

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОТВАЛЬНЫХ ПОРОД

А. В. Бейдин<sup>1</sup>, В. А. Бабелло<sup>1</sup>, Е. Т. Воронов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Забайкальский государственный университет, Чита, Россия

**Аннотация:** Рассмотрен вопрос оценки механических свойств породных отвалов на основе сравнительного анализа имеющихся методов и технических средств. Вскрыты причины недостаточной технической надежности и эффективности эксплуатации отвальных сооружений и показана необходимость разрешения вопроса о максимальной приемной емкости отвала на основе современных подходов. Показаны недостатки методов оценки свойств смесей пород, из которых формируется отвал с течением времени в лабораторных условиях. Невозможность бокового расширения пород в процессе компрессионных испытаний приводит к искажению напряженно-деформированного состояния, существующего в реальном отвале. К основному недостатку стандартных срезных приборов отнесен малый размер рабочих камер, не позволяющий испытывать породы с крупными включениями. В результате сделан вывод о предпочтительном применении натуральных и стендовых испытаний отвальных пород. Дана оценка имеющихся технических средств для реализации упомянутых испытаний. На основе имеющихся сведений о появлении на рынке стабилметров с камерами большого размера даны рекомендации по использованию таких приборов при изучении механических свойств отвальных пород. Показано преимущество избирательного подхода при определении параметров механических свойств отвальных пород.

**Ключевые слова:** физико-механические свойства, породный отвал, лабораторные, натурные, стендовые испытания, напряженно-деформированное состояние.

**Для цитирования:** Бейдин А. В., Бабелло В. А., Воронов Е. Т. Методические особенности изучения механических свойств отвальных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 3-2. – С. 18–28. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_32\_0\_18.

### Specifics of the studies into mechanical properties of waste rocks

A. V. Beydin<sup>1</sup>, V. A. Babello<sup>1</sup>, E. T. Voronov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Transbaikal State University, Chita, Russia

**Abstract:** The evaluation of mechanical properties of waste rock dumps has been considered based on the comparative analysis of the available methods and equipment. The causes of insufficient operational reliability and efficiency of dump facilities are revealed, and the necessity of maximizing input capacity of dumps using the advanced techniques is shown. The downsides of lab-scale tests of rock refuse from waste dumps are demonstrated. The impossibility of lateral expansion of rocks under compression testing leads to distortion of

the stress–strain behavior of real-life spoil heaps. The main drawback of the standard shear test machines is the small size of the test cells, which disables testing of rocks with large inclusions. As a result, it is concluded on the preference of the full-scale and bench tests of mineral waste. The equipment available for such tests is discussed. Based on the knowledge on the large-diameter triaxial compression machines to become available on the market, the recommendations are given on application of such devices in for studies into mechanical properties of mineral waste.

**Key words:** physical and mechanical properties, rock spoil heaps, laboratory, field, bed tests, stress-strain state.

**For citation:** Beydin A. V., Babello V. A., Voronov E. T. Specifics of the studies into mechanical properties of waste rocks. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(3-2):18-28. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_32\_0\_18.

---

## Введение

При добыче полезных ископаемых открытым способом возникает вопрос о рациональном использовании земельных площадей, отводимых под породные отвалы. Актуальность этого вопроса связана с необходимостью сохранения земельных ресурсов и защитой экосистем. Недостаточная техническая надежность и эффективность эксплуатации таких сооружений могут вызвать крайне неблагоприятные технологические и экологические последствия.

Выемка больших объемов вскрышных пород приводит, как правило, к необходимости разрешения вопроса о приемной емкости отвала. Как следствие, возникает проблема минимизации транспортных затрат при перевозке вскрышных пород. Следует отметить, что определяющим фактором при расчетах оптимальной высоты отсыпки отвала является литологический состав пород, слагающих его толщу и их физико-механические свойства. В разное время проблемой изучения физико-механических свойств отвальных пород занимались многие ведущие ученые и научно-исследовательские институты, в том числе среди зарубежных исследователей отмечаются работы [1 – 4].

При геомеханическом обосновании параметров, обеспечивающих устойчивость отвалов, в большинстве случаев физико-механические характеристики пород определяются лабораторными испытаниями на смесях отвальных пород, которые подбираются по результатам инженерно-геологических изысканий на весь срок службы отвала. При этом состав таких смесей определяют по средней мощности вскрышных пород и различным вариантам сочетания литологических разностей. Недостатком такого подхода является отсутствие оценки реального литологического состава отвальных пород из разных забоев, его изменчивости во времени и, соответственно, степени трансформации параметров физико-механических свойств пород.

Предпринимаемые попытки управлять геомеханическими процессами при возведении и эксплуатации отвалов в ряде случаев оказывались не вполне удачными, главным образом, из-за того, что, во-первых, в расчетах не учитывалась трансформация параметров свойств пород на всех стадиях формирования отвалов, во-вторых, в результате несоответствия теоретических предположений, заложенных в геотехническую программу, условиям работы реального отвального сооружения. Таким

образом, можно сделать вывод о том, что основным условием при построении геомеханической модели массива отвальных пород является их лабораторно-стендово-натурные испытания и результаты геотехнических расчетов. Реализация такой модели прежде всего зависит от параметров свойств пород, которые должны не только соответствовать виду напряженного состояния массива, но и определяться с достаточной достоверностью [5]. Известно, что необоснованное применение в геомеханических расчетах и моделировании параметров прочности и деформируемости отвальных пород исключает возможность объективного анализа и прогноза геомеханических процессов в отвале. В итоге это приводит к возможности возникновения риска недопустимых деформаций и потере устойчивости отвала и его отдельных элементов [6, 7].

Таким образом, учитывая важность вопроса и ответственность при изучении и прогнозе изменения физико-механических свойств отвальных пород и массивов, первоочередной задачей является оценка различных методов определения механических характеристик отвальных пород. В связи с этим в работе рассмотрены и проанализированы известные методы и технические средства для их реализации, которые делятся на три группы:

- лабораторные испытания пород, отобранных из толщи отвального массива, проводимые на специальных срезных установках;

- натурные испытания пород, проводимые непосредственно на отвальных ярусах с использованием полевого оборудования;

- стендовые испытания отвальных пород, позволяющие моделировать поведение реального массива на специальных устройствах.

### **Лабораторные испытания пород**

Не останавливаясь на детальной оценке лабораторных методов, их достоинствах и недостатках, отметим основное требование, которому должна удовлетворять методика лабораторных испытаний. Это требование заключается в возможно более полном моделировании условий работы данной разновидности породы в массиве отвала и его основании [8]. В работе [9] показано, что «особенности подготовки образцов к испытаниям и самих испытаний должны отражать закономерности изменения сопротивления сдвигу пород в отвалах во времени». Согласно методическим указаниям [8] «испытания на уплотнение отвальных пород производят в приборах с большой площадью поперечного сечения (диаметром более 200 мм), при этом подготовка материала к испытаниям заключается в измельчении кусков породы до крупности  $1/10$  –  $1/20$  диаметра прибора». Аналогичное требование предъявляется к определению сопротивления сдвигу пород нарушенного сложения. Несмотря на приведенные выше требования к размерам приборов, следует отметить, что в большинстве случаев характерной особенностью отвальных пород является неоднородность их гранулометрического состава и наличия крупных включений, что затрудняет, а частично делает невозможным отбор представленных проб для определения механических характеристик пород [10]. Это касается прежде всего отбора проб в крупноразмерные компрессионные и срезные кольца, перенос и помещение их в приборы без нарушения особенностей сложения пород в отвале. Таким образом, исследование отвальных пород осложняется необходимостью использования крупногабаритных установок для соблюдения оптимальных соотношений между

размерами включений и приборов [11]. К существенным недостаткам компрессионного испытания отвальных пород следует отнести и невозможность бокового расширения пород в процессе опыта, что, в свою очередь, искажает напряженно-деформированное состояние пород в реальном отвале. К тому же отбор образцов отвальных пород с разных глубин, например в шурфах, сопровождается неизбежным изменением напряженного состояния пород и нарушением их структурных связей, а также изменением их плотности.

Не вдаваясь в подробный анализ недостатков испытаний пород в приборе одноплоскостного среза, которые широко известны, отметим лишь, на наш взгляд, наиболее важные. В работе [12] приведены сведения о том, что прочностные характеристики нескальных пород (в условиях Кулона-Мора или Мизеса-Шлейхера-Боткина) существенно зависят от уровня действующих напряжений и вида напряженного состояния среды (параметра Лодэ). Использование приборов одноплоскостного среза приводит к тому, что определение показателей прочности пород производится по осредненным нормальным и касательным напряжениям на площадке среза. Установлено, что распределение нормальных напряжений на площадке среза оказывается далеким от равномерного. Немаловажными факторами являются размер кольца стандартного прибора одноплоскостного среза и величина зазора между кольцами, что делает проблематичным испытание отвальных пород с крупными включениями. Известно, что напряженное состояние пород в отвальных массивах является сложным, оно вызвано воздействием внешних нагрузок и силами собственного веса. Поэтому как для теоретических, так и для решения практических

задач большое значение имеет воспроизведение в лабораторных условиях процесса трехосного сжатия породы. Для этой цели применяют приборы стабилометры, реализующие осесимметричное напряженное состояние и приборы трехосного сжатия с независимым регулированием величин главных напряжений. Не касаясь рассмотрения конструкций приборов и методик испытаний пород, отметим, что такие приборы помимо традиционных характеристик прочности и деформируемости позволяют определить значения коэффициента бокового давления, коэффициента Пуассона (коэффициент поперечной деформации) и угла дилатансии.

А. Ю. Мирный отмечает, что «угол дилатансии является важнейшим параметром для дисперсной отвальной среды, позволяющим учесть в геомеханических расчетах упрочнение и разупрочнение вследствие изменения объема при сдвиге. Эта характеристика входит в качестве исходного параметра во все модели для расчета конечных пластических деформаций при сдвиге. Особенно это важно при сложных траекториях нагружения. Следует отметить, что учет явления дилатансии при расчете отвалов позволяет полнее использовать несущую способность, что подтверждается примерами из области гидротехнического строительства» [13].

К главному недостатку серийных стабилометров следует отнести малый размер рабочей камеры прибора, что не позволяет испытывать отвальные породы с крупными включениями. Частично устранить указанный недостаток позволяет установка трехосного сжатия для испытания образцов диаметром 300 мм и высотой 600 мм, выпущенная в 2019 г. ООО «НПП «Геотек». В заключении краткого обзора лабора-

торных методов определения параметров механических свойств отвальных пород к их общему недостатку следует отнести невозможность испытания образцов больших размеров, которые отражают истинные свойства пород в неоднородном отвальном массиве.

### **Натурные испытания отвальных пород**

Натурные испытания проводятся непосредственно на формируемых ярусах отвала, что позволяет установить механические свойства сравнительно больших объемов пород в условиях естественного залегания. Сохранение естественного напряженного состояния массива отвальных пород, которое часто бывает неизвестно и не может быть воспроизведено при лабораторных испытаниях, обеспечивает качество и надежность информации о свойствах пород. К числу достоинств полевых испытаний прежде всего следует отнести возможность в натуральных условиях использовать образцы, размеры которых значительно превосходят размеры образцов, испытываемых в лабораторных условиях, что в свою очередь позволяет учитывать структурно-текстурные особенности пород и наличие крупных включений. Кроме того, важнейшей особенностью полевых испытаний также является возможность выполнения условий моделирования натуральных закономерностей сжимаемости и сдвиговых деформаций (соответствие физических свойств и напряженного состояния пород натурным условиям в изучаемых зонах). Таким образом, натурные методы определения механических свойств пород обладают существенным преимуществом по сравнению с лабораторными — возможностью учета множества факторов.

Интересно отметить особенности натурных испытаний прочности

и уплотненности пород в отвалах, проводимых ВНИМИ в 1980—1985 гг., когда «нарезка призм для натурных испытаний производилась как свежееотсыпанных отвалах, так и подрезанных отвалах, где уплотнение пород достигало максимума» [8]. Оценка уплотненности отвальных пород проводилась с помощью штампа, вдавливаемого в породу. К числу последних работ описывающих натурные способы изучения характеристик прочности горных пород в массиве и контактах разрывных нарушений следует отнести работу [14], где выполнены разработка и внедрение технологии и устройств для проведения сдвига породных призм. Сдвиг породной призмы осуществлялся с помощью 40-тонного домкрата, помещенного в специальный металлический кожух с электрической маслостанцией. Следует отметить и новое направление изучения механических свойств горных пород в месте их залегания. Сотрудниками Института горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН предложен способ оценки деформационных свойств горных пород по данным прессиометрических испытаний в интервале гидроразрыва скважин, обеспечивающих нахождение значений модуля Юнга и коэффициента Пуассона горных пород в месте залегания. Показано, что комплексирование прессиометрических испытаний и гидроразрыва расширяет возможности деформационных измерений и повышает эффективность определения напряженного состояния массива горных пород методом гидроразрыва [15].

К числу основных недостатков традиционных натурных методов определения параметров механических свойств отвальных пород следует отнести проблему анкеровки испытательных устройств в массиве для восприятия реактивной составляющей

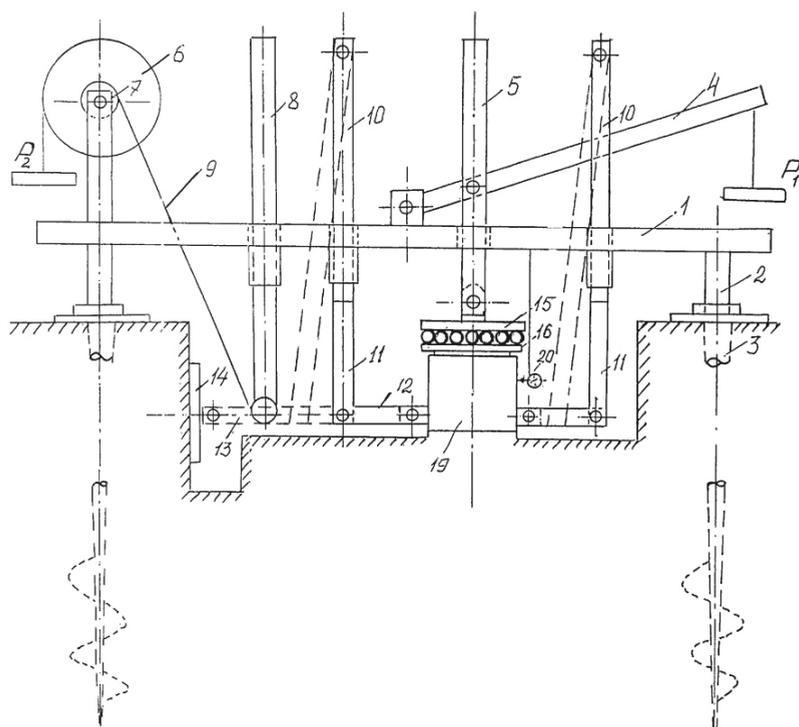


Рис. 1. Схема устройства для определения характеристик прочности и деформируемости пород в массиве (вариант № 1): 1 — рама; 2 — опора; 3 — анкерный стержень; 4 — грузовой рычаг для создания вертикальной сжимающей нагрузки; 5 — вертикальная тяга для передачи сжимающей нагрузки; 6, 7 — грузовые блоки для создания горизонтальной нагрузки; 8 — подвижная в вертикальном направлении стойка с роликом; 9 — трос; 10 — подвижные в вертикальном направлении стойки; 11 — вертикальные стойки шарнирного параллелограмма; 12 — горизонтальная тяга шарнирного параллелограмма; 13 — съемная горизонтальная тяга для создания горизонтальной сжимающей нагрузки; 14 — штамп; 15 — роликовая обойма; 16 — штамп для создания вертикального давления; 17 — целик породы; 18 — цилиндр; 19 — обойма; 20 — прибор для регистрации деформаций

Fig. 1. Scheme of the device for determining the characteristics of in-situ rocks' strength and deformability (option No 1): 1 — frame; 2 — support; 3 — anchor rod; 4 — load arm to create a vertical compressive load; 5 — vertical thrust for transferring the compressive load; 6, 7 — cargo blocks for creating a horizontal load; 8 — a stand with a roller movable in the vertical direction; 9 — cable; 10 — posts movable in the vertical direction; 11 — vertical posts of the articulated parallelogram; 12 — horizontal rod of the articulated parallelogram; 13 — removable horizontal rods to create a horizontal compressive load; 14 — stamp; 15 — roller clip; 16 — stamp for creating vertical pressure; 17 — rear sight of the breed; 18 — cylinder; 19 — clip; 20 — device for registering deformations

вертикального усиления гидродомкрата и их недостаточные функциональные возможности с точки зрения определения только характеристик прочности, либо деформируемости. Указанные недостатки были устранены в устройствах, разработанных Читинским

государственным техническим университетом [16, 17]. Схемы устройств приведены на рис. 1 и 2.

Опыты, проведенные авторами патентов на Уртуйском угольном разрезе, показали высокую эффективность рассматриваемых устройств. К числу

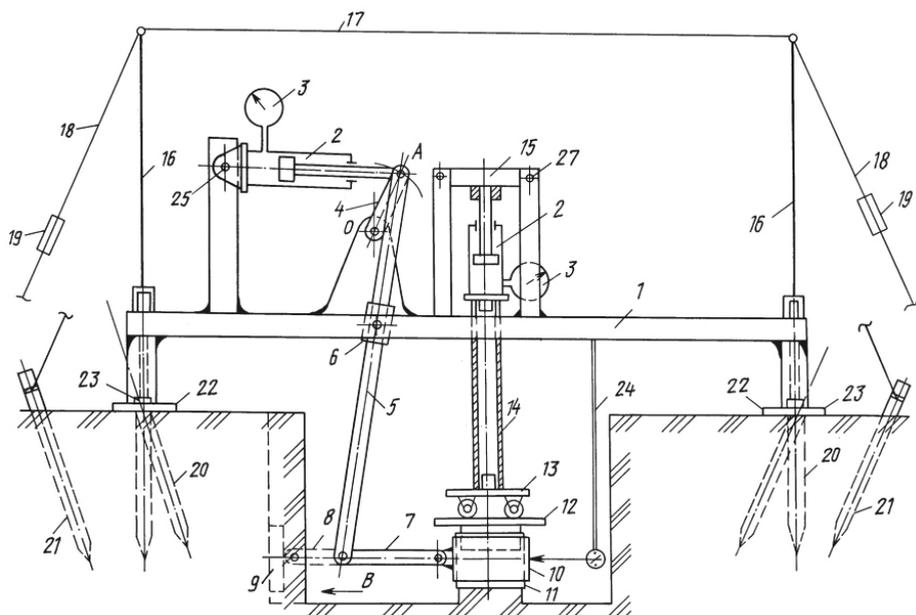


Рис. 2. Схема устройства для определения характеристик прочности и деформируемости пород в массиве (вариант № 2): 1 — рама; 2 — гидродомкраты; 3 — манометры; 4 — кривошип; 5 — кулиса; 6 — качающийся ползун; 7 — тяга; 8 — съемная тяга для создания горизонтальной сжимающей нагрузки; 9 — штамп; 10 — обойма; 11 — кольцо с породой; 12 — штамп для создания вертикального давления на целик породы; 13 — роликовая обойма; 14 — штанга для передачи вертикальной сжимающей нагрузки; 15 — съемная распорная балка; 16 — опорная мачта; 17 — стяжной трос; 18 — оттяжки, 19 — талрепы; 20 — анкерные костыли; 21 — стержневые якоря; 22 — опоры устройства; 23 — винтовой механизм опор; 24 — прибор для регистрации деформаций породы; 25 — шарнирное крепление пяты горизонтального гидродомкрата

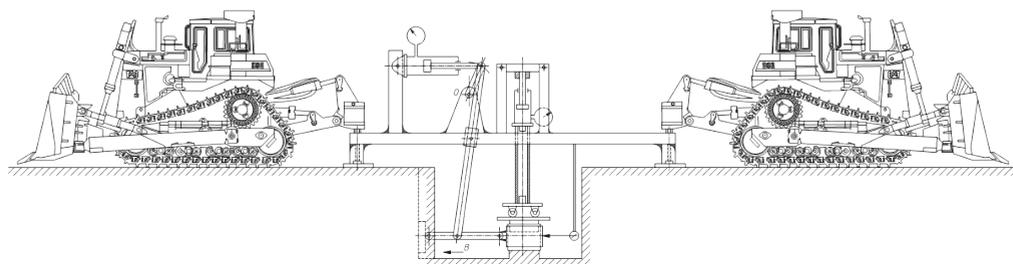
Fig. 2. Scheme of the device for determining the characteristics of in-situ rocks' strength and deformability (option No 2): 1 — frame; 2 — hydraulic jacks; 3 — manometers; 4 — crank; 5 — curtain; 6 — swinging slider; 7 — thrust; 8 — removable rod for creating a horizontal compressive load; 9 — stamp; 10 — clip; 11 — a ring with a rock; 12 — stamp for creating vertical pressure on the pillar of the rock; 13 — roller clip; 14 — a bar for transferring a vertical compressive load; 15 — removable spacer beam; 16 — support mast; 17 — tie rope; 18 — guys, 19 — turnbuckles; 20 — anchor crutches; 21 — rod anchors; 22 — device supports; 23 — screw mechanism of supports; 24 — device for registering rock deformations; 25 — hinge fastening of the horizontal hydraulic jack heel

недостатков следует отнести не вполне достаточную способность анкерных устройств воспринимать реактивную вертикальную составляющую нагрузки в рыхлых отвальных породах. Для устранения этого недостатка была предложена новая схема испытаний отвальных пород с использованием бульдозеров, работающих на отвале (рис. 3). В этом случае компенсация реактивной составляющей

осуществляется массой бульдозеров. К недостаткам натуральных методов следует отнести сложность, трудоемкость, значительные затраты времени и средств на проведение опытов.

### Стендовые испытания отвальных пород

Следующим подходом к исследованию характеристик механических



*Рис. 3. Схема исследования механических свойств отвальных пород с использованием бульдозеров*

*Fig. 3. Study scheme of mechanical properties of mineral waste by bulldozers*

свойств отвальных пород являются стендовые опыты, когда в емкости достаточно больших размеров загружаются породы с уплотнением или без него, в зависимости от задач испытаний. Основными конструктивными элементами таких емкостей являются устройства, позволяющие реализовать различные схемы испытаний пород на сдвиг, сжимаемость и определение коэффициентов бокового давления и Пуассона. Такой стенд был спроектирован и изготовлен в Забайкальском государственном университете. Конструктивное описание стенда приведено в работе [18]. С использованием данного стенда были выполнены хозяйственные работы с ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение имени Е. П. Славского» и ООО «Байкалруд» по определению параметров механических свойств ураносодержащих раздробленных скальных пород и пород, закладываемых в дамбу хвостохранилища. Результаты исследований опубликованы в работах [18, 19]. Ранее этот стенд был использован при изучении характеристик прочности и деформируемости вскрышных пород Уртуйского угольного разреза. Дальнейшим совершенствованием методики стендовых испытаний отвальных пород была разработана устройств для определения

коэффициентов Пуассона и бокового давления на уровне изобретения [20].

В заключении следует отметить разработанный в 2019 г. ООО «НПП «Геотек» стенд для модельных испытаний, который обеспечивает возможность моделировать поведение отвального массива в условиях плоских деформаций.

### **Выводы**

1. Повысить надежность прогнозирования проходимости тяжелого горнотранспортного оборудования можно и традиционными методами послойного суммирования деформаций при совместном использовании методов оценки деформационных характеристик пород в стабилометре и в условиях стенда. Это связано с известным фактором изменчивости деформационных характеристик отвальных пород от уровня и соотношения действующих в отвале напряжений. При формировании отвала и наличии горнотранспортного оборудования, т. е. при изменении нагрузки на отдельные его ярусы, значения модуля деформации должны следовать изменению напряженного состояния в различных точках отвала. Такую задачу можно решить с помощью стабилометров с достаточно большим размером рабочей камеры.

2. При изучении прочностных свойств пород отвалов предпочтение

может быть отдано стендовым испытаниям. Такой подход позволяет достаточно точно определить параметры прочности в достаточно широком диапазоне влажности и плотности сложения пород, что является немаловажным фактором в условиях проектирования и формирования реального отвала.

3. Наиболее полно и достоверно значения характеристик механических свойств отвальных пород могут быть определены в каждом конкретном случае при использовании избирательного подхода и разумного сочетания лабораторных, натуральных и стендовых испытаний с породами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gercek H. Poisson's ratio values for rocks // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2007. Vol. 44. No 1. Pp. 1–13. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2006.04.011.
2. Kayabasi A., Gokceoglu C., Ercanoglu M. Estimating the deformation modulus of rock masses: a comparative study // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2003. Vol. 40. No 1. Pp. 55–63. DOI: 10.1016/S1365–1609(02)00112–0.
3. Seif El Dine B., Dupla J. C., Frank R., Canou J., Kazan Y. Mechanical characterization of matrix coarse-grained soils with a large-sized triaxial device // Canadian Geotechnical Journal. 2010. Vol. 47. No 4. Pp. 425–438. DOI: 10.1139/T09–113.
4. Xu W. J., Wang S., Zhang H. Y., Zhang Z. L. Discrete element modelling of a soil-rock mixture used in an embankment dam // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2016. Vol. 86. Pp. 141–156. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2016.04.004.
5. Zou P., Zhao X., Meng Z., Li A., Liu Z., Hu W. Sample Rocks Tests and Slope Stability Analysis of a Mine Waste Dump // Advances in Civil Engineering. 2018. Article 6835709. DOI: 10.1155/2018/6835709.
6. Behera P. K., Sarkar K., Singh A. K., Verma A. K., Singh T. N. Dump slope stability analysis – A case study // Journal of the Geological Society of India. 2016. Vol. 88. No. 6. Pp. 725–735.
7. Amarsaikhan T., Shimada H., Wahyudi S., Sasaoka T., Hamanaka A. Optimization of Dump Bench Configuration to Improve Waste Dump Capacity of Narynsukhait Open Pit Coal Mine // International Journal of Geosciences. 2018. Vol. 9. Pp. 379–396. DOI: 10.4236/ijg.2018.96024.
8. Методические указания по расчету устойчивости и несущей способности отвалов. – Л.: ВНИМИ, 1987. – 126 с.
9. Крячко О. Ю. Управление отвалами открытых горных работ. – М.: Недра, 1980, 1980. – 255 с.
10. Paria C. J. B., Pereira E. L., Lima H. M. Evaluation of the effect of particle size in shear resistance study of an iron mine waste rock pile / Proceedings of the 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Seoul, 2017. Vol. 1. Pp. 407–410.
11. Зиангиров Р. С., Кальбергенов Р. Г. Оценка деформируемости крупнообломочных грунтов // Инженерная геология. – 1987. – № 3. – С. 107–117.
12. Криворотов А. П. Условия разрушения образца грунта в приборе одноплоскостного среза // Известия вузов. Строительство. – 2000. – № 1. – С. 133–136.
13. Мирный А. Ю. Исследования дилатансии в дисперсных грунтах и методы ее количественной оценки // Инженерная геология. – 2019. – № 2 – С. 34–41. DOI: 10.25296/1993-5056-2019-14-2-34-43.
14. Низаметдинов Ф. К., Нагибин А. А., Левашов В. В., Низаметдинов Р. Ф., Низаметдинов Н. Ф., Касымжанова А. Е. Натурные методы исследования прочностных свойств горных пород и породных контактов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2016. – № 2. – С. 26–33.

15. Курленя М. В., Сердюков С. В., Патутин А. В. Определение деформационных свойств горных пород по данным прессиометрических испытаний в интервале гидро-разрыва скважины // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2015. — № 4. — С. 96–102.

16. Бабелло В. А., Овешников Ю. М. Патент РФ № 2199104. Устройство для определения механических характеристик горных пород. Заявл. 24.01.2001. Оpubл. 20.02.2003. Бюл. № 5.

17. Бабелло В. А., Овешников Ю. М., Авдеев П. Б., Галинов В. Ю., Миронов П. Б. Патент РФ № 2199105. Устройство для определения механических характеристик горных пород. Заявл. 15.06.2001. Оpubл. 20.02.2003. Бюл. № 5.

18. Лизункин В. М., Бабелло В. А., Лизункин М. В., Бейдин А. В. Оценка деформируемости раздробленных скальных пород Стрельцовского рудного поля // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2017. — № 2. — С. 84–92.

19. Лизункин В. М., Бабелло В. А., Лизункин М. В., Бейдин А. В. Оценка прочностных свойств ураносодержащих руд Стрельцовского рудного поля // Горный журнал. — 2018. — № 4. — С. 51–55. DOI: 10.17580/gzh.2018.04.09.

20. Бабелло В. А., Бейдин А. В., Лизункин В. М., Лизункин М. В. Патент РФ № 2634312. Устройство для определения коэффициентов Пуассона и поперечных деформаций фрагментов массива раздробленных скальных пород и оценки их сжимаемости в массиве. Заявл. 14.09.2016. Оpubл. 25.10.2017. Бюл. № 30. **ПАТ**

## REFERENCES

1. Gercek H. Poisson's ratio values for rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2007. Vol. 44. no. 1. Pp. 1–13. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2006.04.011

2. Kayabasi A., Gokceoglu C., Ercanoglu M. Estimating the deformation modulus of rock masses: a comparative study. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2003. Vol. 40. no. 1. Pp. 55–63. DOI: 10.1016/S1365–1609(02)00112-0.

3. Seif El Dine B., Dupla J. C., Frank R., Canou J., Kazan Y. Mechanical characterization of matrix coarse-grained soils with a large-sized triaxial device. *Canadian Geotechnical Journal*. 2010. Vol. 47. no. 4. Pp. 425–438. DOI: 10.1139/T09-113.

4. Xu W. J., Wang S., Zhang H. Y., Zhang Z. L. Discrete element modelling of a soil-rock mixture used in an embankment dam. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2016. Vol. 86. Pp. 141–156. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2016.04.004.

5. Zou P., Zhao X., Meng Z., Li A., Liu Z., Hu W. Sample Rocks Tests and Slope Stability Analysis of a Mine Waste Dump. *Advances in Civil Engineering*. 2018. Article 6835709. DOI: 10.1155/2018/6835709.

6. Behera P. K., Sarkar K., Singh A. K., Verma A. K., Singh T. N. Dump slope stability analysis – A case study. *Journal of the Geological Society of India*. 2016. Vol. 88. no. 6. Pp. 725–735.

7. Amarsaikhan T., Shimada H., Wahyudi S., Sasaoka T., Hamanaka A. Optimization of Dump Bench Configuration to Improve Waste Dump Capacity of Narynsukhait Open Pit Coal Mine. *International Journal of Geosciences*. 2018. Vol. 9. Pp. 379–396. DOI: 10.4236/ijg.2018.96024.

8. *Metodicheskie ukazaniya po raschetu ustoychivosti i nesushchey sposobnosti otvalov* [Guidelines for the calculation of the stability and load-bearing capacity-sti dumps], Leningrad, VNIMI, 1987, 126 p. [In Russ]

9. Kryachko O. Yu. *Upravlenie otvalami otkrytykh gornykh rabot* [Dumping management in open pit mining], Moscow, Nedra, 1989, 255 p. [In Russ]

10. Paria C. J. B., Pereira E. L., Lima H. M. Evaluation of the effect of particle size in shear resistance study of an iron mine waste rock pile. Proceedings of the 19th International

Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Seoul, 2017. Vol. 1. Pp. 407 – 410. [In Russ]

11. Ziangirov R. S., Kalbergenov R. G. Assessment of deformation properties of macrofragmental soils. *Inzhenernaya geologiya*. 1987, no. 3, pp. 107 – 118. [In Russ]

12. Krivorotov A. P. Conditions of destruction of ground sample in direct shear apparatus. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2000, no. 1, pp. 133 – 136. [In Russ]

13. Mirnyy A. Yu. Disperse soils dilatancy studies and the methods of its quantitative assessment. *Inzhenernaya geologiya*. 2019, no. 2, pp. 34 – 41. [In Russ]. DOI: 10.25296/1993-5056-2019-14-2-34-43. [In Russ]

14. Nizametdinov F. K., Nagibin A. A., Levashov V. V., Nizametdinov R. F., Nizametdinov N. F., Kasymzhanova A. E. Methods of in situ strength testing of rocks and joints. *Fiziko-tekhicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2016, no. 2, pp. 26 – 33. [In Russ]

15. Kurlenya M. V., Serdyukov S. V., Patutin A. V. Assessment of deformation properties of rocks by pressuremeter testing in hydrofractured interval. *Fiziko-tekhicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2015, no. 4, pp. 96 – 102. [In Russ]

16. Babello V. A., Oveshnikov Yu. M. *Patent RU 2199104*. 20.02.2003. [In Russ]

17. Babello V. A., Oveshnikov Yu. M., Avdeev P. B., Galinov V. Yu., Mironov P. B. *Patent RU 2199105*. 20.02.2003. [In Russ]

18. Lizunkin V. M., Babello V. A., Lizunkin M. V., Beydin A. V. The estimation of deformability of crushed hard rocks at Streltsovsky ore field. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyi zhurnal*. 2017, no. 2, pp. 84 – 92. [In Russ]. [In Russ]

19. Lizunkin V. M., Babello V. A., Lizunkin M. V., Beydin A. V. Estimation of strength properties of Streltsov field uranium ore. *Gornyi zhurnal*. 2018, no. 4, pp. 51 – 55. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2018.04.09. [In Russ]

20. Babello V. A., Beydin A. V., Lizunkin V. M., Lizunkin M. V. *Patent RU 2634312*, 25.10.2017. [In Russ]

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Бейдин Алексей Владимирович*<sup>1</sup> – канд. техн. наук, доцент, e-mail: beydin@mail.ru;

*Бабелло Виктор Анатольевич*<sup>1</sup> – д-р техн. наук, профессор;

*Воронов Евгений Тимофеевич*<sup>1</sup> – д-р техн. наук, профессор;

<sup>1</sup> Забайкальский государственный университет.

**Для контактов:** Бейдин А. В., e-mail: beydin@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Beydin A. V.*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: beydin@mail.ru;

*Babello V. A.*<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor;

*Voronov E. T.*<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor;

<sup>1</sup> Transbaikal State University, 672039, Chita, Russia.

**Corresponding author:** A. V. Beydin, e-mail: beydin@mail.ru.

Получена редакцией 20.11.2020; получена после рецензии 25.01.2021; принята к печати 10.02.2021.

Received by the editors 20.11.2020; received after the review 25.01.2021; accepted for printing 10.02.2021.

