

УДК 622.271: 624.131

**ПРОГНОЗНЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ
ВНУТРЕННИХ ОТВАЛОВ ПОСЛЕ ЗАТОПЛЕНИЯ
УГОЛЬНОГО КАРЬЕРА “ТАМНАВА ЗАПАДНОЕ ПОЛЕ”**

Б. Петрович¹, С. Вуйич², В. Чебашек³, Г. Гайич³, Д. Игњатович³

¹*Электропривреда Сербии, Угольный бассейн “Колубара”,
Лазаревац, Сербия, E-mail: branko.petrovic@rbkolubara.rs*

²*Горный институт, Batajnicki, 2, 11080, Белград, Сербия,
E-mail: slobodan.vujic@ribeograd.ac.rs*

³*Белградский университет, Studentski trg, 1, 11000, Белград, Сербия,
E-mail: vcebasek@rgf.bg.ac.rs*

Приведены результаты исследований по оценке устойчивости откосов внутреннего отвала вскрышных пород затопленного угольного разреза “Тамнава Западное поле”. Геостатический анализ устойчивости выполнен с помощью методов Бишопа, Моргенштейна и Прайса. Результаты исследования показали достаточную устойчивость откосов внутреннего отвала, которая сохраняется после откачки воды из разреза.

Разрез, внутренний отвал, устойчивость откосов, геостатический анализ

В середине мая 2014 г. обильные дожди и вызванные ими наводнения нанесли огромный ущерб Сербии. В ночь с 14 на 15 мая разлившаяся р. Колубара с притоками Пештан и Турия затопила угольные карьеры в горнодобывающем бассейне “Колубара”. О размерах этой катастрофы свидетельствуют следующие данные: около 236 млн м³ воды остановили добычу угля в карьере “Велики Црлени”, производственная мощность которого составляет 4 млн т угля в год, и в карьере “Тамнава Западное поле”, производственная мощность которого 14 млн т угля в год [1, 2].

Под водой оказалось 5 роторных экскаваторов, 2 отвалообразователя, 4 экскаватора-драглайна, 5 самоходных транспортеров, 22 энергообеспечивающие станции, 9 распределительных подстанций и 17 вспомогательных машин (бульдозер, 7 трубоукладчиков, 2 подъемных крана и 7 вспомогательных гидравлических экскаваторов). Размеры катастрофы, вызванной водной стихией, иллюстрируют рис. 1–4. Это самое большое бедствие, которое произошло в угольном бассейне “Колубара” с момента его основания, а возникшая ситуация, совершенно незнакомая горным специалистам в Сербии, требовала продуманного решения и принятия быстрых и эффективных мер.

Горнодобывающий бассейн “Колубара”, общая площадь которого составляет 600 км², расположен в 60 км от Белграда и имеет 4 открытых карьера: “Поле Б”, “Поле Д”, “Тамнава Западное поле” и “Велики Црлени”, в которых ежегодно добывается 30 млн т угля. Из угля, добытого в этих угольных карьерах, термоэлектростанции в Обреновце, Великих Црленах и Свилайнце производят около 52 % электроэнергии Сербии [3, 4].

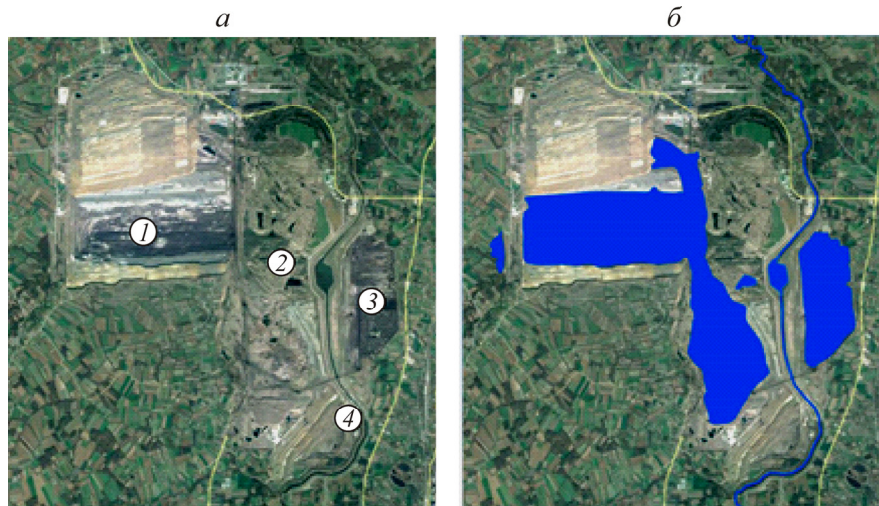


Рис. 1. Общий вид карьеров до затопления (а) и после (б): 1 — угольный карьер “Тамнава Западное поле”; 2 — угольный карьер “Тамнава Восточное поле”; 3 — угольный карьер “Велики Црлени”; 4 — р. Колубара

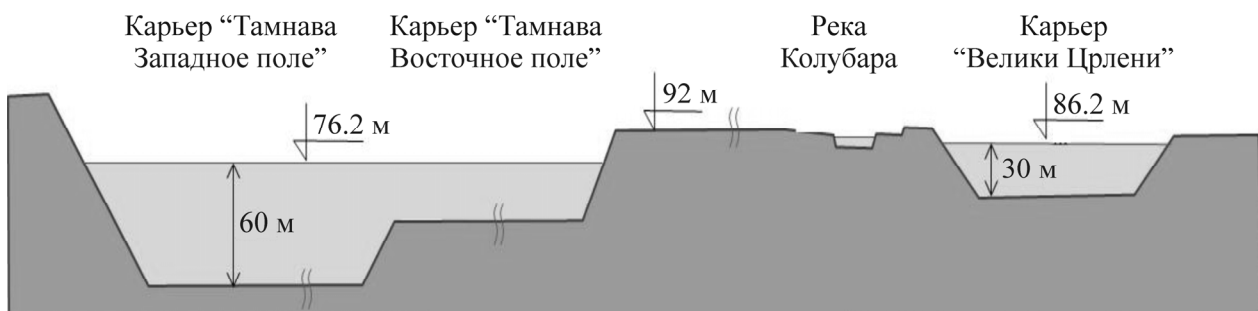


Рис. 2. Схема аккумуляции воды в угольных карьерах “Тамнава Западное поле” ($210 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ воды) и “Велики Црлени” ($26 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ воды)

Чтобы возобновить добычу угля в затопленных угольных карьерах, требовалось откачать огромное количество воды и ила. Необходимы были насосы самой большой мощности, понтоны, трубы большого диаметра, а также источники финансирования больших затрат на средства для этой операции.

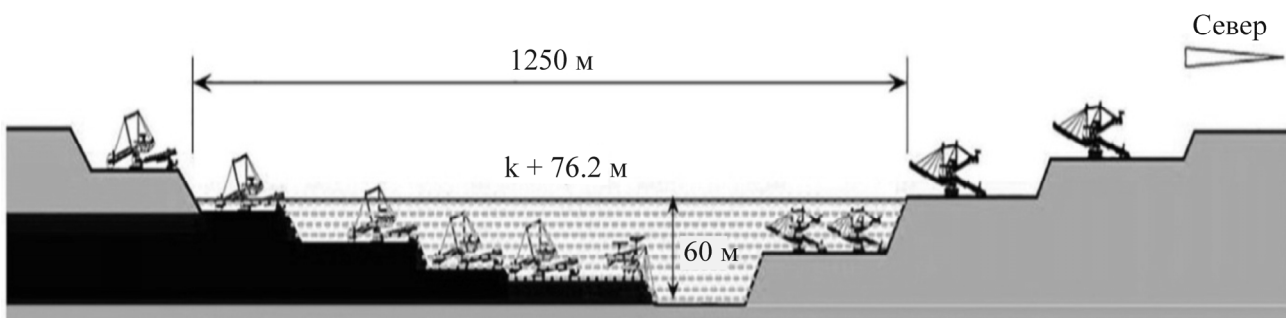


Рис. 3. Схема расположения машин в затопленном карьере “Тамнава Западное поле”

Среди многочисленных технических, технологических и других проблем в процессе анализа за вопроса откачки воды доминировали две: одна из них — количество ила на дне карьера и решение вопроса о том, очистить его или оставить, другая касалась устойчивости откосов

вследствие обводненности среды, переменных уровня и динамики подземных вод и появления суффозии, которая неизбежно возникнет при относительно быстром снижении уровня аккумулятивной воды в карьере [5–7]. Устойчивость откосов является исключительно важным вопросом для находящихся под водой горных машин. В таких обстоятельствах нестабильность откосов и ослабление прочности горизонта могут вызвать крен, переворачивание и повреждение роторных экскаваторов, самоходных транспортеров, ковшевых экскаваторов, экскаваторов-драглайнов и отвалообразователей, что еще более усложнило бы и без того тяжелую ситуацию и значительно повысило затраты.

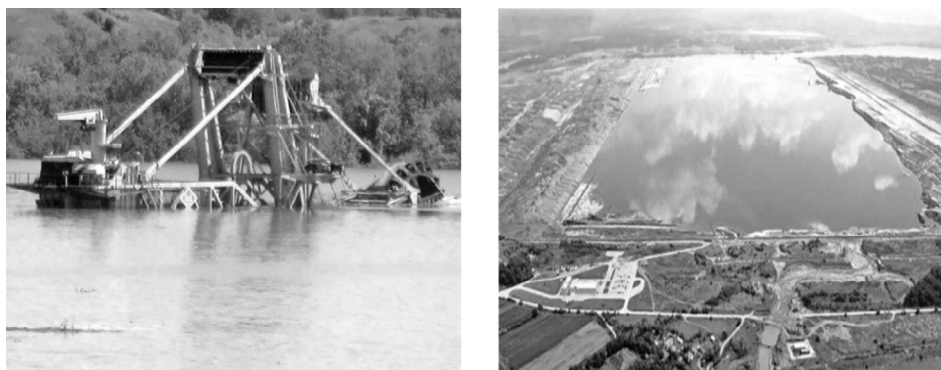


Рис. 4. Роторный экскаватор SchRs 630.25/6 в воде и панорама затопленного карьера “Тамнава Западное поле”

Чтобы разобраться в создавшейся ситуации, выполнен прогнозный геостатический анализ устойчивости откосов с мультивариабельным обзором состояния в рабочей среде угольного разреза “Тамнава Западное поле” как наиболее важного и опасного объекта. Анализ показал, что существует возможность обрушения откосов во время и после откачки аккумулятивной воды из котлована карьера.

ОСОБЕННОСТИ УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА “ТАМНАВА ЗАПАДНОЕ ПОЛЕ”

Геологическое строение угольного карьера “Тамнава Западное поле” идентично геологическому строению Колубарского бассейна. Угленосная серия плиоценового периода является гетерогенной и анизотропной средой со слоями и прослойками угля, песка и глины. В кровле угленосной серии находятся мягкие скальные геоматериалы со слабым сцеплением и несцепленные материалы (глина, песок четвертичного периода, гравий, пыль, алевриты и песок плиоценовой эпохи). В почве присутствуют отложения плиоценового периода, песок с большими или меньшими примесями пылеобразного компонента [3, 4].

На карьере была применена непрерывная технология добычи угля и выемки вскрыши. На выемке в блоке, средняя высота которого 20 м, работали роторные экскаваторы (4 — на угле и 3 — на выемке). На транспортировке и укладке вскрыши задействована система “экскаватор–транспортер–отвалообразователь”. Консольные отвалообразователи укладывали вскрышу в высоту и в глубину. Для транспортировки использовали транспортеры с лентами шириной 1600 и 2000 мм [3, 4].

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ

По нашим оценкам, наибольшая опасность потери устойчивости откосов зафиксирована в отвалах карьера “Тамнава Западное поле”, поэтому именно они анализировались с позиций стабильности. Геостатический анализ проведен посредством метода Бишопа (Bishop). С этой

целью использован пакет программного обеспечения Slide 6.0, Rocscience Inc. В качестве исходных физико-механических характеристик пород для среды отвала взяты средние значения объемного веса, сцепления, угла внутреннего трения и коэффициента порового давления [8] (табл. 1), а как базовая оценочная модель — откосы отвала, представленные на рис. 5 [3, 4].

ТАБЛИЦА 1. Физико-механические свойства пород отвала

Параметр	Символ	Единица измерения	Значение
Объемный вес	γ	кН/м ³	16.43
Сцепление	c	кН/м ²	10.20
Угол внутреннего трения	φ	град	28.58
Коэффициент порового давления	r_u		0.50

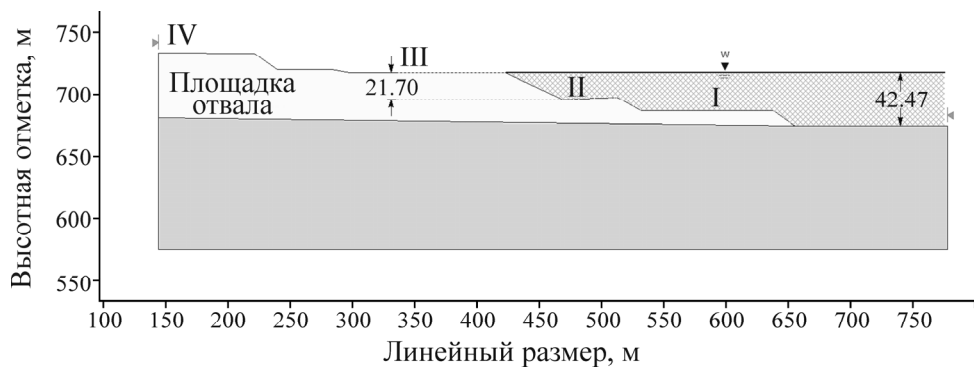


Рис. 5. Базовая оценочная модель откоса отвала

На первом этапе проведен анализ устойчивости откоса посредством варьирования его высоты в пределах 10–22 м и наклона от 18 до 30°. Результаты этого анализа показаны на рис. 6. Установлено, что в заданных пределах высоты откоса коэффициент устойчивости допустим, если наклон откоса менее 19°; если наклон составляет 20°, то условие устойчивости выполняется до высоты откоса 15 м. Откосы с углом наклона более 24° нестабильны.

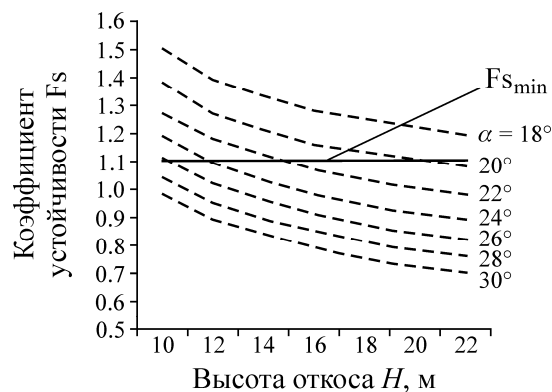


Рис. 6. Зависимость коэффициента устойчивости (Fs) от высоты откоса при различных углах его наклона

На втором этапе выполнен анализ устойчивости откоса III этажа, которая функционально зависит от снижения уровня аккумулированной воды. Рассмотрено последовательное снижение уровня аккумулированной воды посредством ее откачки с шагом 1 м (рис. 7). Графическое представление результатов анализа дано на рис. 8.

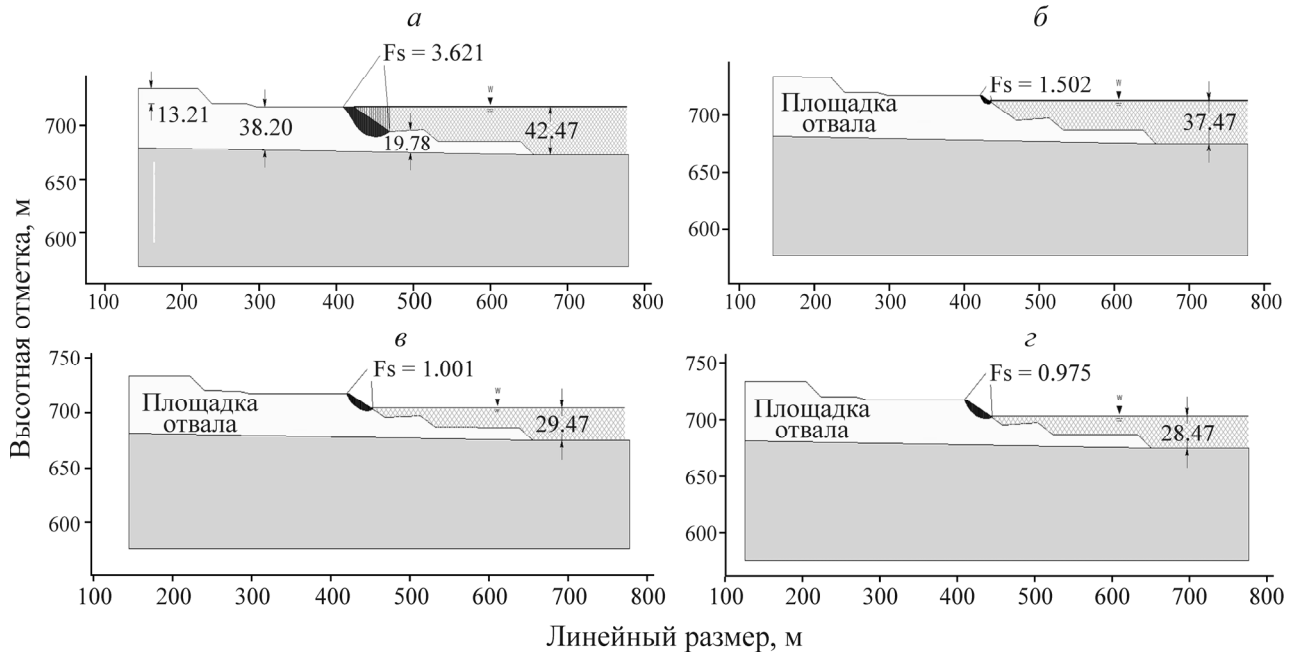


Рис. 7. Изменение коэффициента устойчивости в откосе III этажа в зависимости от откачки аккумулярированной воды: а — начальное положение; б — снижение уровня воды на 5 м; в — снижение уровня воды на 13 м; г — снижение уровня воды на 14 м

Установлено, что вода в карьере позитивно влияет на устойчивость откосов, подтверждая известный факт, что гидростатическое давление внешней воды благоприятно для стабильности откосов. Однако снижение уровня аккумулярированной воды создает угрозу для устойчивости откосов, что наглядно показывает рис. 8. Со снижением уровня воды в карьере значение коэффициента устойчивости (F_s) падает по экспоненциальной функции; критический момент возникает при снижении уровня воды на 13 м по отношению к продольному профилю рабочей поверхности III этажа. Аналогичные результаты получены в анализах устойчивости откосов I и II этажа и рабочего откоса между I и III этажом (см. рис. 5).

На рис. 9 и в табл. 2 приведены результаты анализа устойчивости откосов отвалов карьера методами Бишопа и Моргенштерна – Прайса. Как видно, эти методы дают практически одинаковые результаты.

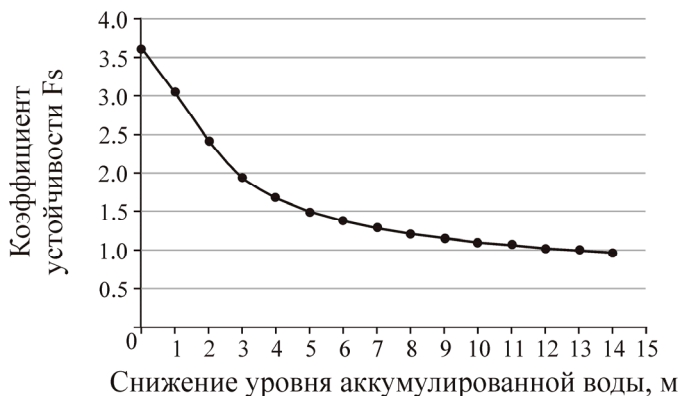


Рис. 8. Зависимость коэффициента устойчивости (F_s) от уровня аккумулярированной воды

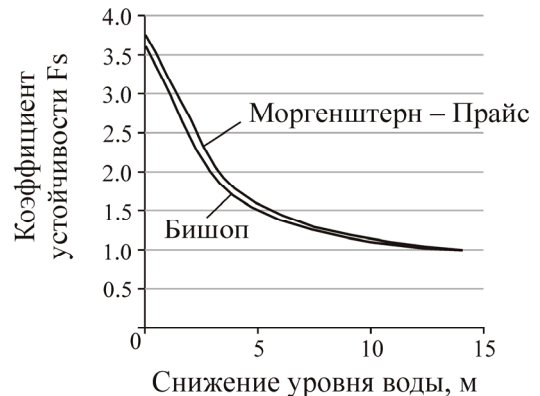


Рис. 9. Результаты расчета коэффициента устойчивости отвалов карьера различными методами

ТАБЛИЦА 2. Сравнительный анализ результатов расчета коэффициента устойчивости отвала карьера

Снижение уровня воды, м	Коэффициент устойчивости по методу	
	Моргенштерна – Прайса	Бишопа
0	3.79	3.62
1	3.22	3.05
2	2.69	2.43
3	2.09	1.95
4	1.78	1.68
5	1.59	1.5
6	1.45	1.38
7	1.35	1.29
8	1.26	1.21
9	1.2	1.16
10	1.15	1.1
11	1.1	1.07
12	1.06	1.03
13	1.03	1.01
14	1.0	0.98

ВЫВОДЫ

Анализ устойчивости откосов затопленного карьера угольного карьера “Тамнава Западное поле” выполнен во время подготовки для откачки аккумулированной воды.

После завершения работ по откачке воды представилась возможность сопоставить прогноз-ные результаты о состоянии откосов с полученными натурными данными о поведении откосов во время и после окончания откачки воды. Полученные результаты подтвердили оправдан-ность предположения об устойчивости откосов во время и после откачки аккумулированной воды из карьера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ignjatovic D., et al.** Evaluation of investment needed for the improvement of mining equipment on OCM “Tamnava -West Field” and OCM “Veliki Crljeni”, Faculty of Mining and Geology University of Belgrade [in Serbian], Belgrade, 2014.
2. **Vujić S., et al.** Serbian mining and geology in the second half of XX century, Academy of Engineering Sciences of Serbia, Maticasrpska and the Mining institute of Belgrade, [in Serbian], Belgrade, 2014.
3. **Mining Basin Kolubara (MB KOLUBARA-Branch-Project)**, Additional mining project on OCM “Tamnava -West Field”, 2012.
4. **Mining Basin Kolubara (MB KOLUBARA-Branch-Project)**, Project of geotechnical investigations of the western final slopes on OCM “Tamnava -West Field” in the area of retention dam “Kladnica”, 2003.
5. **Gojkovic N., et al.** Stability of dump site on open cast mines, Faculty of Mining and Geology University of Belgrade [in Serbian], Belgrade, 2008.
6. **Revuzhenko A. F.** Mechanics of granular media: Some basic problems and applications, Journal of Mining Science, 2014, Vol. 50, Issue 5.
7. **Siemek J., Stopa J.** Analytical model of water flow in coal with active matrix, Archives of Mining Sciences, 2014, Vol. 59, Issue 4.
8. **Zuev L. B., Barannikova S. A., Nadezhkin M. V., Gorbatenko V. V.** Localization of deformation and prognostibility of rock failure, Journal of Mining Science, 2014, Vol. 50, Issue 1.

Поступила в редакцию 14/VI 2015