», 1964.

8. Транспортно-сушильный пристрій конусного типу / В.П. Надутый, В.В. Сухарев, С.В. Костыря; заявник і патентовласник ІПТМ НАН України. – u 2020 04587; МПК (2020.01) F26B 11/00; заявл. 20.07.2020.

Список источников в транслитерации

1. Zolotko A.A. (1996). "Secondary fuel resources in enrichment wastes and the possibility of its recovery", *Coal of Ukraine*, Vol. 12, pp. 36-39.

2. Naduty V.P., Shevchenko A.I., Hmelenko I.P. (2007), "Processing of fly ash from thermal power plants", *Geotechnical Mechanics*, Vol. 68, pp. 99-104.

3. Naduty V.P. (2006) "Method for assessing the quality of sludge from sludge ponds", *Geotechnical Mechanics*, Vol. 61, pp. 284-292/

4. Naduty V.P., Nagorsky A.F., Shevchenko A.I. (2005) "Small dispersed vibrating screening for coal slurry processing" *Geotechnical Mechanics*, Vol. 58, pp.185-190.

5. Radushkevich V.L. (1994) "Intensification of filtration dewatering of coal sludge using electroosmosis", *Vestnik IOIT*, Lubertci, Vol.2, pp. 70-76

6. Naduty V.P., Suharev V.V., Kostyrya S.V., (2014), "Results of complex dewatering of rock mass on a vibrating device", *Vibration in technology and technology*, Vinnitsa, Vol. 1(73), pp.88-93.

7. Potyraev V.N., Franchuk V.P., Chervonenko A.G. (1964) "Vibrating conveying machines" *Mechanical engineering*.

8. Naduty, V.P., Sukharev, V.V., Kostyrya, S.V., M.S. Poljakov Institute of Geotechnical Mechanics under NAS of Ukraine (2014), "Cone-type transport and dryer device," *State Register of Patents of Ukraine*, Kiev, u 2020 04587.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗНЕВОДНЕННЯ ДРІБНОДИСПЕРСНОЇ ГІРСЬКОЇ МАСИ НА ВІБРАЦІЙНОМУ ПРИСТРОЇ НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Великі труднощі виникають при переробці вологого мінеральної сировини менше 1 мм, і цій

проблемі приділяється значна увага. Існує гостра необхідність зневоднення кінцевого продукту гірничого виробництва до мінімального процентного вмісту вологи. До такої сировини відноситься вугілля, яке в процесі видобутку і переробки утворює велику кількість дрібних частинок розміром $1,0 \div 0,05$ мм і при його збагаченні пінною флотоцією насичується вологою, що ускладнює подальше використання вугілля. Також, для переробки техногенних родовищ, що складаються з золошлакових відходів, їх необхідно зневоднювати для подальшої комплексної переробки, що полягає у використанні магнітної сепарації і тонкого грохочення.

Апарати механічного зневоднення не завжди забезпечують необхідний відсоток вологості для подальшої технології переробки. Механічними способами вилучається тільки вільна і слабо зв'язана волога, а порова і капілярна волога не видаляється. Тому в якості допоміжного процесу зневоднення корисних копалин використовується різні джерела теплоти.

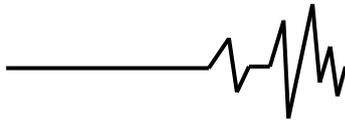
У статті представлені результати досліджень зневоднення дрібнодисперсного гірської маси на вібраційному пристрої нової конструкції. Інтенсифікація процесу зневоднення досягається за рахунок вертикального шнека конічної форми зі створенням віброкиплячого шару. Попередні дослідження показали ефективність використання транспортно-сушильного пристрою, при цьому вдалося знизити вологість в готовому продукті з 15% до 5%.

За результатами експериментів встановлено, що при роботі транспортно-сушильного пристрою товщина шару зменшується від завантаження до вивантаження в 3 рази, при цьому шлях руху матеріалу по робочій поверхні збільшується в 2,5 рази, діапазон частот віброзбудження від 1000-1200 об / хв, амплітуда коливань становить 4-5 мм і температура повітря, що подається 50-80 С°. Таким чином, запропонований зневодний пристрій може бути використаний в гірській промисловості, так як здатний виконувати крім транспортування ще і зневоднення вологого матеріалу з достатньою ефективністю.

Ключові слова: вібрація, транспортування, зневоднення, віброкиплячий шар.

RESULTS OF RESEARCHES OF DEHYDRATION OF SMALL DISPERSED ROCK MASS ON A VIBRATING DEVICE OF NEW DESIGN

Great difficulties arise when processing wet mineral raw materials less than 1 mm, and this problem is given large attention. There is an urgent need to dehydrate the final product of mining to a minimum percentage of moisture. Such raw material includes coal, which in the process of mining and



processing forms a large number of small particles with a size of $1.0 \div 0.05$ mm and, when enriched by froth flotation, is saturated with moisture, which complicates the subsequent use of coal. Also, for the processing of man-made deposits, consisting of ash and slag waste, they must be dewatered for subsequent complex processing, which consists in the use of magnetic separation and fine screening.

Mechanical dewatering devices do not always provide the final moisture content required by the market today. Only free and loosely bound moisture is extracted by mechanical methods, and pore and capillary moisture is not removed. Therefore, various sources of heat are used as an auxiliary process for the dehydration of minerals.

The article presents the results of studies of dehydration of finely dispersed rock mass on a vibration device of a new design. Intensification of the dewatering process is achieved due to the vertical

conical screw and the creation of a vibroboiling layer. Preliminary studies have shown the effectiveness of the use of a transport-drying device, while it was possible to reduce the humidity in the finished product from 15% to 5%.

According to the results of the experiments, it was found that during the operation of the transport-drying device, the layer thickness decreases from loading to unloading by 3 times, while the path of movement of the material along the working surface increases 2.5 times, the frequency range of vibration excitation from 1000-1200 rpm, the amplitude fluctuations are 4-5 mm and the temperature of the supplied air is 50-80 °C. Thus, the proposed dewatering device can be used in the mining industry, since, in addition to transportation, it is also capable of dewatering wet material with sufficient efficiency.

Key words: *vibration, transportation, dehydration, vibroboiling layer.*

Відомості про авторів

Надутьий Володимир Петрович доктор технічних наук, професор, завідувач відділу механіки машин і процесів переробки мінеральної сировини, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, (49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2а, nadutyvp@gmail.com)

Сухарев Віталій Віталійович кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу механіки машин і процесів переробки мінеральної сировини, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, (49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2а, agnivik@ukr.net)

Костиря Сергій Володимирович кандидат технічних наук; молодший науковий співробітник відділу механіки машин і процесів переробки мінеральної сировини, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2а, kostyrya81@gmail.com)

Надутьий Владимир Петрович - доктор технических наук, профессор, заведующий отделом механики машин и процессов переработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. М.С. Полякова Национальной академии наук Украины, (49005, г. Днепр, ул. Симферопольская, 2а, nadutyvp@gmail.com)

Сухарев Виталий Витальевич - кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела механики машин и процессов переработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. М.С. Полякова Национальной академии наук Украины, (49005, г. Днепр, ул. Симферопольская, 2а, agnivik@ukr.net)

Костыря Сергей Владимирович - кандидат технических наук; младший научный сотрудник отдела механики машин и процессов переработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. М.С. Полякова Национальной академии наук Украины (49005, г. Днепр, ул. Симферопольская, 2а, kostyrya81@gmail.com)

Naduty Vladimir Petrovich Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mechanics of Machines and Processes of Mineral Processing, Institute of Geotechnical Mechanics named M.S. Polyakov of the National Academy of Sciences of Ukraine (49005, Dnipro city, st. Simferopol, 2a, nadutyvp@gmail.com)

Sukharev Vitaliy Vitalievich Candidate of technical sciences, Senior Researcher, Department of Machine Mechanics and Mineral Processing, Institute of Geotechnical Mechanics named M.S. Polyakov of the National Academy of Sciences of Ukraine (49005, Dnipro city, st. Simferopol, 2a, agnivik@ukr.net)

Kostyrya Sergey Vladimirovich Candidate of technical sciences, Junior Researcher, Department of Machine Mechanics and Mineral Processing, Institute of Geotechnical Mechanics named M.S. Polyakov of the National Academy of Sciences of Ukraine (49005, Dnipro city, st. Simferopol, 2a, kostyrya81@gmail.com)