ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(3-1):5-20
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.271.45 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-5-20

ОБОСНОВАНИЕ УСТОЙЧИВЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТВАЛОВ НА ОСНОВЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

А.А. Агафонов[1], Т.В. Поршнева[1]

[1] Инжиниринговая компания ООО «СГП-недра»

Аннотация: Увеличение в последнее время глубины разработки открытым способом практически всех видов полезных ископаемых влечет рост объемов вскрышных пород. Отсутствие площадей под размещение вынутых горных пород приводит к оптимизации технологических решений в части отвалообразования. Определение устойчивых параметров отвалов в конкретных горно-геологических условиях путем создания геомеханической модели проектируемых объектов отвалообразования позволит максимально решить данную проблему. Необходимо учитывать на стадии проектирования горных объектов все сложности и особенности разнообразия горно-геологических и горнотехнических условий размещения внешних отвалов, вовлекать в создание геомеханической блочной модели физико-механические характеристики вскрышных складируемых горных пород, грунтов основания, иметь в виду исследования при максимальной нагрузке, влажность составляющих всего отвального сооружения, мощность и угол наклона основания проектируемого объекта, климатические условия, интенсивность ведения отвальных работ, чтобы повысить надежность полученных геомеханических расчетов параметров устойчивости сложного инженерного сооружения. Система SURPAC позволяет отображать результаты расчетов и проектирования в наглядном виде в реальном трехмерном пространстве. На основе имеющихся многочисленных исходных данных разрабатывается набор карт поверхности по углу наклона основания отвала, по свойствам упругости, по мощности слабого слоя, по влажности с выделением зон наиболее и наименее благоприятных условий основания для отсыпаемого отвала, чтобы получить карту распределения коэффициента запаса устойчивости строящегося объекта.

Ключевые слова: устойчивость, геомеханика, модель, отвал, основание, запас устойчивости, Surpac, геология, изыскания.

Для цитирования: *Агафонов А.А., Поршнева Т.В.* Обоснование устойчивых параметров отвалов на основе геомеханической модели проектируемых объектов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 3-1. — С. 5–20. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-5-20.

Substantiation of stable parameters of dumps on the basis of a geomechanical model of designed objects

A.A. Agafonov[1], T.V. Porshneva[1]

[1] Engineering company LLC «SGP-Nedra», Russia

© А.А. Агафонов, Т.В. Поршнева. 2020.

Abstract: Recently, an increase in the depth of opencast mining of practically all types of minerals leads to an increase in overburden volumes. The lack of space for the placement of excavated rocks leads to the optimization of technological solutions regarding dumping. Determination of the stable parameters of the dumps in specific mining and geological conditions by creating a geomechanical model of the designed dumping sites will solve this problem as much as possible. Taking into account all the difficulties and peculiarities of the variety of mining-geological and mining-technical conditions for the placement of external dumps at the stage of designing mountain objects, involving in the creation of a geomechanical block model the physicomechanical characteristics of overburden stored rocks, base soils, taking into account studies at maximum load, the moisture content of the entire dump facilities, power and angle of inclination of the base of the designed facility, climatic conditions, the intensity of the dumping will give the ability to improve the reliability of the obtained geomechanical calculations of the stability parameters of a complex engineering structure. The SURPAC system allows you to display the results of calculations and design in a visual form in real three-dimensional space. Based on the many available initial data, a set of surface maps is developed for the angle of inclination of the blade base, for elasticity, for the thickness of the weak layer, for humidity, with the allocation of zones of the most and least favorable base conditions for the dump dump, and we obtain a map of the distribution of the safety factor of the building under construction.

Key words: stability, geomechanics, model, blade, foundation, margin of stability, Surpac, geology, surveys.

For citation: Agafonov A.A., Porshneva T.V. Substantiation of stable parameters of dumps on the basis of a geomechanical model of designed objects. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(3-1): 5-20. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-5-20.

Введение

В настоящее время в связи с увеличением объемов добычи, уменьшением площадей отвалообразования все большую актуальность приобретает проблема размещения и оптимизации параметров отвалов, от успешного решения которой зависит и рациональное использование окружающей среды, и технико-экономические показатели работы предприятия.

Несмотря на многочисленные достижения в этом направлении [1—8], управление устойчивостью откосов отвалов, исходя из сложности и разнообразности горно-геологических и горнотехнических условий размещения вскрышных пород, остается важнейшей задачей.

Актуальность проблемы управления устойчивостью отвалов

Особенность этой проблемы состоит в том, что все основные решения (по части размещения, выбора площадок, геометрических параметров отвальных сооружений) принимаются на стадии проектирования горных объектов. Именно в этот период проводятся все генеральные расчеты параметров устойчивости, которые будут являться основой при проектировании [9—16]. Достоверность исходных данных, точность выполненных расчетов повышает надежность полученных результатов.

В целях повышения безопасности ведения отвальных работ и уменьшения их площадей необходимо решать ряд задач по обеспечению устойчивости откосов отвалов. Несоответствие параметров отвалов (высота и угол откоса) и технологии ведения отвальных работ (интенсивность отсыпки, длина рабочего фронта) инженерно-геологическим условиям, обусловливающим прочность пород отвала и его

основания, приводит к нарушению устойчивости отвальных массивов.

Основные виды деформаций

Подавляющее большинство отвалов сегодня подвержено деформационным явлениям различного характера: от небольших трещин до крупномасштабных оползней.

По классификации профессора М. Е. Певзнера на устойчивость откосов отвалов оказывают влияние две основные группы факторов: природные и горнотехнические.

Классификация отвалов, разработанная академиком Н. В. Мельниковым, учитывает большинство факторов, влияющих на отвалообразование:

- местоположение относительно карьера;
- число рабочих ярусов;
- способ механизации;
- число обслуживаемых вскрышных участков;
- рельеф местности отвального поля.

Формирование внешних отвалов в Кузбассе происходит на территориях с различными инженерно-геологическими условиями. Менее благоприятными являются участки, сложенные обводненными песчано-глинистыми породами и обладающие низкой несущей способностью. Анализ фактического состояния устойчивости откосов внешних отвалов в Кузбассе за последние 20 лет показал, что 70 % возникающих деформаций происходит в отвалах, сформированных на слабом наклонном основании. При возникновении таких деформаций развиваются, как правило, подошвенные и подподошвенные оползни, к основным причинам которых можно отнести:

- отсутствие отвода воды;
- складирование в отвал переувлажненных пород;
- нерегулируемое складирование вскрышных пород;
- принимаемое в расчетах устойчивости тело отвала однородной средой, а по сути, складируемая отвальная масса имеет большой разброс значений параметров, так как формируется из разнообразных пород вскрыши с различными прочностными свойствами;
- несоответствие фактических параметров свойств пород в теле отвала и в его основании расчетным параметрам;
- отсутствие комплексной оценки устойчивости отвалов.

Современные тенденции управления устойчивостью отвалов

Устойчивые параметры отвалов в ряде случаев принимаются по аналогии без какого-либо геомеханического обоснования конкретных горно-геологических условий. Отвалы необходимо рассматривать как сложные инженерные сооружения в совокупности с основанием, на которое они отсыпаются [6—8].

Для решения проблем, возникающих при формировании отвалов, требуется комплексный системный подход. Прежде всего, необходимо разработать систему обеспечения устойчивости отвалов, включающую решение разнообразных инженерно–технических задач и исследований.

Процесс управления параметрами отвалов можно разделить на несколько этапов:

1) обязательное выполнение инженерно-геологических и гидрогеологических исследований с полным анализом полученных данных;

2) систематизация исходных данных;

3) обоснование оптимальных параметров отвалов;

4) разработка геомеханической модели;

5) оценка проектных решений (создание карты распределения коэффициента запаса устойчивости);

6) эффективность выбранного метода управления (геомеханический мониторинг).

Мы предлагаем для достижения поставленной цели выполнить районирование площадки основания под отвалы по различным показателям, в результате которого будут получены карты распределения всех возможных инженерно-геологических параметров основания отвалов. Физико-механические характеристики грунтов основания и отвальных пород, составляющих тело отвала, являются одним из решающих факторов, определяющим устойчивость отвального сооружения. Наибольшее влияние на устойчивость откосов отвалов оказывают следующие физико-механические характеристики пород: сцепление – С, кПа; угол внутреннего трения – ϕ, градус; плотность – γ, кг/м^3 и влажность – w, %. Вышеназванные свойства грунтов определяются по результатам лабораторных испытаний.

Создание блочной модели в системе Surpac, формирование карт поверхности по различным свойствам

В системе SURPAC (мощный трехмерный графический редактор, позволяющий в наглядном виде в реальном трехмерном пространстве отображать результаты расчетов и проектирования) разрабатывается трехмерная модель поверхности будущего размещения отвалов (рис. 1).

Создается блочная модель в системе Surpac, охватывающая интересующую зону размещения отвалов (рис. 2).

Формируется набор карт поверхности по углу наклона основания отвала, по свойствам упругости, по мощности слабого слоя, по влажности, с выделением зон наиболее и наименее благоприятных условий основания для отсыпаемого отвала. На основе имеющихся данных геологической разведки, инженерно-геологических изысканий заносятся данные о составе, мощности слабого слоя и угла наклона основания. В модели создается поле, в ячейки которого и будут записываться результаты лабораторных исследований для разработки карт районирования. На рис. 3—4 приведены полученные карты.

Путем многочисленных расчетов по схемам ВНИМИ нами выявлена зависимость устойчивых параметров откосов отсыпаемых пород от высоты отвального сооружения в условиях формирования отвала на грунтах с различной влажностью и мощностью. На рис. 5—7 представлена полученная зависимость в виде графиков.

Далее рассмотрим зависимость устойчивого угла отвала от его высоты на грунтах с различной мощностью пород основания и постоянной влажностью, отразим полученные результаты на графике (рис. 8)

Исходя из анализа зависимости устойчивого угла отвала от его высоты при различной влажности и мощности грунтов, можно сделать вывод, что влажность основания отвала оказывает большее влияние на устойчивые параметры, чем мощность слабых подстилающих грунтов.

Устойчивые параметры отвалов зависят от несущей способности оснований отвалов, а именно от прочностных характеристик грунтов. Далее рассмотрим влияние сцепления и угла внутреннего трения на коэффициент запаса устойчивости. При прочих равных характеристиках шаг изменения сцепления установим в размере 0,5; угла внутреннего трения – 1,0. На рис. 9—10 представлена полученная зависимость.

Анализируя полученные графики, можно сделать вывод, что коэффициент запаса устойчивости имеет прямолинейную зависимость от сцепления и угла внутреннего трения грунтов основания отвалов.

На рис. 11—12 приведены зависимости высоты отсыпаемого откоса от прочностных характеристик слабого слоя, угла наклона основания и мощности основания.

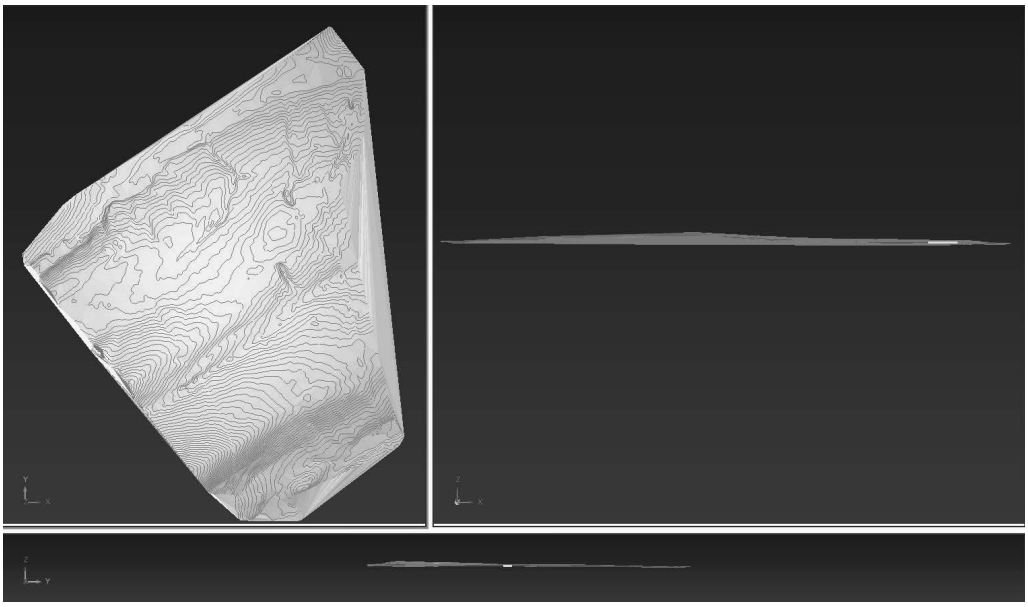

Рис. 1. Трехмерная модель поверхности будущего размещения отвалов
Fig. 1. Three-dimensional surface model of the future dumping

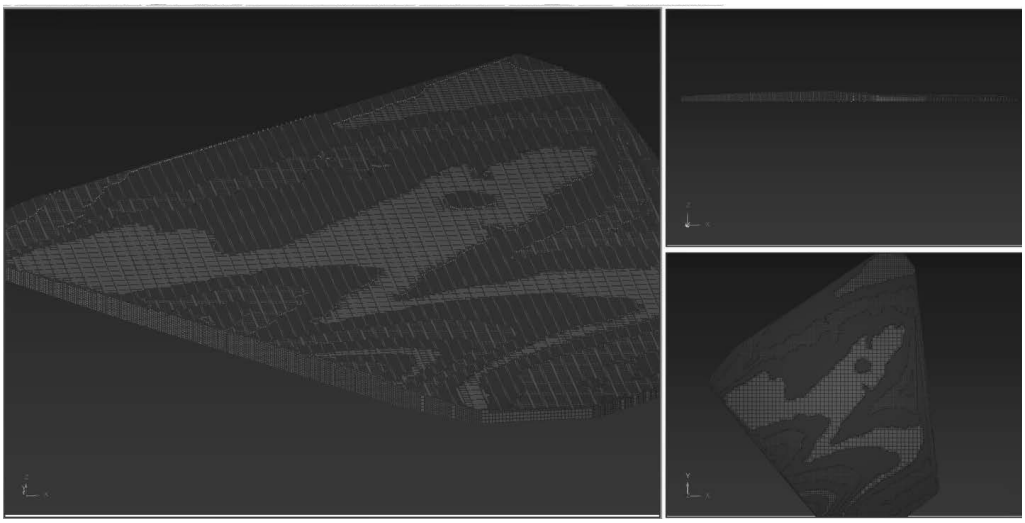

Рис. 2. Блочная модель поверхности будущего размещения отвалов
Fig. 2. Block model of the surface for the future disposal of dumps

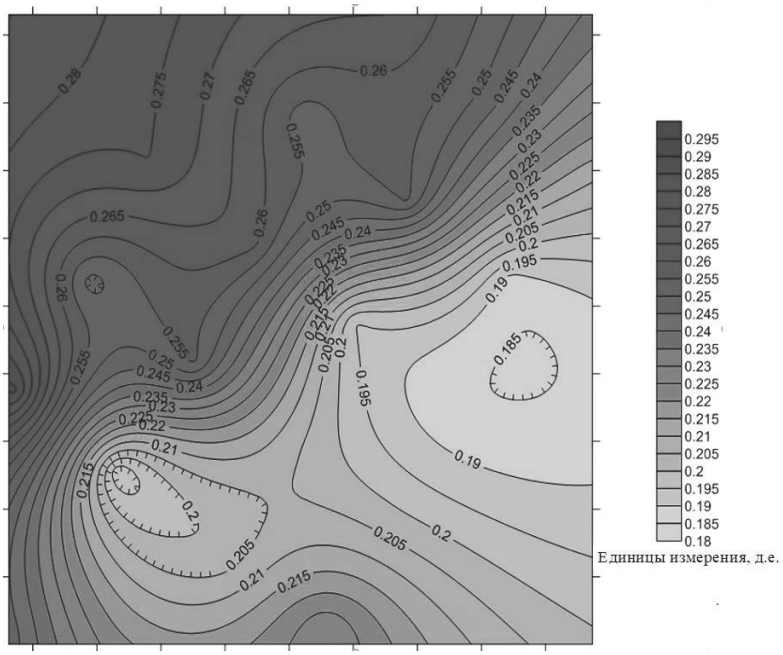

Рис. 3. Инженерно-геологическое районирование поверхности основания отвала по естественной влажности основания

Fig. 3. Engineering-geological zoning of the surface of the base of the dump according to the natural moisture content of the base

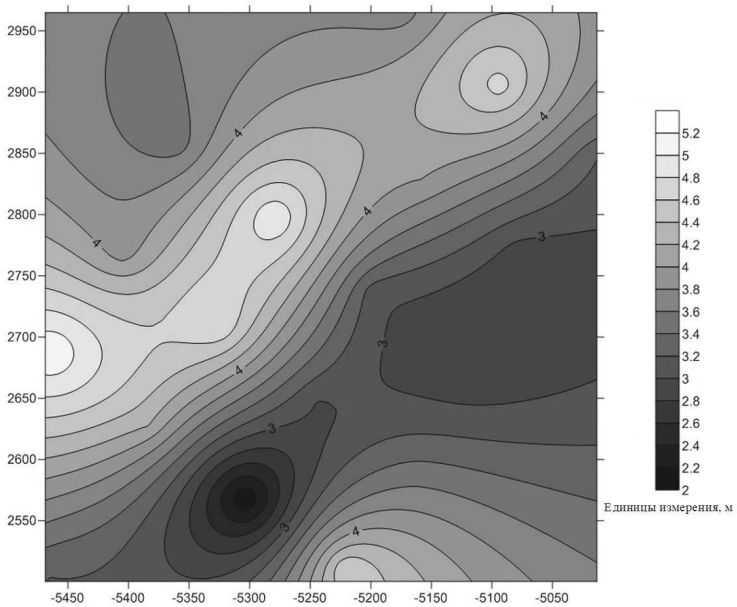

Рис. 4. Инженерно-геологическое районирование поверхности основания отвала по мощности слабого основания

Fig. 4. Engineering-geological zoning of the surface of the base of the dump according to the power of the weak base

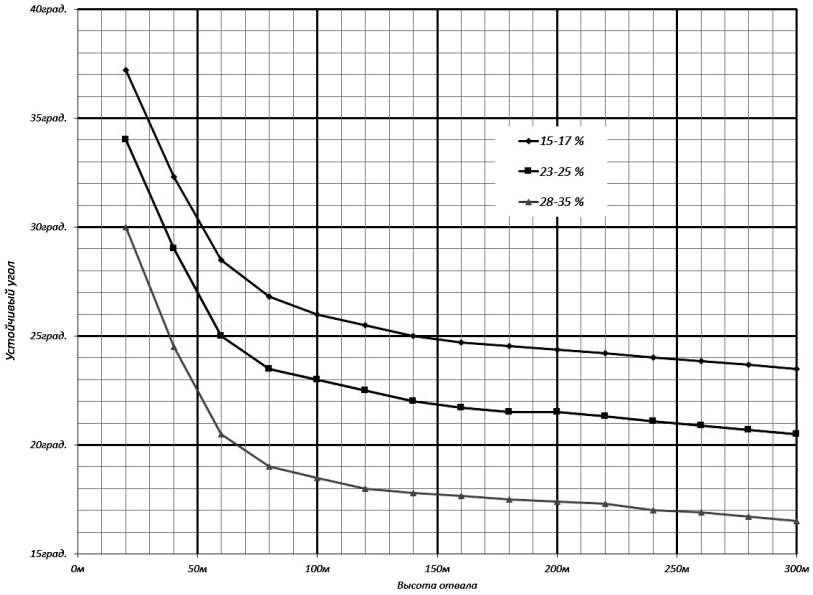

Рис. 5. Зависимость устойчивого угла отвала от высоты отвала для грунтов различной влажности и мощности пород основания отвала 10 м
Fig. 5. Dependence of the stable angle of the blade on the height of the blade for soils of different moisture and thickness of the rocks of the base of the blade 10 m

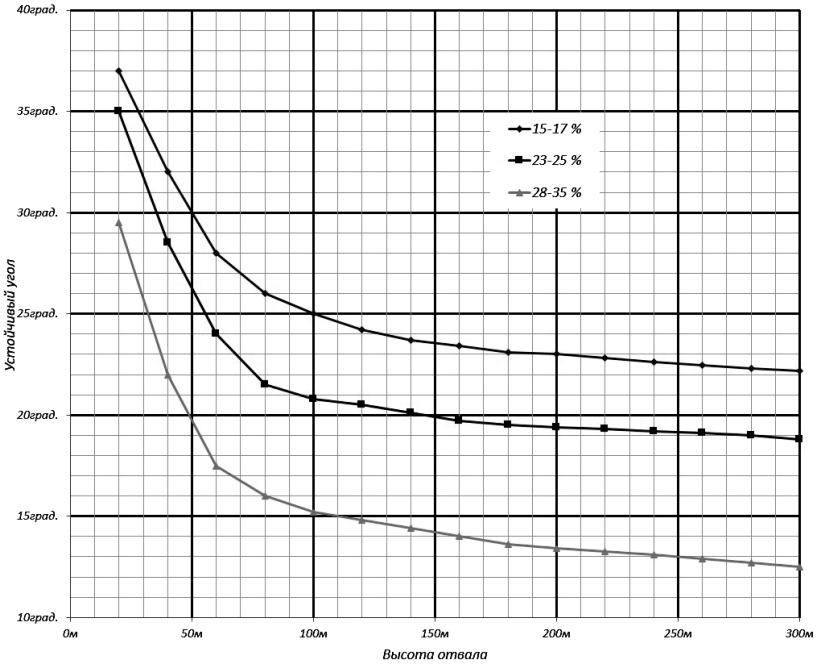

Рис. 6. Зависимость устойчивого угла отвала от высоты отвала для грунтов различной влажности и мощности пород основания отвала 20 м
Fig. 6. Dependence of the stable angle of the blade on the height of the blade for soils of different moisture and thickness of the rocks of the base of the blade 20 m

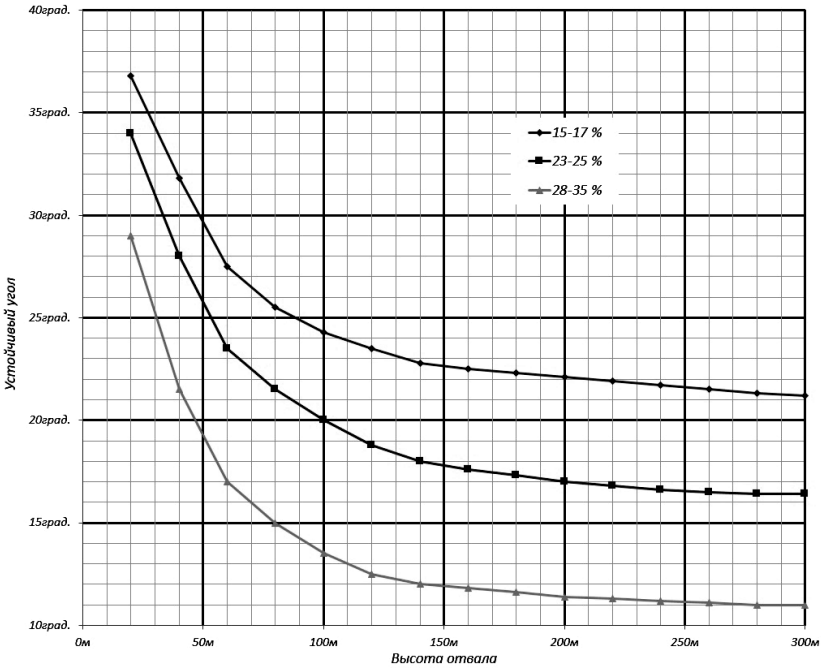

Рис. 7. Зависимость устойчивого угла отвала от высоты отвала для грунтов различной влажности и мощности пород основания отвала 30 м
Fig. 7. Dependence of the stable blade angle on the height of the blade for soils of different moisture and thickness of the rocks of the base of the dump 30 m

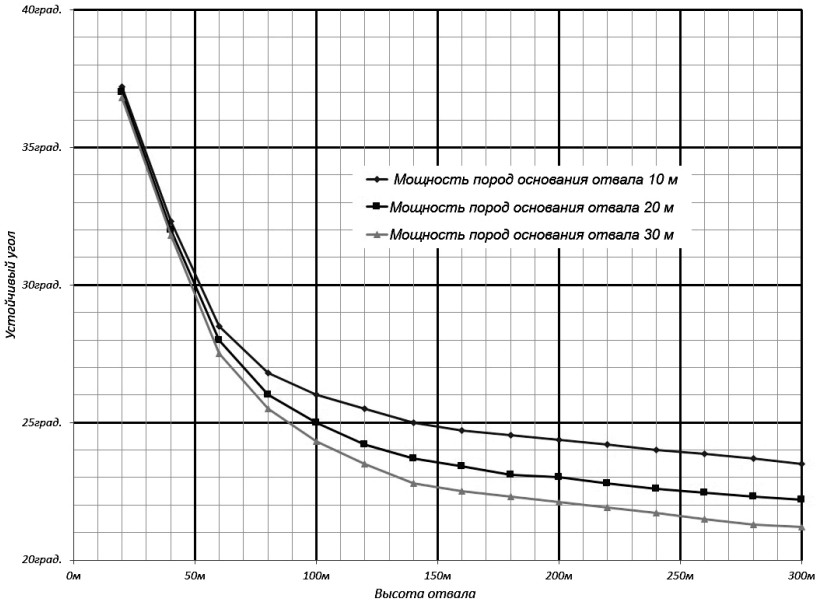

Рис. 8. Зависимость устойчивого угла отвала от высоты отвала для различной мощности грунтов в основании отвалов с влажностью 15—17 %
Fig. 8. Dependence of the stable angle of the blade on the height of the blade for various soil thicknesses at the base of dumps with a moisture content of 15—17%

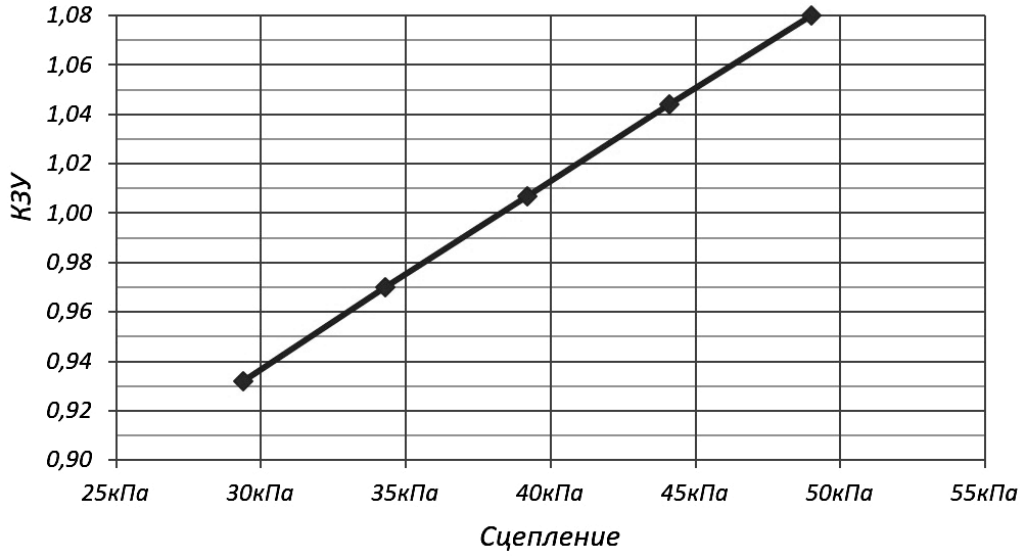

Рис. 9. Зависимость КЗУ от сцепления грунтов основания отвала
Fig. 9. Dependence of KSF on the adhesion of the soil base of the blade

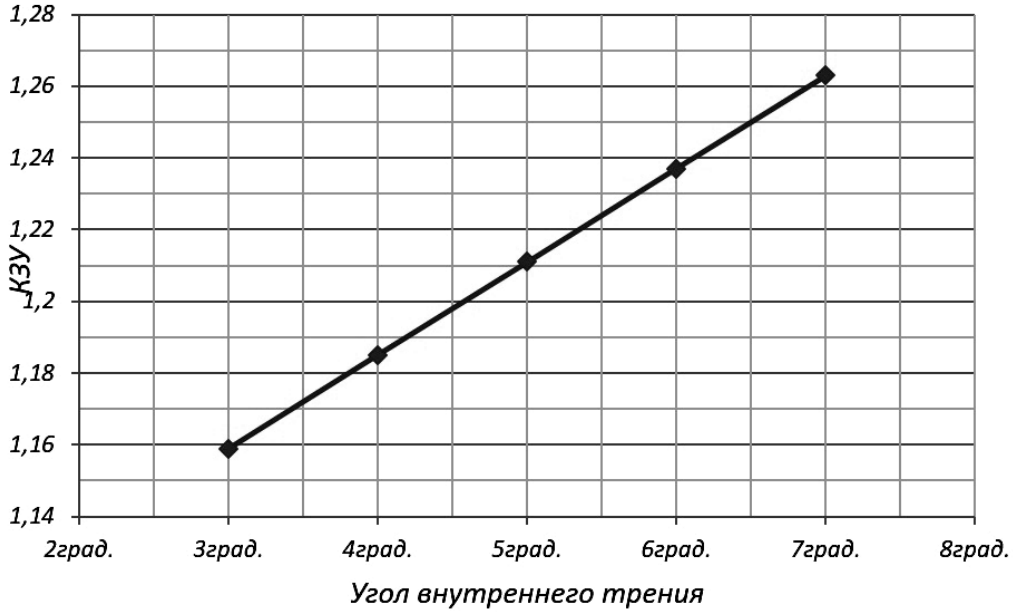

Рис. 10. Зависимость КЗУ от угла внутреннего трения грунтов основания отвала
Fig. 10. The dependence of KSF on the angle of internal friction of the soil base of the blade

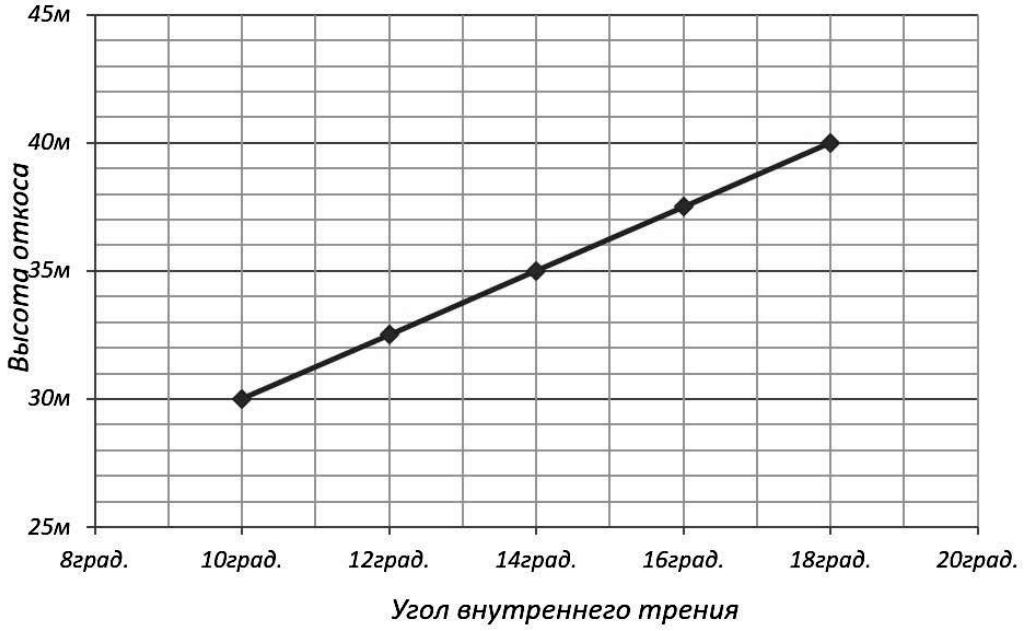

Рис. 11. Зависимость высоты отсыпаемого откоса от угла внутреннего трения грунтов основания отвала
Fig. 11. Dependence of the height of the slope to be sloped from the angle of internal friction of the soil of the base

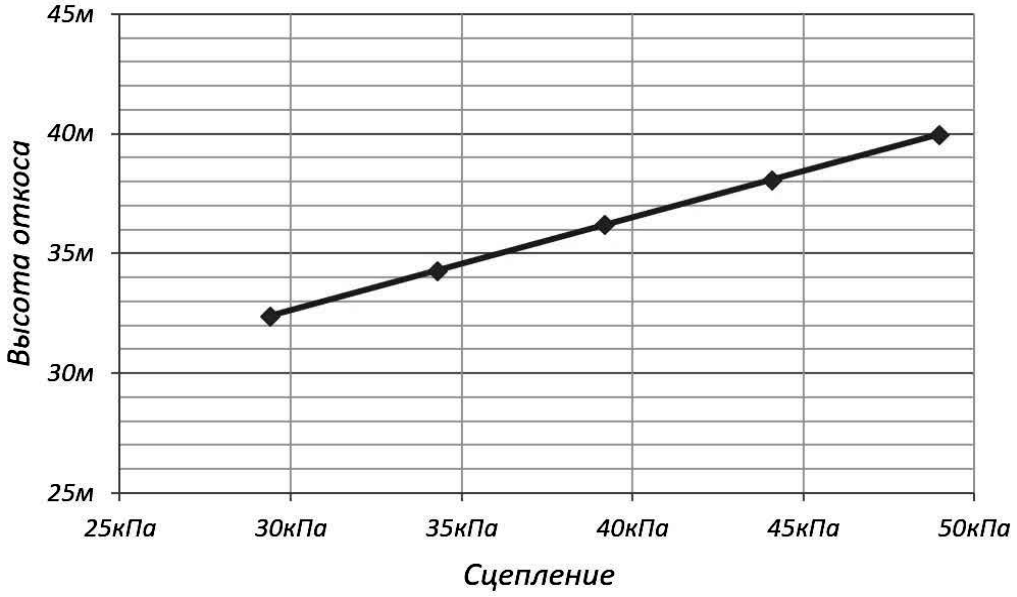

Рис. 12. Зависимость высоты отсыпаемого откоса от сцепления грунтов основания отвала
Fig. 12. Dependence of the height of the slope from the adhesion of the soil base of the blade

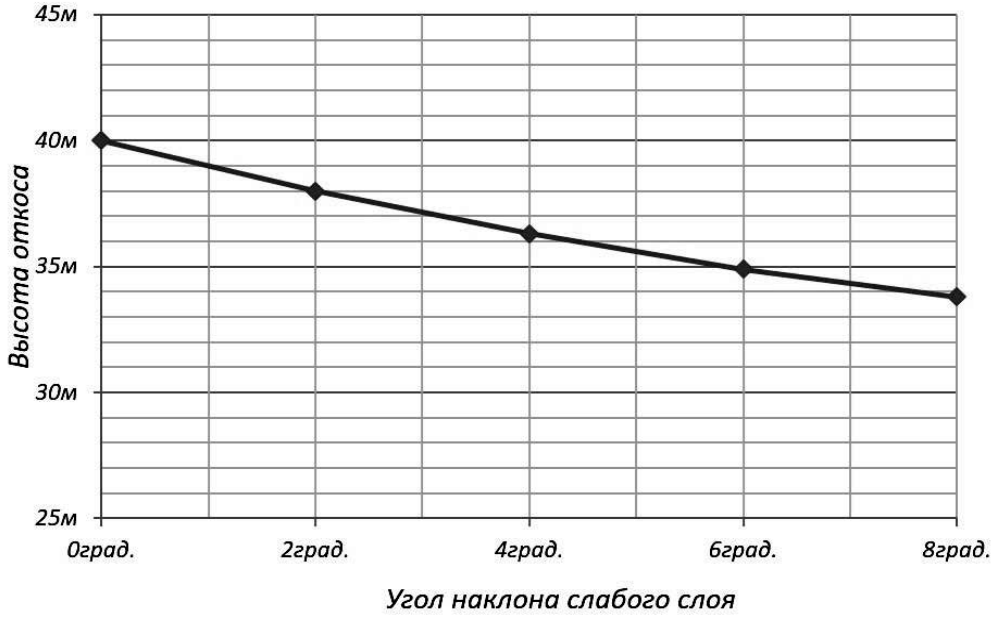

Рис. 13. Зависимость высоты отсыпаемого откоса от угла наклона слабого слоя
Fig. 13. Dependence of the height of the slope to slope on the angle of inclination of the weak layer

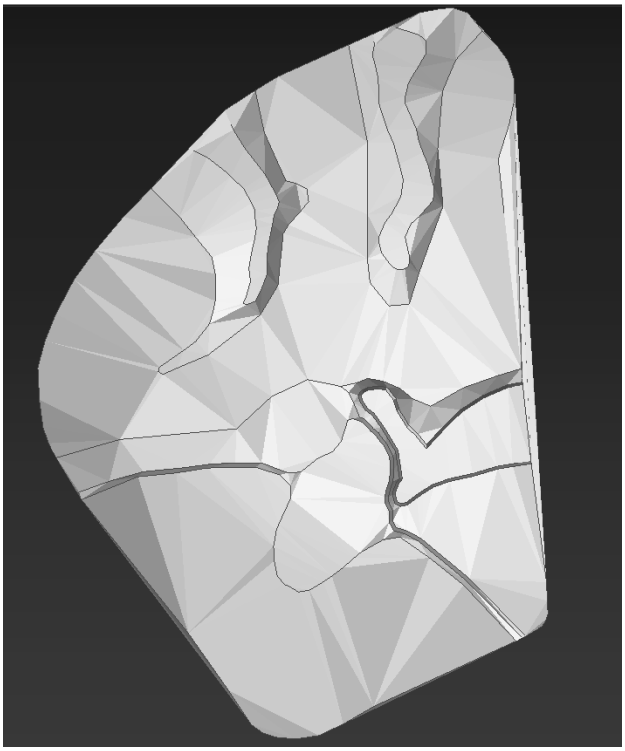

Рис. 14. Геомеханическая модель отвала
Fig. 14. Geomechanical model of the blade

Разработка геомеханической модели проектируемых отвалов, создание карты коэффициента запаса устойчивости

После построения графиков выполняем синхронизацию расчетных данных на основе полученных зависимостей высоты отсыпаемого откоса от инженерно-геологических элементов, в результате которой создается геомеханическая модель отвала (рис. 14).

Разработанная модель отвала учитывает совокупное воздействие всех рассмотренных выше факторов, оказывающих влияние на устойчивость отвалов, и является основой для проектирования отвальных сооружений. Следует помнить о том, что основной особенностью отвалообразования является то, что при увеличении высоты отвала происходит значительное изменение физико-механических свойств пород по высоте вследствие распределения отсыпаемых в отвал вскрышных пород по их гранулометрическому составу.

Следующий шаг – оценка проектных решений по вееру сечений по результирующему углу отвала и по элементам отвала. Разрабатывается трехмерная модель проектируемых отвалов (рис. 15).

В системе Surpac на разработанной трехмерной модели отвалов и прилегающей к нему дневной поверхности определяется ряд расчетных сечений. Расположение сечений выбирается таким образом, чтобы максимально учесть рельеф основания отвалов, мощность слабых слоев, угол наклона основания отвального сооружения (рис. 16). Полученные сечения сохраняются в файле формата Surpac. Далее в программном комплексе Slide (или Борт) с использованием функции «Импорт из Surpac» последовательно загружаются сечения карьера и выполняется их обработка. Проводятся многочисленные построения и расчеты поверхностей скольжения в откосе одного яруса отвала и результирующих углов для нескольких ярусов с поиском наименьшего коэффициента запаса устойчивости (рис. 17 — 18).

Результаты расчета могут быть использованы самым различным образом в системе Surpac. Непосредственно по результатам расчета без дополнительной их обработки с использованием стандартных возможностей системы Surpac могут быть построены карты распределения значений коэффициента запаса устойчивости по отвалу, позволяющие выявить опасные с точки зрения устойчивости зоны отвального сооружения. В системе Surpac разрабатывается блочная модель отвального сооружения. Полученные расчетные данные заносятся в ячейки блочной модели. В результате решения задачи, а именно объемного моделирования, получаем блочную модель, которая может быть использована для визуализации зон отвальных откосов с различной степенью устойчивости. Пример блочной модели после выполнения всех процедур объемного моделирования представлен ниже на рис. 19.

Выводы

Решение данной задачи:

- дает возможность в результате обработки значений физико-механических свойств пород основания отвала, мощности, влажности, угла наклона основания создать наиболее оптимальную, с точки зрения устойчивости, геомеханическую модель проектируемых отвалов в конкретных горно-геологических условиях, повышает надежность полученных расчетов устойчивости;
- получить карту распределения коэффициента запаса устойчивости строящегося объекта, визуализировать участки с пониженным коэффициентом запаса устойчивости, учитывать это при ведении отвальных работ.

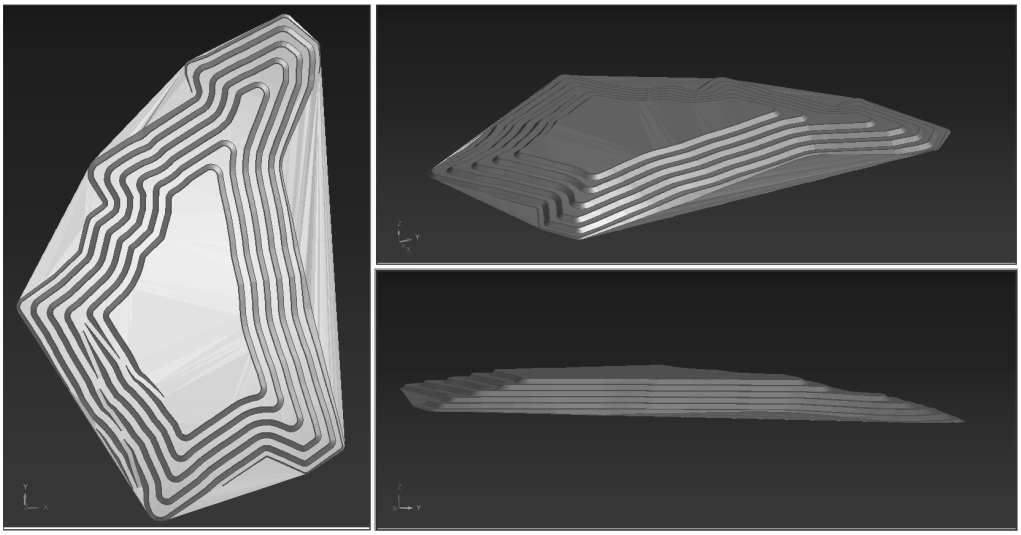

Рис. 15.Трехмерная модель проектируемых отвалов
Fig. 15. Three-dimensional model of the designed dumps

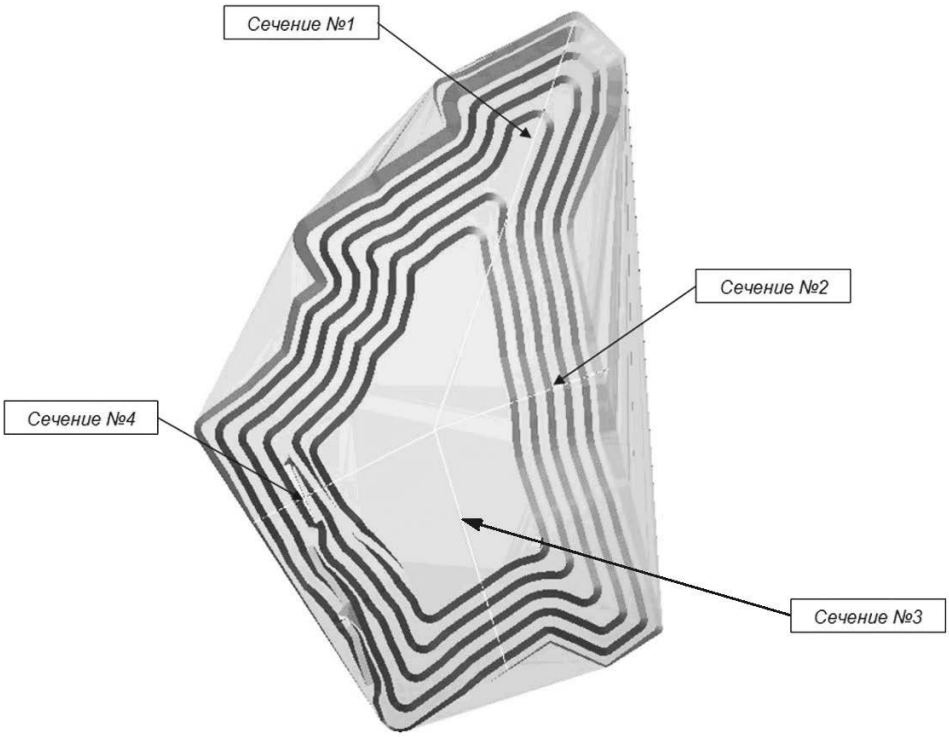

Рис. 16. План отвала с расчетными сечениями внешнего отвала
Figure 16 - Blade plan with design sections of the outer blade

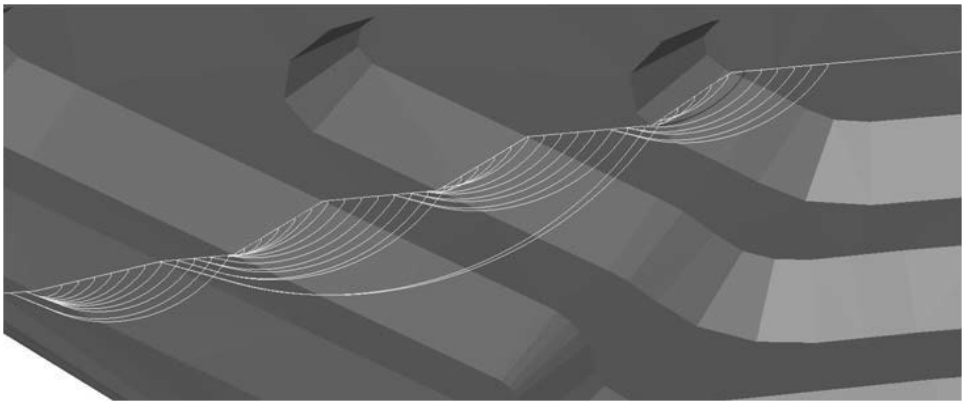

Рис. 17. Результаты расчета по сечению№3 внешнего отвала
Fig. 17. The calculation results for the cross-section No. 3 of the outer blade

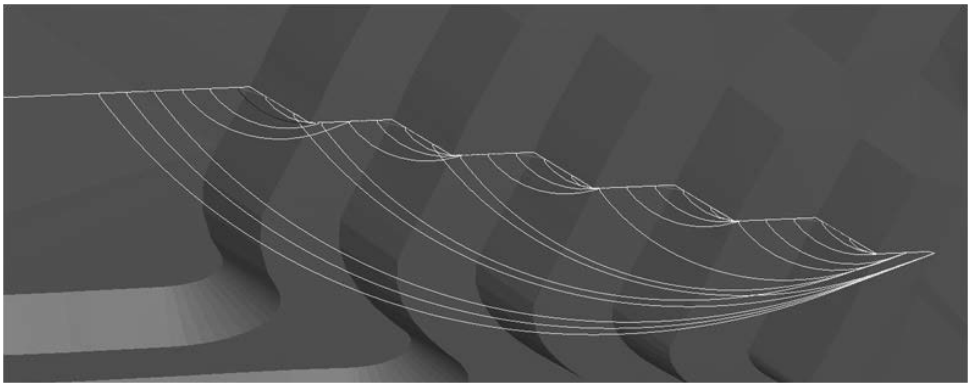

Рис. 18. Результаты расчета по сечению № 4 внешнего отвала
Fig. 18. The calculation results for the cross-section No. 4 of the outer blade

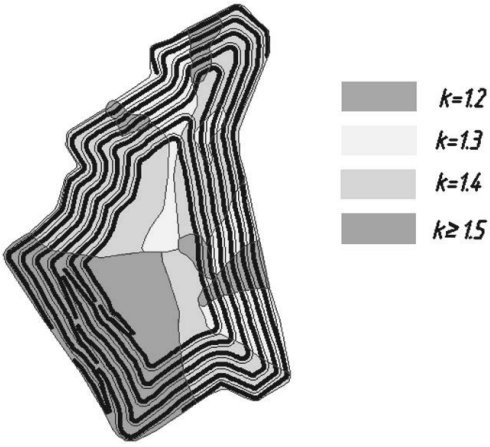

Рис. 19. Карта распределения коэффициента запаса устойчивости
Fig. 19. Map of the distribution of the safety factor

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рыльникова М.В.*, *Ерёменко В.А.*, *Есина Е.Н.* Условия формирования зон концентрации энергии горного массива. – М., 2014. – С. 179.

2. *Казикаев Д.М.*, *Козырев А.А.*, *Каспарьян Э.В.*, *Иофис М.А.* Управление геомеханическими процессами при разработке месторождений полезных ископаемых. – М., 2016. – С. 490.

3. *Бельченко Е.Л.* Физические процессы при разработке связных многолетнемерзлых пород. – М., 2000. – С. 199.

4. *Еремин Г.М.* Совершенствование методов определения прочностных свойств пород и их деформируемости при применении в проектах новых технологических процессов на карьерах и поддержания устойчивости выработок. – М., 2016. – С. 36.

5. *Шкуратник В.Л.*, *Лавров А.В.* Методика оценки вида напряжённого состояния, направлений и величины главных напряжений в массиве горных пород на основе эффектов памяти в извлечённых из массива образцах. – М., 2003. – С. 150.

6. *Попов В.Н.*, *Несмеянов Б.В.*, *Попов С.В.* Устойчивость отвалов скальных пород. – М., 2010. – С. 122.

7. *Гальперин А.М.*, *Кутепов Ю.И.*, *Еремин Г.М.* Методы определения параметров отвалов и технологии отвалообразования на склонах. – М., 2012. – С. 104.

8. *Пучков Л.А.*, *Еремин Г.М.* Тепло- влагоперенос в породах отвалов и их деформации. – М., 2016. – С. 136.

9. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. — СПб.: ВНИМИ, 1998. – С. 208.

10. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов, строящихся и эксплуатируемых карьеров. — Ленинград : ВНИМИ, 1972. – С. 78.

11. Методические указания по расчету устойчивости и несущей способности отвалов. — Ленинград : ВНИМИ, 1987. – С. 92.

12. Raymond Yee. ProWeb 2.0 Mashups: Remixing data and Web service, Ed. Mattew Moodie, SpringerVerlag, New-York, 2008.

13. *April J.* Wells. Grid Applications System Design, Aerbach Publications, New York, 2008.

14. Fayez Gebali. Algorithm and Parallel Computing, A. John Willey & Sons, Inc., Publition, New Jersy, 2011.

15. Massino Cafaro, Giovanui Alliso (Eds). Grids, Clouds and Virtualization, Springer, London, New York, 2011.

16. On Line Maps with AP and Web Service. Ed. Prof. Michael Peterson, Springer, New York, Heidelberg, 2012.

17. Griffiths, D.V. and Yu, X. Another look at the stability of slopes with linearly increasing undrained strength. Géotechnique, 65(10). 2015. pp. 824—830.

18. Javankhoshdel, S., Luo, N. and Bathurst, R.J. 2017. Probabilistic analysis of simple slopes with cohesive soil strength using RLEM and RFEM. Georisk.

19. *Lam J.* Reliability Based Analysis of the Mt. Polley Tailings Dam. 69th Canadian Geotechnical Conference, Vancouver, British Columbia, Canada. 2016. pp. 231—246.

20. Javankhoshdel, S., Luo, N., and Bathurst, R.J. Probabilistic analysis of simple slopes with cohesive soil strength using RLEM and RFEM. Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards, 2017. – pp. 1—16. ГИАБ

REFERENCES

1. Ryl'nikova M.V., Eryomenko V.A., Esina E.N. *Usloviya formirovaniya zon koncentracii energii gornogo massiva* [Conditions for the formation of zones of concentration of energy in the rock mass]. Moscow: 2014. pp. 179. [In Russ]

2. Kazikaev D.Moscow: Kozyrev A.A., Kaspar'yan E.V., Iofis M.A. *Upravlenie geomekhanicheskimi processami pri razrabotke mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh* [Management of geomechanical processes in the development of mineral deposits]. Moscow: 2016. pp. 490. [In Russ]

3. Bel'chenko E.L. *Fizicheskie processy pri razrabotke svyaznyh mnogoletnemerzlyh porod* [Physical processes in the development of cohesive permafrost]. Moscow: 2000. pp. 199. [In Russ]

4. Eremin G.M. *Sovershenstvovanie metodov opredeleniya prochnostnyh svojstv porod i ih deformiruemosti pri primenenii v proektah novyh tekhnologicheskih processov na kar'erah i podderzhaniya ustojchivosti vyrabotok* [Improving the methods for determining the strength properties of rocks and their deformability when applying new technological processes in quarries in projects and maintaining the stability of workings]. Moscow: 2016. pp. 36. [In Russ]
5. SHkuratnik V.L., Lavrov A.V. *Metodika ocenki vida napryazhyonnogo sostoyaniya, napravlenij i velichiny glavnyh napryazhenij v massive gornyh porod na osnove effektov pamyati v izvlechyonnyh iz massiva obrazcah* [Technique for assessing the type of stress state, directions, and magnitude of principal stresses in a rock mass based on memory effects in samples extracted from the mass]. Moscow: 2003. pp. 150. [In Russ]
6. Popov V.N., Nesmeyanov B.V., Popov S.V. *Ustojchivost' otvalov skal'nyh porod* [Stability of rock dumps]. Moscow: 2010. pp. 122. [In Russ]
7. Gal'perin A.Moscow: Kutepov Yu.I., Eremin G.M. *Metody opredeleniya parametrov otvalov i tekhnologii otvaloobrazovaniya na sklonah* [Methods for determining the parameters of dumps and technology for dumping on slopes]. Moscow: 2012. pp. 104. [In Russ]
8. Puchkov L.A., Eremin G.M. *Teplo- vlagoperenos v porodah otvalov i ih deformacii* [Heat and moisture transfer in the rocks of dumps and their deformation]. Moscow: 2016. pp. 136. [In Russ]
9. *Pravila obespecheniya ustojchivosti otkosov na ugol'nyh razrezah* [Rules for ensuring the stability of slopes in coal mines]. Saint-Petersburg: VNIMI, 1998. pp. 208. [In Russ]
10. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu uglov naklona bortov, otkosov ustupov i otvalov, stroyashchihsya i ekspluatiruemyh kar'erov* [Guidelines for determining the angles of inclination of the sides, slopes of benches and dumps, constructed and operated quarries]. Leningrad : VNIMI, 1972. pp. 78. [In Russ]
11. *Metodicheskie ukazaniya po raschetu ustojchivosti i nesushchej sposobnosti otvalov* [Guidelines for calculating the stability and bearing capacity of dumps]. Leningrad : VNIMI, 1987. p. 92; [In Russ]
12. Raymond Yee. ProWeb 2.0 Mashups: Remixing data and Web service, Ed. Mattew Moodie, SpringerVerlag, New-York, 2008.
13. April J. Wells. Grid Applications System Design, Aerbach Publications, New York, 2008.
14. Fayez Gebali. Algorithm and Parallel Computing, A. John Willey & Sons, Inc., Publition, New Jersy, 2011.
15. Massino Cafaro, Giovanui Alliso (Eds). Grids, Clouds and Virtualization, Springer, London, New York, 2011.
16. On Line Maps with AP and Web Service. Ed. Prof. Michael Peterson, Springer, New York, Heidelberg, 2012.
17. Griffiths, D.V. and Yu, X. Another look at the stability of slopes with linearly increasing undrained strength. Géotechnique, 65(10). 2015. pp. 824—830.
18. Javankhoshdel, S., Luo, N. and Bathurst, R.J. 2017. Probabilistic analysis of simple slopes with cohesive soil strength using RLEM and RFEM. Georisk.
19. Lam J. Reliability Based Analysis of the Mt. Polley Tailings Dam. 69th Canadian Geotechnical Conference, Vancouver, British Columbia, Canada. 2016. pp. 231—246.
20. Javankhoshdel, S., Luo, N., and Bathurst, R.J. Probabilistic analysis of simple slopes with cohesive soil strength using RLEM and RFEM. Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards, 2017. pp. 1—16.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Агафонов Андрей Александрович[1] — директор, aaagafonov@mail.ru,
Поршнева Татьяна Валентиновна[1] — начальник маркшейдерского отдела, porshneva@sgp.su,
[1] ООО «СГП-недра», 650066, г. Кемерово, пр-т Октябрьский, 28/б.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Agafonov A.A.[1], Director, aaagafonov@mail.ru,
Porshneva T.V.[1], head of the survey Department, porshneva@sgp.su,
[1] LLC SGP-Nedra, 650066, Kemerovo, Oktyabrskiy Ave., 28/b, Russia.

Получена редакцией 21.11.2019; получена после рецензии 20.01.2020; принята к печати 20.03.2020.
Received by the editors 21.11.2019; received after the review 20.01.2020; accepted for printing 20.03.2020.