

## О ПРОБЛЕМЕ УЧЕТА ТЕХНОЛОГИИ РАБОТ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

Ю.А. Сильченко<sup>1</sup>, М.С. Плешко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФАУ «Главгосэкспертиза России», Москва, Россия

<sup>2</sup> НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: mixail-stepan@mail.ru

**Аннотация:** Рассмотрен алгоритм решения задачи механики подземных сооружений по определению напряжений в крепи ствола, пройденного по параллельной технологической схеме. В качестве расчетного инструмента использован программный комплекс MIDAS GTS NX, позволяющий реализовать стадийный расчет с учетом истории строительства объекта. Первоначально выделяется начальная стадия расчета. Включаются все элементы разрабатываемого массива и отключаются элементы крепи. Задается режим обнуления вертикальных деформаций модели. Включаются заделки граней, нагрузка от собственного веса и компоненты тектонического поля напряжений. Таким образом, моделируется начальное состояние массива, то есть состояние до начала проходки участка. Далее моделируется поэтапный процесс разработки забоя ствола заходками по 4,0 м и включение элементов временной и постоянной крепи в работу. Анкеры включаются в работу на втором шаге, набрызгбетонная крепь — с отставанием на две заходки, постоянная — с отставанием на семь заходов от забоя. Всего реализуется 22 шага расчета, при этом последний позволяет получить модель с пройденным и закрепленным участком ствола. Оценка корректности результатов выполнена путем сравнения результатов моделирования с аналитическим решением и экспериментальными данными мониторинга ствола. Получена высокая сходимости значений напряжений с аналитическими и экспериментальными данными для передовой набрызгбетонной крепи и с аналитическими данными для основной бетонной крепи. Для формирования окончательных выводов необходимо выполнять мониторинг ствола на протяжении 3—5 лет после завершения строительства.

**Ключевые слова:** ствол, крепь, технология проходки, напряжения, несущая безопасность, метод конечных элементов, теория упругости, мониторинг.

**Для цитирования:** Сильченко Ю.А., Плешко М.С. О проблеме учета технологии работ при определении параметров крепи вертикальных стволов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 11. – С. 96–107. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-96-107.

### Shaft lining design with regard to sinking technology

Yu.A. Silchenko<sup>1</sup>, M.S. Pleshko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Federal Autonomous Institution «Glavgosexpertiza of Russia», Moscow, Russia

<sup>2</sup> National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia,  
e-mail: mixail-stepan@mail.ru

---

**Abstract:** The study considers the algorithm of problem of rock mechanics in underground construction, connected with determination of stresses in shaft lining in case of using the sinking with lining technology. Software system MIDAS GTS NX enables stage-wise computation with regard to history of shaft construction. First, the initial calculation stage includes all elements of rock mass and eliminates all elements of lining. Vertical strains are set zero in the model. Rigid fixation of faces, gravity load and tectonic stresses are included. This is the model of initial condition of rock mass, i.e. the condition before shaft sinking. Then, modeling simulates stage-wise sinking by shaft bottom cuts of 4.0 m and includes all elements of temporary reinforcement and permanent lining in operation. Rock bolts are included at the second step, shotcrete—at a lag of 2 cuts, and permanent lining—at a lag of 7 cuts from the shaft foot. In total, there are 22 calculation steps ended with model of a sunk and supported interval in the shaft. Validity of the results is checked by comparison of the modeling, analytical and field monitoring data. The model stresses agree well with the analytical and experimental data for advanced shotcrete lining and with analytical data for main reinforced concrete support. The final conclusions should be drawn based on the data of shaft monitoring for 3–5 year after completion of construction.

**Key words:** shaft, lining, shaft sinking technology, safety, finite element method, elastic theory, monitoring.

**For citation:** Silchenko Yu. A., Pleshko M. S. Shaft lining design with regard to sinking technology. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(11):96-107. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-96-107.

---

## Введение

Проектирование крепи стволов шахт и рудников на протяженных участках в настоящее время осуществляется в соответствии с указаниями СП 91.13330.2012 «Подземные горные выработки. Актуализированная редакция СНиП II-94-80» (раздел 7.2, приложения Б и В), а также «Руководства по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи» (раздел 3, приложения 8–10, 22).

Окончательная нагрузка на крепь формируется с учетом влияния технологии проходки ствола, типа и параметров самой крепи и особенностей ее взаимодействия с массивом, при этом указанные выше нормативные документы вступают в противоречие друг с другом в части влияния технологии проходческих работ на расчетные нагрузки на крепь.

При определении нагрузок на крепь ствола по СП 91.13330.2012 влияние

технологии работ осуществляется с помощью параметра  $\Delta$ , при подстановке которого величина нагрузок на крепь при совмещенной схеме проходки возрастает на 20,0–30,0 кПа. Это практически не оказывает влияния на принятые расчетом параметры крепи.

В соответствии с выражением 1 Приложения 22 «Руководства по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи» учет технологии работ возможен с помощью корректирующего коэффициента  $\alpha^*$ , учитывающего отставание возведения крепи от обнажения пород. Он позволяет перейти от плоской задачи механики подземных сооружений к многомерному анализу взаимодействия системы «крепь–массив». При большом отставании возведения постоянной крепи от забоя (параллельная схема) нагрузка на крепь с учетом корректирующего коэффициента  $\alpha^*$

уменьшается в несколько раз. Оба нормативных документа при этом не позволяют учесть влияние таких факторов, как наличие временной крепи, предварительную разгрузку массива впереди забоя ствола, реологические свойства, ползучесть пород, тектоническую и геодинамическую активность и др.

Изучению проблемы расчета крепи стволов, анализу напряженно-деформированного состояния системы «крепь – массив» посвящен большой комплекс работ отечественных и зарубежных ученых.

Детальный анализ существующих методов расчета крепи стволов и примеры их применения представлены в фундаментальных трудах И.В. Баклашова [1] и Н.С. Булычева [2]. Подробный обзор зарубежных исследований выполнен в монографии [3].

Сегодня в России активно развиваются экспериментально-аналитические методы расчета крепи стволов. Теоретические основы их применения созданы Д.М. Казикаевым, С.В. Сергеевым [4], И.И. Савиным [5] и в дальнейшем развивались усилиями ученых Тульского государственного университета. В частности, решены задачи расчета крепи стволов в тектоническом поле напряжений [6], многослойной крепи с учетом фактических отклонений поперечных сечений от проектных [7] и др.

В работах Т.Ф. Харисова [8, 9] исследовано влияние совмещенной схемы проходки стволов на процесс загрузки крепи и формирование нагрузок. В основу полученных результатов легли экспериментальные данные по конвергенции пород в призабойной зоне. Для повышения работоспособности крепи предложен способ снижения напряжений с помощью проходки передовой выработки.

Профессор С.В. Сергеев много внимания уделяет экспериментальной оценке несущей способности крепи в пройден-

ных стволах [10], разработке и совершенствованию систем деформационного мониторинга [11].

Сложные научные и технические задачи с применением расчетно-аналитических методов расчета крепи и средств мониторинга приходится решать при обосновании параметров крепи стволов, сооружаемых в породах, отнесенных к IV категории устойчивости по СП 91.13330.2012, в условиях геодинамической активности массива [12 – 14], при большой глубине новых или углубляемых шахтных стволов [15, 16].

Другой тенденцией последнего десятилетия является все более широкое применение для расчета крепи стволов метода конечных элементов. С развитием компьютерной техники и программного обеспечения идет постепенный переход от решения плоских численных моделей к задачам в пространственной постановке, которые позволяют более полно учитывать влияющие факторы, в том числе и технологию работ. Здесь, например, можно отметить работу [17], в которой подробно рассматриваются преимущества трехмерного моделирования стволов, при этом в моделях предлагается использование прочностных свойств материалов крепи, скорректированных с учетом их эксплуатационного износа [18].

Анализ современных зарубежных публикаций показывает, что развитие теоретических основ проектирования и расчета крепи стволов идет по тем же направлениям. Мониторинг и экспериментальная оценка напряженно-деформированного состояния крепи стволов считается необходимым условием обеспечения безопасности строительства при большой глубине стволов и высоких значениях напряжений в горном массиве [19, 20]. Численное моделирование стволов применяется для решения самого широкого класса задач: надежности [21],

устойчивости в различных грунтовых условиях [22], влияния технологии [23] и др.

Современные программные комплексы для геотехнических расчетов, в частности MIDAS GTS NX, сертифицированный на соответствие требованиям СП 91.13330.2012 (Сертификат соответствия Системы сертификации ГОСТ Р № РОСС RA.KR.AБ86.H01082), реализуют стадийность расчетов, что позволяет учесть фактическое развитие проходческих работ по разработке забоя и очередность вступления элементов крепи в работу. В настоящей статье рассмотрен алгоритм решения подобной задачи применительно к проходке вертикального ствола по параллельной технологической схеме. Постоянная крепь возводится с отставанием от забоя, призабойная зона крепится набрызгбетоном и анкерами. Оценка корректности расчета производится путем сравнения полученных результатов с аналитическим решением и экспериментальными данными мониторинга ствола.

### Постановка задачи

Рассмотрим протяженный участок ствола на глубине 2000,0 м, пройденный в доломитах со следующими физико-механическими характеристиками:

- модуль деформации пород  $E = 40\,000$  МПа;
- коэффициент поперечной деформации пород  $\mu = 0,17$ ;
- удельный объемный вес пород  $\gamma = 0,0277$  МН/м<sup>3</sup>;

- расчетное сопротивление пород сжатию с учетом коэффициентов нарушенности и длительной прочности  $R_c = 25,7$  МПа;

- сцепление  $C = 14,0$  МПа;
- угол внутреннего трения  $\varphi = 36^\circ$ .

Участок ствола проходится в тектоническом поле напряжений, количественные параметры которого приведены в табл. 1.

Параметры временной крепи:

1. Сталеполимерная анкерная крепь:

- диаметр штанги  $D = 25$  мм;
- длина анкера  $L = 3,0$  м;
- временное сопротивление анкера на разрыв  $F = 340,0$  кН;
- расчетная несущая способность анкера  $P_c = 166,8$  кН;
- плотность установки анкеров  $N_a = 1$  анк/м<sup>2</sup>;
- коэффициент упрочнения пород согласно п. 4.26 и приложения 14 «Руководства по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи»  $k_{\text{упр}} = 1,7$ .

2. Набрызгбетонная крепь:

- толщина набрызгбетонной крепи  $t_n = 200$  мм;
- класс бетона крепи В25.

Основная монолитная бетонная крепь возводится с отставанием 28,0 м от забоя. Параметры крепи:

- толщина  $t_n = 500$  мм;
- класс бетона В30.

В соответствии с требованиями СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП

Таблица 1

### Параметры тектонического поля напряжений Parameters of tectonic stress field

Глубина $H$ , м	Максимальные горизонтальные напряжения $\sigma_{H,\max}$ , МПа	Минимальные горизонтальные напряжения $\sigma_{h,\min}$ , МПа	Вертикальные напряжения $\sigma_v$ , МПа
2000,0	70,1	47,6	56,0

52-01-2003» приняты следующие расчетные характеристики бетона:

*Бетон класса В25*

Модуль деформации:

$$E_{b,\tau} = \frac{E_b}{1 + \phi_{b,cr}}, \quad (1)$$

где  $E_b = 30\,000$  МПа;  $\phi_{b,cr} = 1,8$ ;  $E_{b,\tau} = 10\,714$  МПа.

Расчетная прочность:

$$R_b = \gamma_{b1} \cdot \gamma_{b2} \cdot \gamma_{b3} \frac{R_{b,n}}{\gamma_b}, \quad (2)$$

где  $R_{b,n} = 18,5$  МПа;  $\gamma_b = 1,3$ ;  $\gamma_{b1} = 0,9$ ;  $\gamma_{b2} = 0,9$ ;  $\gamma_{b3} = 0,85$ ;  $R_b = 9,8$  МПа.

*Бетон класса В30:*

- $E_b = 32\,500$  МПа;  $E_{b,\tau} = 11\,607$  МПа;
- $R_{b,n} = 22,0$  МПа;  $R_b = 11,65$  МПа.

Нанесение набрызгбетона производится после уборки породы заходки и установки анкеров.

Величины напряжений во временной и постоянной крепи расчетного участка ствола определялись тремя методами:

- путем аналитического решения плоской контактной задачи в соответствии с приложением 22 «Руководства по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи»;

- путем натуральных измерений деформаций в крепи с помощью датчиков линейных деформаций в бетоне с дальнейшим пересчетом на напряжения;

- путем стадийного расчета пространственной-конечно-элементной модели ствола в программном комплексе MIDAS GTS NX.

Алгоритм численного моделирования ствола включает в себя следующие основные этапы:

1. Геометрическое моделирование участка ствола. Модель разработана в масштабе 1:1 и имеет призматическую форму. Для исключения влияния граничных условий горизонтальный размер грани принят равным 80,0 м, что составляет более десяти диаметров ствола. Высота модели составляет 60,0 м.

2. Задание свойств пород и материалов. Для пород горного массива принята модель деформирования Мора-Кулона. Для материалов крепи принята упругая модель.

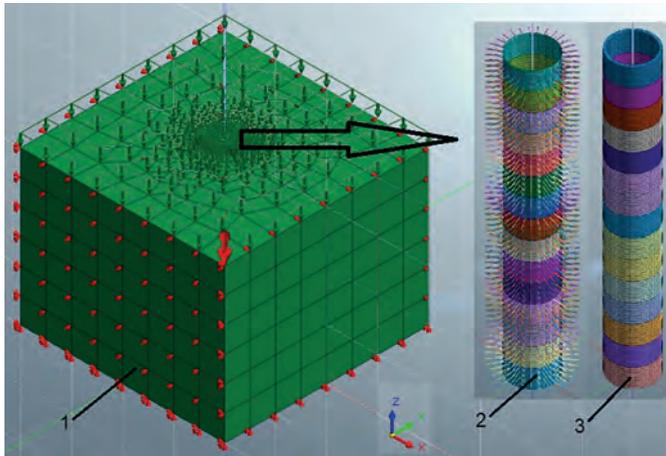


Рис. 1. Конечно-элементная модель ствола: 1 – общий вид; 2 – набрызгбетонная крепь с анкерами; 3 – основная крепь

Fig. 1. Finite element model of shaft: 1 – general view; 2 – rock bolts + shotcrete lining; 3 – permanent lining

3. Выбор типов конечных элементов. Для пород массива и бетонной крепи приняты пространственные изопараметрические шестиузловые и восьмиузловые конечные элементы (трехгранные и четырехгранные призмы с узлами в вершинах конечных элементов). Набрызгбетонная крепь моделируются плоскими конечными элементами в форме оболочки постоянной толщины. Анкерная крепь моделируется стержневыми конечными элементами.

4. Создание конечно-элементной сетки. Густота сетки принимается равной 0,25 м в расчетной области крепи ствола и 5,0 м на внешних гранях модели. Внешний вид модели приведен на рис. 1. На участке ствола протяженностью 60,0 м выделяется пятнадцать заходок по 4,0 м. В пределах каждой заходки создаются конечные элементы разрабатываемых пород, анкеров, набрызгбетонной и основной бетонной крепей.

5. Задание граничных условий. Заданы ограничения перемещений боковых и нижней граней модели по нормали к ним.

6. Задание нагрузок. Для всех элементов модели задан режим учета собственного веса. Дополнительно модель загружается тектоническим полем напряжений в соответствии с данными табл. 1.

7. Формирование стадий расчета. Первоначально выделяется начальная стадия расчета. Включаются все элементы разрабатываемого массива и отключаются элементы крепи. Задается режим обнуления вертикальных деформаций модели после расчета начальной стадии. Включаются заделки граней, нагрузка от собственного веса и компоненты тектонического поля напряжений. Таким образом, моделируется природный массив до начала проходки участка. Далее моделируется поэтапный

Таблица 2

**План стадийного расчета ствола**  
**Stage-wise shaft design algorithm**

Элемент модели	Начальная стадия	Шаг 1	Шаг 2	Шаг 3...	Шаг 7	Шаг 8	Шаг 9...	Шаг 15	Шаг 16	Шаг 17	Шаг 18...	Шаг 22
Вмещающий массив	Вкл											
Заходка по забою	Вкл	Выкл 1	Выкл 2	Выкл 3...	Выкл 7	Выкл 8	Выкл 9...	Выкл 15				
4 ряда анкеров	Выкл		Вкл 1	Вкл 2...	Вкл 6	Вкл 7	Вкл 8...	Вкл 14	Вкл 15			
Заходка набрызгбетона	Выкл			Вкл 1...	Вкл 5	Вкл 6	Вкл 7...	Вкл 13	Вкл 14	Вкл 15		
Заходка основной крепи	Выкл					Вкл 1	Вкл 2...	Вкл 8	Вкл 9	Вкл 10	Вкл 11...	Вкл 15
Заделка	Вкл											
Собственный вес	Вкл											
Поле напряжений	Вкл											

Примечание. В таблице обозначены: Вкл — включаемые группы конечных элементов, Выкл — выключаемые группы; 1–15 — номера групп от верхней к нижней грани модели (по направлению проходки).

процесс разработки забоя ствола заходками по 4,0 м и включение элементов временной и постоянной крепи в работу. Анкеры заходки (4 ряда с принятой плотностью установки) включаются в работу на втором шаге, после выключения конечных элементов второй заходки по забою, набрызгбетонная крепь — с отставанием на две заходки, постоянная — с отставанием на семь заходов. Общий план стадийного расчета из 22-х шагов приведен в табл. 2. Последний шаг позволяет сформировать модель с пройденным и закрепленным участком ствола протяженностью 60,0 м.

8. Расчет и анализ результатов. Стадийный расчет позволяет поэтапно рассмотреть историю строительства объекта. Полученные на начальной стадии напряжения на следующих этапах прикладываются к вступающим в работу элементам крепи в форме контактных напряжений. Вертикальные деформации после расчета начальной стадии обнуляются, так как они реализовались задолго до начала строительства под

действием гравитационных сил. В результате расчета на каждой стадии определяются перемещения узлов модели, усилия и напряжения в стержневых, плоских и объемных конечных элементах. Рассчитываются главные и эквивалентные напряжения, при необходимости определяются размеры зон неупругих деформаций.

### Анализ полученных результатов

На рис. 2 приведены изополя и значения радиальных перемещений модели после реализации выделенных расчетных стадий. Анализ данных показывает, что до возведения постоянной крепи произошла значительная разгрузка массива, деформирующегося совместно с анкерной и передовой набрызгбетонной крепью.

В соответствии с рекомендациями [1, 2] оценка несущей способности крепи стволов может осуществляться по значениям максимальных тангенциальных напряжений. Изополя и значения этих напряжений в основной крепи ство-

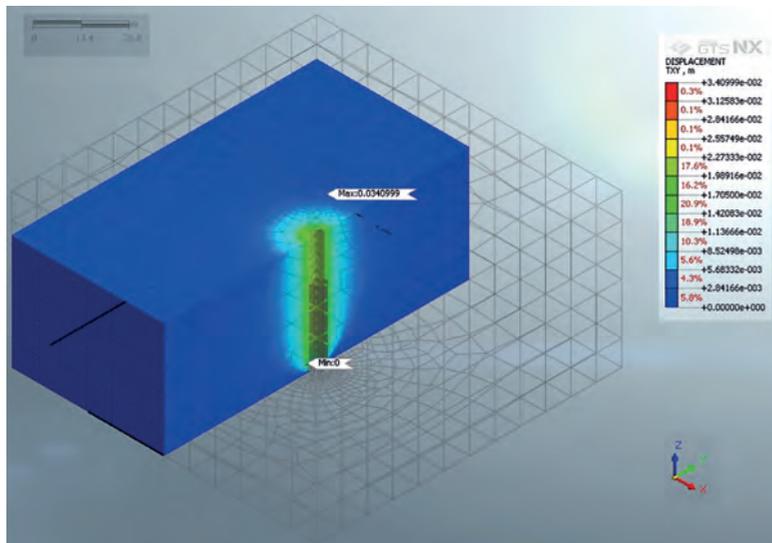


Рис. 2. Изополя и значения радиальных перемещений модели после реализации выделенных расчетных стадий

Fig. 2. Isofield and values of radial displacements in the model after implementation of computation stages

ла приведены на рис. 3. Максимальные значения напряжений характерны для внутреннего контура крепи ствола и незначительно уменьшаются к внешнему контуру.

В табл. 3 приведены значения напряжений, полученные тремя описанными выше методами.

Полученные результаты показывают очень высокую сходимость значений для передовой набрызгбетонной крепи, которая приняла на себя основную нагрузку от горного давления, обусловленную разгрузкой массива в призабойной зоне.

Более высокие значения напряжений, определенных экспериментально, можно объяснить следующими причинами:

а) превышением фактических размеров сечения ствола по отношению к проектным;

б) увеличением фактического срока взаимодействия временной крепи с породным массивом до возведения основной крепи из-за простоев проходческих работ;

г) более высоким значением фактической прочности набрызгбетона и дополнительной установкой металлической сетки, что привело к формированию жесткой конструкции передовой крепи, которая активнее препятствовала процессу смещения стенок ствола, и соответственно нагружалась.

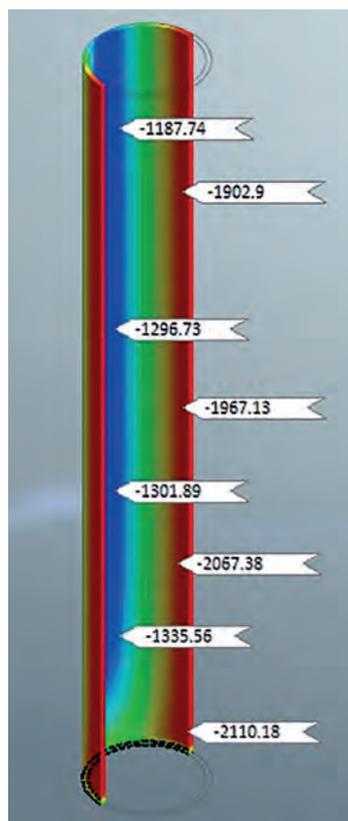


Рис. 3. Изополя и значения нормальных тангенциальных напряжений,  $\text{kN/m}^2$  в основной крепи ствола

Fig. 3. Isofield and values of normal tangential stresses,  $\text{kN/m}^2$ , in permanent shaft lining

В основной крепи экспериментальными измерениями зафиксирован незначительный уровень напряжений. Это свидетельствует об эффективности при-

Таблица 3

**Результаты определения величин тангенциальных напряжений различными методами**

**Tangential stresses determined by different methods**

№	Метод определения	Максимальные напряжения, МПа	
		в передовой набрызгбетонной крепи	в основной бетонной крепи
1	Аналитический	18,86	3,71
2	Экспериментальный	20,51	0,38
3	Стадийный расчет	19,45	2,11

менения в данных горно-геологических условиях параллельной технологической схемы проходки ствола, обеспечивающей предварительную разгрузку массива.

В то же время в дальнейшем следует ожидать развития процесса постепенного нагружения основной крепи. На первой стадии деформирования часть нагрузок могло компенсироваться из-за смыкания трещин в околоствольном массиве. На следующей стадии, когда возможности деформирования по трещинам исчерпаны, нагрузку воспринимают в основном естественные отдельности и передают ее на сформированную жесткую двухслойную крепь. В этом случае можно ожидать лучшей сходимости экспериментальных и расчетных данных для основной крепи.

### **Заключение**

Рассмотренный пример свидетельствует о корректности применения стадийного расчета методом конечных элементов для решения задач оценки нап-

ряженного состояния крепи стволов, пройденных по параллельной технологической схеме. Получена высокая сходимость результатов с аналитическими и экспериментальными данными для передовой набрызгбетонной крепи и с аналитическими данными для основной бетонной крепи. Для формирования окончательных выводов необходимо выполнять мониторинг ствола на протяжении 3–5 лет после завершения строительства.

Основной областью применения рассмотренного выше алгоритма моделирования являются участки стволов в неоднородных породах, в зонах влияния приствольных выработок, где возможности применения аналитических методов и задач в плоской постановке ограничены. Для обычных участков стволов целесообразно внедрение практики расчетов и сравнения полученных результатов с помощью различных методик, что позволит принять более обоснованные решения по конструкциям крепи стволов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Баклашов И. В.* Геомеханика: Учебник для вузов. В 2 т. Т. 1. Основы геомеханики. — М.: Изд-во МГГУ, 2004. — 208 с.
2. *Булычев Н. С.* — Механика подземных сооружений в примерах и задачах. — М.: Недра, 1989. — 272 с.
3. *Erdoğan Güler A* methodology for lining design of circular mine shafts in different rock masses. 2013. 72 p. <http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12615662/index.pdf>.
4. *Казикаев Д. М., Сергеев С. В.* Диагностика и мониторинг напряженного состояния крепи вертикальных стволов. — М.: Изд-во «Горная книга», 2011. — 244 с.
5. *Савин И. И., Свиридкин В. А., Лукашин С. Б.* Метод обработки результатов измерения разнотипных компонентов напряженно-деформированного состояния крепи горных выработок // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2012. — № 1. — С. 171–177.
6. *Саммаль А. С., Сергеев С. В., Анциферов С. В., Деев П. В.* Определение области применения бетонной крепи стволов в зонах тектонических нарушений // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2018. — № 4. — С. 317–326.
7. *Анциферов С. В., Саммаль А. С., Деев П. В.* Оценка напряженно-деформированного состояния многослойной крепи вертикального ствола с учетом отклонений форм поперечных сечений от проектных // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2017. — Т. 4. — № 2. — С. 19–25.

8. Харисов Т.Ф., Антонов В.А. Обеспечение устойчивости крепи в процессе строительства вертикальных стволов // Проблемы недропользования. – 2014. – № 1 (1). – С. 65 – 69.

9. Харисов Т.Ф. Предотвращение нарушений крепи стволов при строительстве по совмещенной технологической схеме // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2018. – № 4. – С. 264 – 274.

10. Сергеев С.В., Воробьев Е.Д., Фролов Н.В. Обследование ствола шахты, эксплуатируемого в сложных инженерно-геологических условиях // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 2. – С. 63 – 67.

11. Сергеев С.В., Воробьев Е.Д. Информационно-измерительная система мониторинга напряженно-деформированного состояния несущих строительных конструкций и элементов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2017. – № 25 (274). – С. 116 – 122.

12. Масленников С.А. К вопросу о проектировании крепи вертикальных стволов в сложных горногеологических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 6. – С. 50 – 55.

13. Сентябов С.В. Мониторинг напряженно-деформированного состояния бетонной крепи стволов на Гайском месторождении // Проблемы недропользования. – 2017. – № 2(13). – С. 119 – 126.

14. Сентябов С.В. Исследование и прогноз изменения напряженно-деформированного состояния крепи шахтных стволов на Гайском руднике // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 10. – С. 79 – 85. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-79-85.

15. Насонов А.А. Эффективные геотехнологии сооружения сверхглубоких вертикальных стволов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 1. – С. 26 – 33. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-26-33.

16. Прокопов А.Ю., Прокопова М.В., Ткачева К.Э. Обоснование параметров блочной крепи зумпфов углубляемых вертикальных стволов // Научное обозрение. – 2014. – № 11 – 3. – С. 768 – 772.

17. Иголка Д.А. Возможности использования трехмерного моделирования методом конечных элементов при проектировании вертикальных шахтных стволов // Горная механика и машиностроение. – 2012. – № 1. – С. 40 – 46.

18. Кологривко А.А., Иголка Д.А., Лукша Е.М. Исследование материалов крепи шахтных стволов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F: Строительство. Прикладные науки. – 2016. – № 8. – С. 38 – 42.

19. Walton G., Kim E., Sinha S., Sturgis G., Berberick D. Investigation of shaft stability and anisotropic deformation in a deep shaft in Idaho, United States // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2018. Vol. 105. Pp. 160 – 171. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2018.03.017.

20. Zhou Y.-C., Liu J.-H., Huang S., Yang H.-T., Ji H.-G. Performance change of shaft lining concrete under simulated coastal ultra-deep mine environments // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 230. Article 116909. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116909.

21. Jendryś M. Analysis of stress state in mine shaft lining, taking into account superficial defects // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 261. Article 012016. DOI: 10.1088/1755-1315/261/1/012016.

22. Xiaoming Sun, Gan Li, Chengwei Zhao, Yangyang Liu, Chengyu Miao Investigation of deep mine shaft stability in alternating hard and soft rock strata using three-dimensional numerical modeling // Processes. 2018. Vol. 7. No 1. DOI: 10.3390/pr7010002.

23. Qing Yu, Kexin Yin, Jinrong Ma, Hideki Shimada Vertical shaft support improvement studies by strata grouting at aquifer zone // Advances in Civil Engineering. 2018. Vol. 7, Article 5365987. DOI: 10.1155/2018/5365987. 

## REFERENCES

1. Baklashov I. V. *Geomekhanika: Uchebnik dlya vuzov. V 2 t. T. 1.* [Geomechanics: University textbook. In 2 vols. Vol. 1. ], Moscow, Izd-vo MGGU, 2004, 208 p.
2. Bulychev N. S. *Mekhanika podzemnykh sooruzheniy v primerakh i zadachakh* [Mechanics of underground structures in problems and examples], Moscow, Nedra, 1989, 272 p.
3. Erdoğan Güler *A methodology for lining design of circular mine shafts in different rock masses.* 2013. 72 p. available at: <http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12615662/index.pdf>.
4. Kazikaev D. M., Sergeev S. V. *Diagnostika i monitoring napryazhennogo sostoyaniya krepki vertikal'nykh stvolov* [Stress diagnostics and monitoring in vertical shaft lining], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2011, 244 p.
5. Savin I. I., Sviridkin V. A., Lukashin S. B. Methods of processing measurement data on different-type stresses and strains in mine support. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle.* 2012, no 1, pp. 171 – 177. [In Russ].
6. Sammal' A. S., Sergeev S. V., Antsiferov S. V., Deev P. V. Determination of application domain for concrete lining of shafts in fault zones. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle.* 2018, no 4, pp. 317 – 326. [In Russ].
7. Antsiferov S. V., Sammal' A. S., Deev P. V. Stress–strain analysis of multi-layer lining of vertical shafts with regard to design deviations of cross-section forms. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk.* 2017. Vol. 4, no 2, pp. 19 – 25. [In Russ].
8. Kharisov T. F., Antonov V. A. Lining stability during vertical shaft construction. *Problemy nedropol'zovaniya.* 2014, no 1 (1), pp. 65 – 69. [In Russ].
9. Kharisov T. F. Damage prevention in shaft lining in the sinking with lining technology of shaft construction. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle.* 2018, no 4, pp. 264 – 274. [In Russ].
10. Sergeev S. V., Vorob'ev E. D., Frolov N. V. Inspection of mine shaft in operation in complicated engineering geologic conditions. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova.* 2017, no 2, pp. 63 – 67. [In Russ].
11. Sergeev S. V., Vorob'ev E. D. Information and measurement system of stress–strain monitoring in load-bearing structures and elements. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki.* 2017, no 25 (274), pp. 116 – 122. [In Russ].
12. Maslennikov S. A. Lining design for vertical shafts in difficult geological conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no 6, pp. 50 – 55. [In Russ].
13. Sentyabov S. V. Stress–strain monitoring of concrete lining of shafts in the Gay field. *Problemy nedropol'zovaniya.* 2017, no 2(13), pp. 119 – 126. [In Russ].
14. Sentyabov S. V. Analysis and prediction of change in stress state of shaft lining in Gaisky Mine. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no 10, pp. 79 – 85. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-79-85.
15. Nasonov A. A. Effective geotechnology sinking ultra-deep vertical shafts. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no 1, pp. 26 – 33. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-26-33.
16. Prokopov A. Yu., Prokopova M. V., Tkacheva K. E. Justification of block support for sumps of shafts under deeper sinking. *Nauchnoe obozrenie.* 2014, no 11 – 3, pp. 768 – 772. [In Russ].
17. Igolka D. A. 3D finite element modeling capabilities in mine shaft design. *Gornaya mekhanika i mashinostroenie.* 2012, no 1, pp. 40 – 46. [In Russ].
18. Kologrivko A. A., Igolka D. A., Luksha E. M. Analysis of shaft lining materials. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F: Stroitel'stvo. Prikladnye nauki.* 2016, no 8, pp. 38 – 42. [In Russ].
19. Walton G., Kim E., Sinha S., Sturgis G., Berberick D. Investigation of shaft stability and anisotropic deformation in a deep shaft in Idaho, United States. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.* 2018. Vol. 105. Pp. 160 – 171. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2018.03.017.

20. Zhou Y.-C., Liu J.-H., Huang S., Yang H.-T., Ji H.-G. Performance change of shaft lining concrete under simulated coastal ultra-deep mine environments. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 230. Article 116909. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116909.

21. Jendryś M. Analysis of stress state in mine shaft lining, taking into account superficial defects. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 261. Article 012016. DOI: 10.1088/1755-1315/261/1/012016.

22. Xiaoming Sun, Gan Li, Chengwei Zhao, Yangyang Liu, Chengyu Miao Investigation of deep mine shaft stability in alternating hard and soft rock strata using three-dimensional numerical modeling. *Processes*. 2018. Vol. 7. No 1. DOI: 10.3390/pr7010002.

23. Qing Yu, Kexin Yin, Jinrong Ma, Hideki Shimada Vertical shaft support improvement studies by strata grouting at aquifer zone. *Advances in Civil Engineering*. 2018. Vol. 7, Article 5365987. DOI: 10.1155/2018/5365987.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Сильченко Юрий Александрович* – канд. техн. наук, заместитель начальника Отдела экспертизы промышленной, ядерной и радиационной безопасности, ФАУ «Главгосэкспертиза России», e-mail: [yu.silchenko@gge.ru](mailto:yu.silchenko@gge.ru)

*Плешко Михаил Степанович* – д-р техн. наук, доцент, профессор, e-mail: [mixail-stepan@mail.ru](mailto:mixail-stepan@mail.ru), НИТУ «МИСиС».

**Для контактов:** Плешко М.С., e-mail: [mixail-stepan@mail.ru](mailto:mixail-stepan@mail.ru).

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Yu.A. Silchenko*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of Department of Industrial, Nuclear and Radiation Safety Expertise, Federal Autonomous Institution «Glavgosexpertiza of Russia», 119049, Moscow, Russia,

*M.S. Pleshko*, Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Professor, National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: [mixail-stepan@mail.ru](mailto:mixail-stepan@mail.ru).

**Corresponding author:** M.S. Pleshko, e-mail: [mixail-stepan@mail.ru](mailto:mixail-stepan@mail.ru).

Получена редакцией 03.04.2020; получена после рецензии 12.05.2020; принята к печати 10.10.2020.

Received by the editors 03.04.2020; received after the review 12.05.2020; accepted for printing 10.10.2020.



---

### ОТ РЕДАКЦИИ

---

В Горном информационно-аналитическом бюллетене № 7, 2020 в статье авторов Шиббаева И. А., Винникова В. А., Степанова Г. Д. «Определение упругих свойств осадочных горных пород на примере образцов известняка с помощью лазерной ультразвуковой диагностики» на с. 125, 126 допущены технические ошибки:

№ стр.	Опубликовано	Должно быть
125	<b>Благодарность:</b> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-31-27001.	<b>Благодарность:</b> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90063.
126	<b>Acknowledgements:</b> The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Project No. 19-31-27001.	<b>Acknowledgements:</b> The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Project No. 19-35-90063.