

УДК 626.131.5:621.878.23  
DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-4-12-21

## Методика оптимизации вскрышных работ с использованием системы автоматизированного позиционирования бульдозера

М. Г. Выстрчил<sup>1</sup>, Т. И. Балтыжакова<sup>1\*</sup>, В. В. Пименов<sup>2</sup>,  
С. Ю. Новоженин<sup>1</sup>, А. А. Боголюбова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>2</sup> АО «Серебро Магадана», г. Омсукчан, Российская Федерация

\*e-mail: Baltyzhakova\_TI@pers.spmi.ru

**Аннотация.** В статье описана новая методика оценки потерь полезного ископаемого при разработке россыпных золотоносных месторождений, позволяющая минимизировать возникающие при промывке издержки и оптимизировать вскрышные работы. Повышения качества учета потерь предлагается достичь за счет внедрения системы автоматизированного определения положения техники. В ходе исследования была выполнена статистическая обработка экспериментальных данных точности позиционирования бульдозера с применением GNSS-систем, в ходе которой была определена средняя квадратическая погрешность (СКП) определения положения отвала бульдозера по высоте и проверена гипотеза о подчинении ошибок позиционирования нормальному закону распределения. На основе полученных статистических оценок была выведена модель потенциальных потерь полезного ископаемого в зависимости от СКП определения высотной отметки отвала бульдозера и мощности «защитной рубашки» – оставляемой над ожидаемой границей кровли продуктивного пласта неснятой пустой породы. На основе сформированной модели потерь были выведены зависимости, позволяющие оптимизировать величину «защитной рубашки» с позиции минимизации убытков относительно суммы потенциальных потерь золота и дополнительных расходов на транспортировку и промывку пустых пород.

**Ключевые слова:** GNSS-системы, маркшейдерское обеспечение, россыпные месторождения, системы автоматического позиционирования техники, объем вскрыши, ошибка позиционирования, нивелирование, движение запасов

### Введение

В настоящее время вопросы учета движения запасов полезных ископаемых и кадастра недр становятся все более актуальными в свете возрастающей мировой напряженности [1, 2]. Бережное и рациональное использование природных ресурсов позволит повысить как экономическую эффективность разрабатываемых месторождений, так и прогнозируемость их работы [3, 4]. Примером реальной задачи, стоящей перед маркшейдерскими службами, обеспечивающими добычу золота на россыпных месторождениях, является необходимость контроля потерь золотоносных песков при их вскрытии [5].

В общем случае, физико-механические свойства вскрышных пород позволяют вскрытие до продуктивной толщи с использованием бульдозеров, обеспечивающих транспортировку горной массы в отвалы [6, 7]. Ос-

новной трудностью, возникающей при вскрытии месторождения, является однозначное определение границы раздела между золото-содержащими песками и пустыми породами [8]. Зачастую эти породы не имеют явных цветовых и прочих визуальных различий, отчего становится невозможно определить границу между ними без взятия контрольных проб. Исходя из этого, при выполнении вскрышных работ вблизи кровли продуктивного пласта появляется риск снятия золотоносных песков и транспортировки их в отвал вместе с пустыми породами, что приведет к потерям полезного ископаемого [9].

Россыпные золотоносные месторождения в силу своего генезиса характеризуются большой площадью и распределением вдоль естественных складок рельефа, а также расположением в местах с довольно суровым климатом [10]. Расположение добычных участков и короткий полевой сезон приводит к необхо-

димости высокой концентрации техники на множестве участков, что затрудняет их оперативное маркшейдерско-геологическое обеспечение [11]. Невозможность обеспечения повсеместного контроля за достижением при вскрытии продуктивной толщи заставляет предусматривать в проекте ведения горных работ так называемую «защитную рубашку» – буферный объем пустых пород, промываемых вместе с золотоносными песками. Величина «рубашки» определяет оставленную неснятой мощность пустых пород и принимается, как правило, около 30 см. Такая технология ведения горных работ приводит к разубоживанию полезного ископаемого, что увеличивает эксплуатационные затраты на его транспортировку и промывку [12]. Фактически, время промывки этих пустых пород – это упущенная выгода, которая могла быть получена при извлечении дополнительного золота из песков, которые можно было бы потенциально снять вместо «защитной рубашки» [13].

Очевидное решение проблемы разубоживания песков может быть найдено через уменьшение мощности «защитной рубашки». Сохранение нормативных потерь в таком случае возможно только при улучшении качества маркшейдерского контроля над состоянием ведения вскрышных работ [14, 15]. Экстенсивный путь повышения качества маркшейдерского обеспечения возможен путем увеличения штата участковых маркшейдеров и геологов, лично обеспечивающих необходимый мониторинг, однако, с учетом большого количества одновременно разрабатываемых участков, такое решение приведет к необоснованному повышению фонда заработной платы и затрат на бытовое обеспечение специалистов [16].

Альтернативным вариантом повышения точности ведения горных работ может являться внедрение систем автоматизированного позиционирования техники, основанных на комбинации GNSS приемников, инерциальных систем и датчиков наклона, которые позволяют полностью определить положение отвала бульдозера в пространстве [17, 18]. Такие системы, работая в совокупности с оперативно пополняемой геологической моделью

[19], позволят в режиме реального времени передавать водителю бульдозера информацию, определяющую оптимальный режим работы и требуемое положение отвала бульдозера [20]. Дополнительным преимуществом подобных систем является возможность записи траектории отвала бульдозера в пространстве, что, в свою очередь, позволит сформировать предварительную модель земляных работ, по которой возможно как оценить объем выемки, так и локализовать участки, на которых целесообразен приоритетный маркшейдерско-геологический контроль [21].

Одной из проблем, препятствующих внедрению подобных систем, является отсутствие действующей нормативной базы, определяющей порядок их применения и метрологического обслуживания [22]. Погрешность позиционирования рабочих элементов техники представляется чаще всего погрешностью определения положения GNSS-приемников либо совокупностью погрешностей работы отдельных датчиков, формирующей систему [23, 24]. К примеру, в случае применения двухмачтовой системы позиционирования производитель обещает погрешность позиционирования по высоте в пределах 2–3 см [25].

Не подвергая сомнению заявленные производителями точностные характеристики изготавливаемых ими систем, следует обратить внимание на то, что их прямое использование в расчетах обычно приводит к результату, качество которого слабо связано с реальным. Объяснить подобные случаи можно тем, что простая экстраполяция паспортных погрешностей, определенных косвенными методами в метрологических лабораториях, на реальные условия выполнения работ не учитывает весь комплекс внешних факторов, в которых будет решаться поставленная задача.

### *Материалы и методы*

Для определения фактической погрешности определения положения бульдозера в пространстве был статистически обработан набор натуральных данных, представляющих собой профили трасс, высотные отметки пикетов которых определялись системой автома-

тического позиционирования с повторным контролем GNSS-приемником.

Общий объем данных составил 14 независимых профилей суммарной протяженностью 5,7 км и позволил сформировать 543 пары пикетов, высотные отметки которых были определены двумя разными способами. Принимая во внимание, что в обоих способах высотные отметки определялись с помощью GNSS-приемника, можно сделать допущение об их равнозначности и рассчитать совокупность невязок в каждой паре измерений через следующее условие:

$$d_i = l_i' - l_i'' = 0, \quad (1)$$

где  $l_i'$  и  $l_i''$  – первое и второе независимое равнозначное измерение  $i$ -го пикета.

Таким образом, расчет фактической среднеквадратической ошибки положения бульдозера может быть выполнен с помощью общеизвестной формулы

$$m = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{2n}}, \quad (2)$$

где  $d$  – разность между двумя повторными независимыми измерениями одной величины  $d = l_i' - l_i''$ ;  $n$  – количество независимых пар измерений, участвующих в обработке.

Полученное на основе экспериментальных данных значение в 0,14 м определяет стандартное отклонение позиционирования бульдозера относительно проектной плоскости ведения работ, однако полное описание ошибки возможно только после ее сопоставления с конкретным законом распределения.

Предполагая, что ошибка позиционирования является результатом совокупных, не доминирующих друг над другом элементарных ошибок, распределение случайной величины может осуществляться по нормальному закону. Проверка выдвинутой гипотезы была выполнена с применением критерия согласия Пирсона. Совокупный показатель различий фактического и теоретического распределения  $\chi^2$  не превысил критического значения при доверительной вероятности 0,95, что позволяет допустить выдвинутую ранее гипотезу о нормальном распределении ошибки позиционирования бульдозера к дальнейшим размышлениям. Общий вид получившегося эмпирического и теоретического распределения представлен на рис. 1.



Рис. 1. Гистограмма распределения погрешности позиционирования отвала бульдозера по высоте

Допустив гипотезу о нормальном распределении ошибок нивелирования бульдозера, можно связать вероятность среза золотоносных песков и величину оставляемой «защитной рубашки».

Приняв, что в силу случайных ошибок определения положения бульдозера с вероятностью  $\Delta p$  возможно превышение проектной величины рубашки  $m_0$  на величину  $\Delta m$  для месторождения площадью  $S$ , величина потерь золотоносных песков объемом  $\Delta V$  может быть определена по формуле

$$\Delta V = S \Delta p \Delta m. \quad (3)$$

Общие потери золотосодержащих песков  $V$  могут быть получены путем интегрирования выражения (3) по  $dm$ , что с учетом того, что  $dp = f(m)dm$ , позволяет выразить:

$$V = S \int_{m_0}^{\infty} f(m) d^2 m = \frac{S}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{m_0}^{\infty} e^{-\left(\frac{m}{\sigma}\right)^2} d^2 m, \quad (4)$$

где  $f(m)$  – функция плотности нормального распределения с параметрами  $\sigma$  (СКП нивелирования бульдозера) и  $M(m) = 0$ .

Так как интеграл от функции плотности нормального распределения  $f(m)$  является неберущимся, выражение (4) возможно вычислить только с применением численных методов интегрирования.

Выражение (3) линейно зависимо от площади  $S$ , поэтому для нахождения общего случая представим потенциальные потери объема песков с  $1 \text{ м}^2$  площади на рис. 2 в виде поверхности  $V(\sigma, m_0)$ .

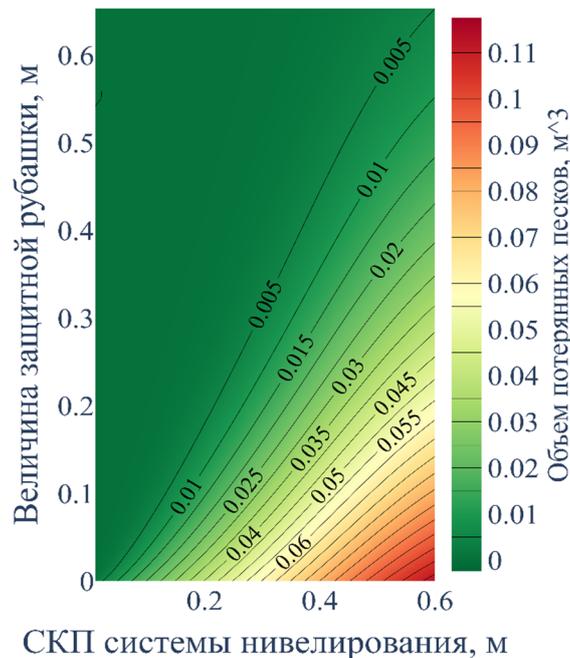


Рис. 2. Зависимость объема потерянных золотосодержащих песков  $V(\sigma, m_0)$  с  $1 \text{ м}^2$  площади от СКП нивелирования бульдозера  $\sigma$  и мощности «защитной рубашки»  $m_0$

Используя зависимость  $V(\sigma, m_0)$ , можно выразить ожидаемые потери золота в виде формулы

$$P_{AU} = V(\sigma, m_0) \cdot S \cdot \gamma, \quad (5)$$

где  $V(\sigma, m_0)$  – удельный объем потери песков с  $1 \text{ м}^2$  площади;  $S$  – площадь месторожде-

ния,  $\text{м}^2$ ;  $\gamma$  – среднее содержание золота в  $1 \text{ м}^3$  песков,  $\text{г}/\text{м}^3$ .

В свою очередь объем дополнительно промываемых пустых пород «защитной рубашки» может быть выражен как

$$V_{\text{пустой\_породы}} = S \cdot m_0. \quad (6)$$

Если принять цену 1 г золота за  $C_{AU}$ , а цену промывки 1 м<sup>3</sup> за  $C_{промывки}$ , то общая функция убытков может быть выражена из формул (5) и (6) как

$$C = S(V(\sigma, m_0) \cdot \gamma \cdot C_{AU} + m_0 \cdot C_{промывки}). \quad (7)$$

Принципиальный характер зависимости (7) представлен на рис. 3.

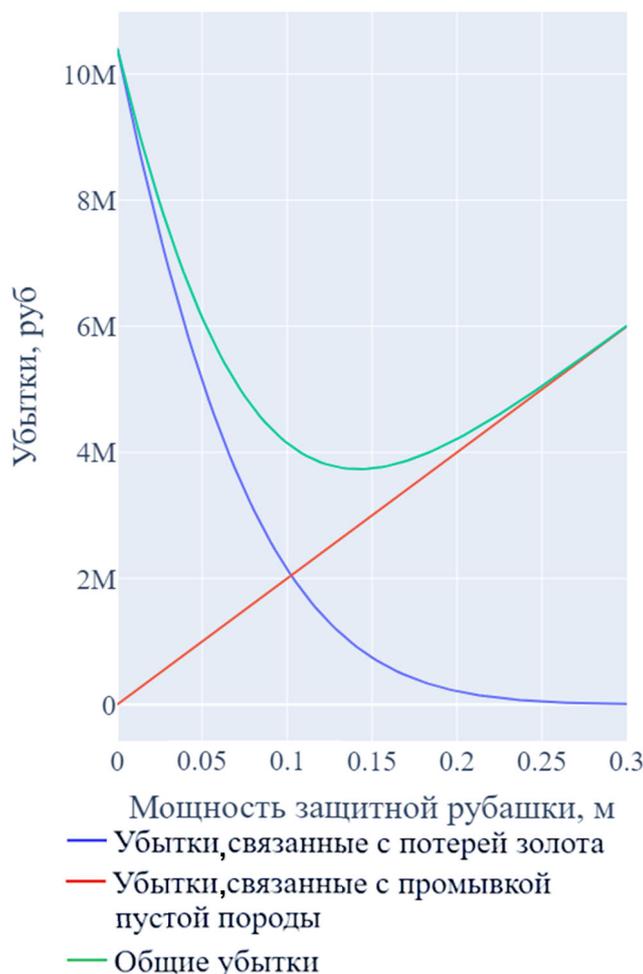


Рис. 3. Зависимость убытков от величины мощности «защитной рубашки»

Так как функция потерь золота  $P_{AU}$  асимптотически стремится к нулю при увеличении мощности «рубашки»  $m_0$ , а затраты на промывку пустых пород линейно возрастают, функция общих убытков всегда будет иметь один минимум, определяющий оптимальное значение мощности «рубашки»  $m_0$ .

Исходя из того, что цена золота и промывки может динамично меняться в течении времени, цену промывки  $C_{промывки}$  можно выразить относительно цены золота  $C_{AU}$  в виде коэффициента  $k$ . Тогда результирующая

функция может быть получена из формулы (7) как

$$C = S \cdot C_{AU} (V(\sigma, m_0) \cdot \gamma + m_0 \cdot k), \quad (8)$$

где  $k$  – коэффициент, определяющий отношение цены промывки 1 м<sup>3</sup> пустой породы к цене 1 г золота:

$$k = \frac{C_{промывки}}{C_{AU}}. \quad (9)$$

Принимая значение СКП нивелирования бульдозера  $\sigma$  равным полученному ранее значению 0,14 м и среднее содержание золота в 1 м<sup>3</sup> золотоносных песков  $\gamma$  равным 0,92 г/м<sup>3</sup>,

а цену 1 г золота в 4 тыс. рублей, получим следующие зависимости относительно коэффициента  $k$  (9) для разрабатываемого участка площадью  $S$  в 10 га (рис. 4).

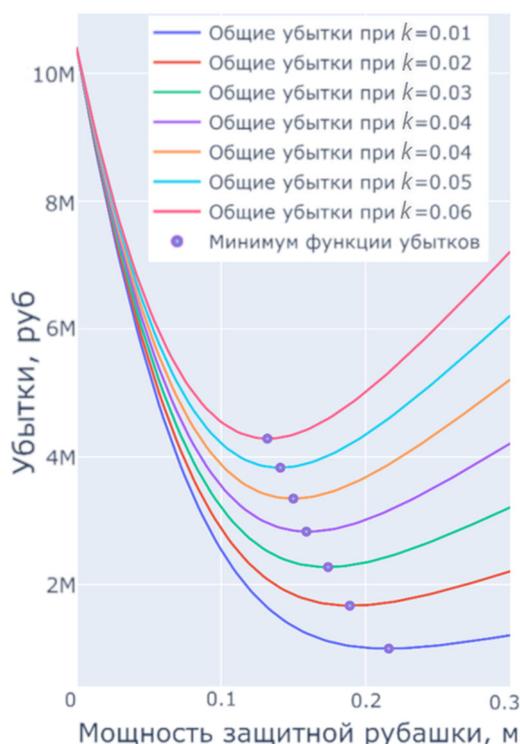


Рис. 4. График зависимости убытков от мощности «защитной рубашки» при различных коэффициентах  $k$

### Результаты и обсуждение

Из рис. 5 видно, что, даже принимая во внимание высокое значение СКП нивелирования бульдозера, допускающее предельное отклонение до 0,42 м, величина мощности стандартной проектной «защитной рубашки»  $m_0$  в 0,3 м является завышенной и приводит к дополнительным расходам, так как минимумы полученные функции достигают при значениях  $m$  меньших  $m_0$ . Следует отметить, что это утверждение справедливо при всех рассмотренных значениях коэффициента  $k$ , лежащих выше 0,01.

Далее, с учетом принятой мощности «защитной рубашки», равной 0,3 м, и выявленных минимумов функции убытков при разных значениях коэффициента  $k$  была построена зависимость разности потенциальных убытков, получаемых при стандартной мощности «защитной рубашки»  $m_0$  и при той мощности  $m$ , которая обеспечивает минимум функции убытков (рис. 5).

График показывает, что с учетом ранее принятых параметров  $\sigma$  (0,14 м),  $\gamma$  (0,92 г/м<sup>3</sup>) и  $C_{Au}$  (4 тыс. рублей/г) величина, на которую уменьшаются потенциальные убытки при разработке 1 га месторождения, растет с увеличением стоимости промывки (коэффициента  $k$ ). Эта зависимость может быть использована для прогноза срока окупаемости внедряемого на месторождении оборудования по позиционированию техники.

Таким образом, применение систем автоматизированного позиционирования техники позволяет не только улучшить качество и упростить технологию обеспечения горных работ, но также и добиться значительного экономического эффекта. Уменьшение погрешностей определения отметки позволит значительно сократить производственные расходы, повысить полноту извлечения полезных ископаемых из недр и обеспечить стабильность их качества.

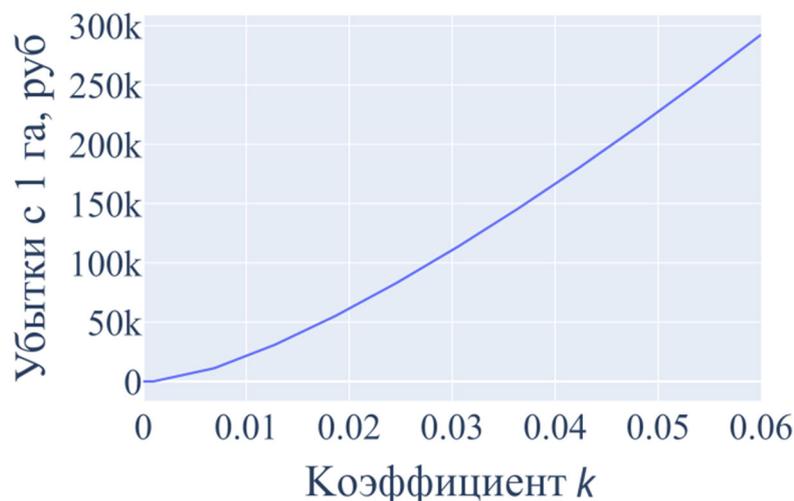


Рис. 5. График зависимости убытков при разработке 1 га месторождения от коэффициента  $k$

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лебедев Ю. В., Крылов В. Г. Системный анализ сферы недропользования // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 4. – С. 160–168. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-4-160-168.
2. Юрак В. В., Душин А. В., Мочалова Л. А. Против устойчивого развития: сценарии будущего // Записки Горного института. – 2020. – Т. 242. – С. 242–247. – DOI 0.31897/PMI.2020.2.242.
3. Зайцев А. Ю. Методический подход к обоснованию капитальных вложений золоторудных месторождений на основе удельных затрат // Записки Горного института. – 2019. – Т. 238. – С. 459–464. – DOI 10.31897/PMI.2019.4.459.
4. Костромин М. В., Грешилов Д. М. Методика, техника и технология определения, снижения и ликвидации эксплуатационных потерь в межшаговых и межходовых целиках при дражной разработке россыпей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 12. – С. 68–75.
5. Аленичев В. М. Направления повышения полноты извлечения ресурсов при разработке россыпей // Проблемы недропользования. – 2022. – № 4. – С. 87–95. – DOI 10.25635/2313-1586.2021.04.087.
6. Ligotsky D. N. A review of mining and loading equipment currently used for open pit mining // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2019. – Vol. 14 (19). – P. 7154–7158. – DOI 10.36478/jeasci.2019.7154.7158.
7. Аргимбаев К. Р., Лигоцкий Д. Н., Логинов Е. В. Бульдозерная технология открытой разработки известняково-доломитовых месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – Т. 3. – С. 16–29. – DOI 10.25018/0236-1493-2020-3-0-16-29.
8. Снетков В. И., Тальгамер Б. Л. Проблемы оценки и разработки техногенных запасов дражных полигонов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 1. – С. 111–118.
9. Макаров В. А., Самородский П. Н. Актуальные вопросы оценки и освоения техногенных месторождений золота // Золото и технологии. – 2018. – Т. 42, № 4 – С. 82–96.
10. Гузев В. Е., Терехов А. В., Крымский Р. Ш., Беляцкий Б. В., Молчанов А. В. Морозкинское золоторудное месторождение (Южная Якутия): возраст и источники рудного вещества // Записки Горного института. – 2021. – Т. 252. – С. 801–813. – DOI 10.31897/PMI.2021.6.3.
11. Иванов В. В., Дзюрич Д. О. Обоснование параметров технологической схемы разработки обводненных месторождений строительного песка // Записки Горного института. – 2022. – Т. 253. – С. 33–40. – DOI 10.31897/PMI.2022.3.
12. Сас П. П. Комплексная оценка технологических потерь золота и решение проблемы интенсификации процесса его обогащения на промывочном приборе ПГШ-П-50 // Проблемы недропользования. – 2014. – № 2 (2). – С. 185–189.
13. Попов В. Н., Руденко В. В., Бадамсурэн Х., Даваадорж Ц. Управление полнотой и качеством извлечения золота при разработке россыпей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 5. – С. 62–63.
14. Кантемиров В. Д., Титов Р. С., Тимохин А. В., Яковлев А. М. Совершенствование методов учета повышенных потерь и разубоживания полезного ископаемого при добыче // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3-1. – С. 453–464. – DOI 10.25018/0236-1493-2020-31-0-453-464.

15. Шарапов Г. Е. Маркшейдерское обеспечение планирования показателей извлечения полезного ископаемого // Симпозиум «Современное горное дело: образование, наука, промышленность». – М. : ООО «Горная книга», 1996. – С. 117–119.
16. Багазеев В. К., Валиев Н. Г., Аленичев М. В. Расчет технологических потерь продуктивных песков при разработке россыпных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 3. – С. 86–89.
17. Смаковский В. Н., Нарский В. А. Системы высокоточного позиционирования в горном деле // Рекультивация выработанного пространства: проблемы и перспективы. – Прокопьевск : Кузбасский гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева, 2021. – С. 165–169.
18. Гвоздев О. Г. Современные геоинформационные технологии: адаптивность, адаптируемость, расширяемость, функциональная масштабируемость // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2022. – Т. 66, № 5. – С. 28–46. – DOI 10.30533/0536-101X-2022-66-5-28-46.
19. Брагин В. И., Харитонов М. Ю., Мацко Н. А. Вероятностный подход к оценке динамического бортового содержания // Записки Горного института. – 2021. – Т. 251. – С. 617–625. DOI 10.31897/PMI.2021.5.1.
20. Вахрушева А. А. Технологии позиционирования в режиме реального времени // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 1. – С. 170–177.
21. Курлов А. В., Матерухин А. В. Анализ требований к качеству пространственно-временных данных в задачах территориального планирования // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2022. – Т. 66, № 4. – С. 59–68. – DOI 10.30533/0536-101X-2022-66-4-59-68.
22. Пугин К. Г., Пираматов У. А. Проблемы оснащения отечественной техники системами нивелирования // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2017. – Т. 2, № 12. – С. 282–289.
23. Новиков А. В., Гусев С. П., Новикова Т. Е. Оценка эффективности применения систем управления строительной техникой // Вестник Волжской гос. академии водного транспорта. – 2015. – № 43. – С. 250–255.
24. Корнеев А. А., Павлов В. П. Сравнительный анализ компонентной базы систем нивелирования дорожно-строительных машин // Проблемы и инновации в области механизации и технологий в строительных и дорожных отраслях. – 2016. – Т. 1, № 3. – С. 58–61.
25. Михайленко Д. Г., Ленивцев А. Г. Современные системы автоматического нивелирования отвала бульдозера // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии : сб. статей / Под ред. М. В. Шувалова, А. А. Пищулева, А. К. Стрелкова. – Самара, 2018. – С. 466–470.

### Об авторах

*Михаил Георгиевич Выстрчил* – кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела.

*Татьяна Игоревна Балтыжакова* – кандидат технических наук, доцент кафедры землеустройства и кадастра.

*Владислав Владимирович Пименов* – участковый маркшейдер.

*Сергей Юрьевич Новоженин* – кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела.

*Анна Андреевна Боголюбова* – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии.

Получено 03.05.2023

© М. Г. Выстрчил, Т. И. Балтыжакова, В. В. Пименов,  
С. Ю. Новоженин, А. А. Боголюбова, 2023

### Methodology for optimizing uncovering operations using the automated positioning system of the bulldozer

*M. G. Vystrchil<sup>1</sup>, T. I. Baltyzhakova<sup>1\*</sup>, V. V. Pimenov<sup>2</sup>, S. Yu. Novozhenin<sup>1</sup>, A. A. Bogoliubova<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> «Magadan Silver», Omsukchan, Russian Federation

\*e-mail: Baltyzhakova\_TI@pers.spmi.ru

**Abstract.** The article discusses the development of methods for assessing mineral losses in the development of alluvial gold deposits as well as the optimization and reduction of their quantity. It is proposed to improve the quality of loss accounting by introducing a system of automated determination of the position of equipment during the development of the deposit. Statistical processing of the experimental data of the bulldozer positioning

accuracy with the use of GNSS systems was carried out in the course of the research. Spatial positioning accuracy of the bulldozer blade was determined and was tested the hypothesis of subjecting the positioning errors to the normal law of distribution. Based on the results obtained a model of potential losses depending on the bulldozer's levelling and the thickness of the «protective jacket» - the unexcavated waste rock left over the expected boundary of the productive layer's roof was derived. Based on the generated model of losses, dependencies were derived to optimize the value of the "protective jacket" from the position of minimizing losses relative to the amount of potential gold losses and additional costs of transportation and flushing of waste rock.

**Keywords:** GNSS systems, mine surveying, alluvial deposits, automatic positioning equipment systems, overburden volume, positioning error, levelling, mineral reserve turnover

## REFERENCES

1. Lebedev Yu. V., Krylov V. G. System analysis of the subsurface use sphere // *Vestnik of SSUGT.* – 2022. – Vol. 27. – № 4, – P. 160-168. – DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-4-160-168.
2. Yurak V.V., Dushin A.V., Mochalova L.A. Vs sustainable development: scenarios for the future // *Journal of Mining Institute.* – 2020. – Vol. 242. – P. 242. – DOI: 0.31897/PMI.2020.2.242.
3. Zaitsev A.Y. Methodological Approach to Substantiation of Capital Investments of Gold Fields Based on Unit Costs // *Journal of Mining Institute.* – 2019. – Vol. 238. – P. 459. – DOI 10.31897/PMI.2019.4.459.
4. Kostromin M.V., Greshilov D.M. Technique, technics and technology of definition, decrease and liquidations in interstep-by-step and interrunning sights at draged to development of looses // *Mining informational and analytical bulletin.* – 2014. – №12. – P. 68-75.
5. Alenichev V.M. Directions for increasing the completeness of resource extraction in the development of placers // *Problems of Subsoil Use.* – 2022. – №4. – P. 87-95. – DOI: 10.25635/2313-1586.2021.04.087.
6. Ligotsky D.N. A review of mining and loading equipment currently used for open pit mining // *Journal of Engineering and Applied Sciences.* – 2019. – T. 14(19). – C. 7154-7158. – DOI 10.36478/jeasci.2019.7154.7158.
7. Argimbaev K.R., Ligotsky D.N., Loginov E.V. Bulldozer-based technology for open pit mining of limestone–dolomite deposits // *Mining informational and analytical bulletin.* – 2020. – Vol. 3. – P. 16-29. – DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-16-29.
8. Snetkov V.I., Tal'Gamer B.L. Appraisal and exploitation of mining and dressing waste at dredge sites // *Journal of Mining Science.* – 2014. – №1. – p. 111-118.
9. Makarov V.A., Samorodskii P.N. Topical issues of assessment and development of technogenic gold deposits // *Gold and Technology.* – 2018. – Vol. 42. – N 4 – P. 82-96.
10. Guzev V.E., Terekhov A.V., Krymsky R.S., Belyatsky B.V., Molchanov A.V. Morozkinskoye gold deposit (southern Yakutia): age and ore sources // *Journal of Mining Institute.* – 2021. – Vol. 252. – P. 801-813.
11. Ivanov V.V., Dzyurich D.O. Justification of the technological scheme parameters for the development of flooded deposits of construction sand // *Journal of Mining Institute.* – 2022. – Vol. 253. – P. 33-40.
12. Sas P.P. Comprehensive evaluation of production gold losses and handling the problem of improving the process of its concentration in the washing device PGS-II-50 // *Problems of Subsoil Use.* – 2014. – №2 (2). – P. 185-189.
13. Popov V.N., Rudenko V.V., Badamsuren H., Davaadorzh C. Management of completeness and quality of gold extraction in alluvial mining // *Mining informational and analytical bulletin.* – 2002. – №5. – P. 62-63.
14. Kantemirov V.D., Titov R.S., Timohin A.V., Jakovlev A.M. Improvement of methods of accounting for increased losses and dilution of minerals during production // *Mining informational and analytical bulletin.* – 2020. – №3-1. – P. 453-464. – DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-453-464.
15. Sharapov G.E. Mine-surveyor support for planning of mineral extraction indicators // *Symposium «Modern Mining: Education, Science, Industry».* – 1996 –P. 117-119.
16. Bagazeev V.K., Valiev N.G., Alenichev M.V. Calculation of technological losses of productive sands in the development of alluvial deposits // *Mining informational and analytical bulletin.* – 2012. – №3. – P. 86-89.
17. Smakovskii V.N., Narskii V.A. High-precision positioning systems in mining // *Recultivation of mined-out space: problems and prospects.* – T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. – 2021. – P. 165-169.
18. Gvozdev O.G. Modern geoinformation technologies: adaptability, customizability, extensibility, functional scalability // *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying.* – 2022. – Vol. 66. – №5. – P. 28-46. – DOI: 10.30533/0536-101X-2022-66-5-28-46.
19. Bragin V.I., Kharitonova M.Y., Matsko N.A. A probabilistic approach to the dynamic cut-off grade assessment // *Journal of Mining Institute.* – 2021. – Vol. 251. – P. 617-625.

20. Vakhrusheva A.A. Positioning technologies in real time // Vestnik of SSUGT. – 2017. – Vol. 22. – N 1. – P. 170-177.
21. Kurlov A.V., Materuhin A.V. Analysis of quality requirements for spatial and temporal data in spatial planning tasks // Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying. – 2022. – Vol. 66. – №4. – P. 59-68. – DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-4-59-68.
22. Pugin K.G., Piramatov U.A. Problems of equipment of domestic engineering systems by positioning systems // News of the Tula state university. Technical sciences. – 2017. – Vol. 2. – №12. – P. 282-289.
23. Novikov A.V., Gusev S.P., Novikova T.E. Assessment of the effectiveness of machine control systems // Vestnik VGAVT. – 2015. – №43. – P. 250-255.
24. Korneev A.A., Pavlov V.P. Comparative analysis of the component database systems leveling road construction machines // Problems and innovation in the mechanization and technologies in the construction and road sector. – 2016. – Vol. 1. – №3. – P. 58-61.
25. Mihailenko D.G., Lenivcev A.G. Modern automatic bulldozer blade leveling systems // Traditions and innovations in construction and architecture. Construction technologies. Conference proceedings. – Samara. – 2018. – P. 466-470.

### Author details

*Mikhail G. Vystrchil* – Ph. D., Associate Professor, Department of Mining Engineering.

*Tatiana I. Baltyzhakova* – Ph. D., Associate Professor, Department of Land Management and Cadastre.

*Vladislav V. Pimenov* – District Surveyor, Magadan Silver JSC.

*Sergei Yu. Novozhenin* – Ph. D., Associate Professor, Department of Mining Engineering.

*Anna A. Bogoliubova* – Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy.

Received 03.05.2023

© *M. G. Vystrchil, T. I. Baltyzhakova, V. V. Pimenov,  
S. Yu. Novozhenin, A. A. Bogoliubova, 2023*