

УДК 622.833.5

**Сентябов Сергей Васильевич**

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник,  
лаборатория геодинамики и горного давления,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58  
e-mail: [sentyabov1989@mail.ru](mailto:sentyabov1989@mail.ru)

**Карамнов Дмитрий Викторович**

младший научный сотрудник,  
лаборатория геодинамики и горного давления,  
Институт горного дела УрО РАН,  
e-mail: [MarlouBT2011@yandex.ru](mailto:MarlouBT2011@yandex.ru)

**МОНИТОРИНГ  
ПАРАМЕТРОВ СМЕЩЕНИЯ  
ОСИ СТВОЛА ШАХТЫ “КЛЕТЕВАЯ”  
НА ВЫРАБОТАННОЕ ПРОСТРАНСТВО  
ДО ГЛУБИНЫ –1390 МЕТРОВ\****Аннотация:*

Целью данной работы является обеспечение безопасной работы шахтных стволов и капитальных горных выработок в условиях интенсивной отработки Гайского подземного рудника и снижение риска геодинамических явлений при ведении горных работ, что не осуществимо без ведения мониторинга напряженного состояния месторождения, информационного обеспечения недропользователей при геологическом изучении и разработке месторождения полезного ископаемого. Инженерные решения всегда убеждают нас, что главное - безопасность. Эта статья является этапом в решении актуальной задачи, решение которой, по мнению авторов, заключается в разработке метода оценки и прогнозирования изменения состояния главных вскрывающих выработок месторождения в период эксплуатации.

Дифференциация опасности и степени воздействия природных и техногенных изменений напряженно-деформированного состояния на объекты недропользования определяется положением объекта относительно граничных зон неоднородных структур, в которых величины напряжений и деформаций превышают внутриблочные значения и могут вызвать нарушение объекта.

Напряженное состояние бетонной крепи шахтных стволов формируется как функция конструктивных параметров ствола, полного тензора напряжений, включающего в себя гравитационно-тектонические и переменные во времени напряжения, действующие в массиве горных пород на момент начала исследования, с учетом физико-механических свойств породного массива, модуля упругости бетона, который зависит от скорости усадки и дополнительных напряжений, вызванных последующим изменением поля напряжений, обусловленных вне зоны влияния горных работ циклическим изменением природных напряжений, а в зоне влияния выработанного пространства – изменением вторичного поля напряжений.

На основе прямых инструментальных измерений линейных параметров на подземном руднике Гайского ГОКа были выявлены закономерности формирования отклонения оси ствола шахты «Клетевая» в сторону выработанного пространства.

Для проведения мониторинга была создана методика инструментального измерения отклонения ствола шахты на различных глубинах.

DOI: 10.25635/2313-1586.2022.04.063

**Sentyabov Sergey V.**

Candidate of Technical Sciences,  
Senior Researcher,  
Laboratory of geodynamics and mining pressure,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,  
620075 Ekaterinburg, 58 Mamina-Sibiryaka Str.  
e-mail: [sentyabov1989@mail.ru](mailto:sentyabov1989@mail.ru)

**Karamnov Dmitry V.**

Junior Researcher,  
Laboratory of geodynamics and mining pressure,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS  
e-mail: [MarlouBT2011@yandex.ru](mailto:MarlouBT2011@yandex.ru)

**MONITORING OF DISPLACEMENT  
PARAMETERS OF THE AXIS  
OF THE KLETEVAYA MINE  
ON THE MINED SPACE  
TO A DEPTH OF -1390 METERS***Abstract:*

The purpose of this work is to ensure the safe operation of mineshafts and permanent mine workings in the conditions of intensive development of the Gaisky underground mine. This work is aimed at reducing the risk of geodynamic phenomena during mining, which is impossible without monitoring the stress state of the deposit, providing information to subsoil users during geological exploration and development of a mineral deposit. Engineering solutions always convince us that the main thing is safety. This article is a stage in solving this urgent problem, the solution of which, according to the authors' opinion, is to develop a method for assessing and predicting changes in the state of the main opening workings of the field during the operation period.

Differentiation of the danger and the degree of impact of natural and man-made changes in the stress-strain state on the objects of subsoil use is determined by the position of the object relative to the boundary zones of heterogeneous structures, in which the stresses and strains exceed the intra-block values and can cause a violation of the object. The stress state of the concrete lining of mine shafts is formed as a function of the design parameters of the shaft, the full stress tensor, which includes gravitational-tectonic and time-variable stresses acting in the rock mass at the time of the start of research, taking into account the physical and mechanical properties of the rock mass, the modulus of the concrete elasticity, which depends on the rate of withdrawal and additional stresses, caused by a subsequent change in the stress field, caused outside the zone of influence of mining operations by a cyclic change in natural stresses, and in the zone of influence of the goaf – by a change in the secondary stress field.

On the basis of direct instrumental measurements of linear parameters at the underground mine of the Gaisky GOK, we revealed the regularities in the formation of the deviation of the axis of the Kletevaya mine shaft towards the mined-out area.

To carry out monitoring, we developed a method of instrumental measurement of the deviation of the mineshaft at various depths.

\* Исследования выполнены в рамках Госзадания №075-00412-22 ПП, тема № (FUWE-2022-0003), рег. №1021062010536-3-1.5.1.

*Ключевые слова:* бетонная крепь стволов, напряженно-деформированное состояние, наблюдательная станция, устойчивость, вертикальные деформации, мониторинг, инструментальные измерения.

*Key words:* concrete shaft support, stress-strain state, observation station, stability, vertical deformations, monitoring, instrumental measurements.

### *Введение*

Обеспечение безопасной работы шахтных стволов и капитальных горных выработок в условиях интенсивной отработки Гайского подземного рудника является целью проведенных исследований. В связи с увеличением глубины разработки месторождения усложняются горно-геологические условия ведения работ, что может привести к снижению объема производства.

В геомеханике одним из основных направлений исследований является изучение напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород. В соответствии с законом Гука напряжения при упругой деформации тела пропорциональны его относительной деформации, и именно с них начинается процесс изучения состояния массива.

Аварийные ситуации на сооружениях, возведенных в массиве горных пород, связаны с изменением его НДС, имеющего переменную величину в результате объемного и равномерного периодического расширения и сжатия Земли. В соответствии с физическим законом о том, что природное напряженное состояние земной коры формируется в результате наложения полей напряжений, обусловленных гравитационными и тектоническими силами Земли, а также переменными силами, оно представлено нормальными компонентами тензора напряжений [1, 2].

Аварийные ситуации, приводящие к разрушению сооружений, возведенных в массиве горных пород, связаны с изменением его НДС, имеющего переменную величину в результате равномерного периодического изменения в массиве горных пород.

С 2013 г. на Гайском подземном руднике ведется мониторинг НДС крепи стволов.

На первых этапах исследований на месторождении были определены изменения напряжений, действующих в крепи ствола шахты «Клетевая». Измерения проводились на базах различной длины и различных горизонтах.

В местах установки станций были произведены измерения действующих напряжений методом щелевой разгрузки. Впоследствии на этих базах производятся измерения изменения НДС во времени с периодичностью раз в три месяца.

Станции установлены в ходовом отделении ствола шахты «Клетевая», на отметках -830, -910, -990, -1070 и -1390 м [3, 4].

### *Анализ периодов строительства стволов*

Дифференциация опасности и степени воздействия природных и техногенных изменений НДС на объекты недропользования определяется положением объекта относительно граничных зон неоднородных структур, в которых величины напряжений и деформаций превышают внутриблочные значения и могут вызвать нарушение объекта [5, 6].

Предложенный метод контроля предполагает определение величины отклонения ствола от вертикальной оси, вызванного теоретически возможным смещением массива горных пород в сторону выработанного пространства карьера. Определение параметров смещения оси ствола шахты «Клетевая» на выработанное пространство карьера и подземного рудника является сложной многоэтапной задачей, в ходе решения которой следует учитывать множество факторов:

- этапы проходки ствола (рис. 1);
- этапы разработки карьера;
- этапы отработки камер подземного рудника;
- изменение параметров НДС массива горных пород в результате формирования выработанного пространства;

- изменение параметров НДС массива горных пород в результате влияния факторов, связанных с циклическим изменением напряжений, действующих в массиве.

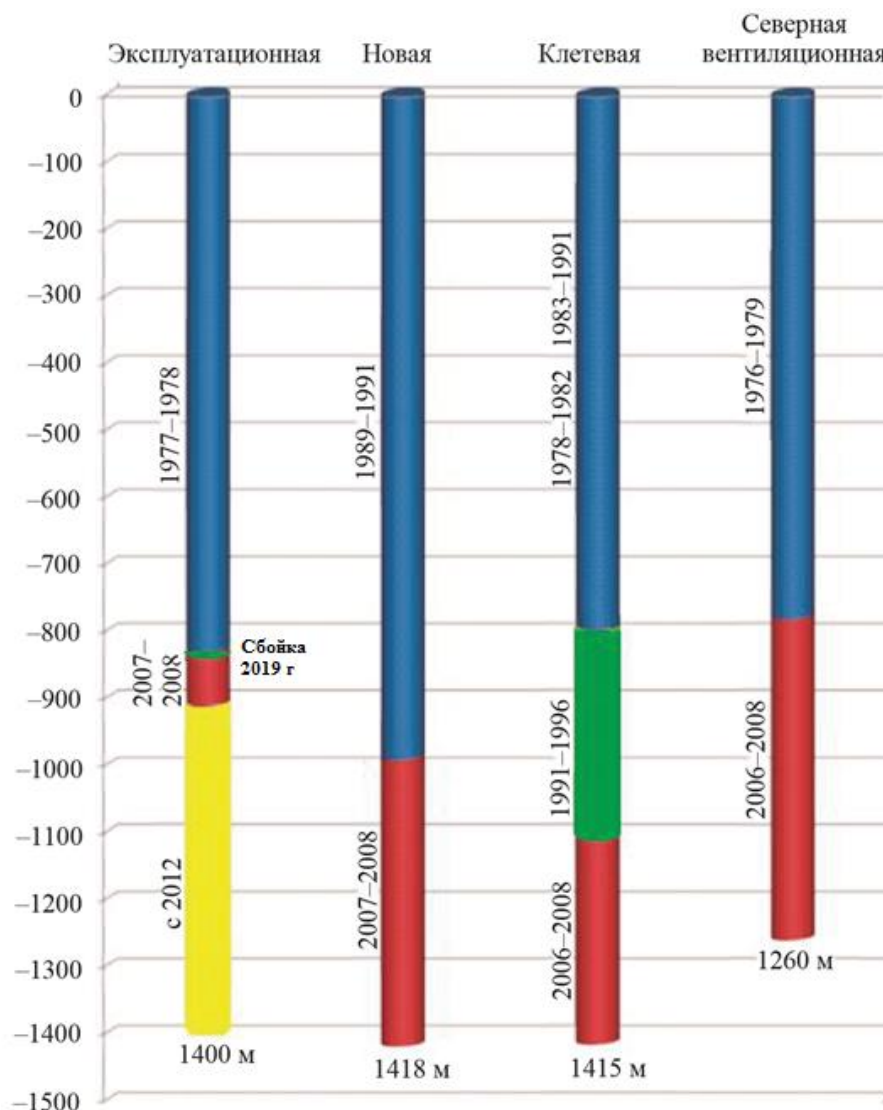


Рис. 1. Схема проходки стволов подземного рудника по годам

В процессе ведения техногенной деятельности, строительства подземных горных выработок или выемки рудного тела к природным напряжениям в массиве добавляются техногенные геомеханические движения, сопровождающиеся нарушением естественного и формированием вторичного НДС. При разработке месторождения и образовании выработанного пространства большого объема (камеры) в массиве горных пород формируются две обширные области деформирования: внутренняя и внешняя. Внутренняя зона формируется в результате перераспределения напряжений вокруг техногенной области возмущения под действием уравновешенной системы сил, образуя в породном массиве зону деформирования, где нарушается первичная структура массива. Массив деформируется, происходят подвижки отдельных породных блоков и смещение породных стенок строящихся подземных горных выработок. Геометрические параметры внутренней зоны деформирования определяются размерами и морфологией обрабатываемых рудных тел и глубиной их залегания, а также физико-механическими свойствами вмещающих пород, структурными особенностями породного массива и его НДС. Согласно классическим положениям теории упругости, внутреннюю зону деформирования следует рассматривать также и как область формирования вторичного НДС под действием уравновешенной системы сил, вызванных образованием выработанного пространства от

подземных разработок или карьера, а также зоны обрушения. В соответствии с принципом Сен-Венана эта область носит локальный характер, и размеры ее распространения в породном массиве составляют от 2,5 до 3 радиусов возмущающей техногенной полости.

Отклонение оси ствола можно объяснить следующим:

- До отметки -510 м ствол пройден в 1959 – 1961 гг., когда ни карьера, ни подземных выработок еще не было.

- Углубка с отметки -510 м до гор. -830 м проводилась в 1969 – 1970 гг., в период, когда велись очистные работы в карьере и под землей. Смещение оси ствола в этот период происходило в рамках факторов изменения параметров НДС как реакции на формирование выработанного пространства, при действии в массиве суммы гравитационных  $\gamma H$  и тектонических  $\sigma_T$  напряжений. У поверхности, где  $\gamma H=0$ , смещение было меньше, чем на глубине.

Выработанное пространство на руднике сформировалось до гор. -830 м. В результате смещение оси ствола в интервале -750÷-830 м было минимальным, а в интервале -510÷-440 м смещение возросло, однако ближе к поверхности оно должно было стать меньше, что было подтверждено в ходе эксперимента.

Существующие расхождения между сериями наблюдений могут быть вызваны как происходящими деформационными процессами, так и недостатками методики наблюдения. Дальнейшее совершенствование методики наблюдений и накопление данных позволит уточнить положение оси ствола.

На рудниках повсеместно наблюдаются узел сочленения шахтных стволов и выработанного пространства, включающего карьер и зону обрушения от подземных горных работ. На Гайском ГОКе в результате полувековой деятельности все 8 стволов оказались на расстоянии от 140 до 480 м (в среднем 200 м) от борта карьера № 1 и возможной зоны обрушения от подземных горных работ диаметром 1400 м (рис. 2).

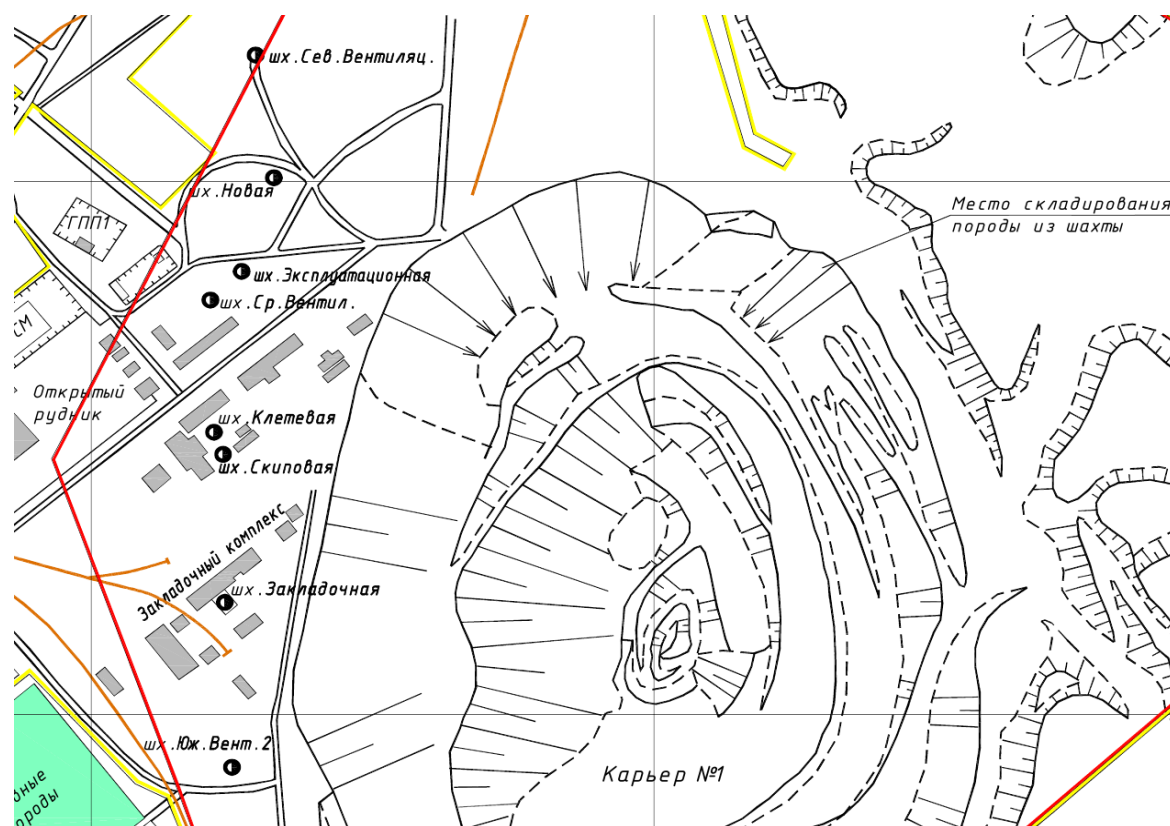


Рис. 2. План промышленной площадки

Измерения проводились по разработанной в ИГД УрО РАН методике, еще не сертифицированной на данный момент. Для подтверждения полученных результатов необходимо привлечь специализированную организацию, владеющую сертифицированной методикой измерения. Это сравнение позволит провести сертификацию нашей методики как более технологически простой и экономически эффективный способ.

*Методика экспериментального измерения отклонения оси ствола*

При измерении отклонения оси ствола с использованием консоли и высокоточного тахеометра Sokkia NET 1200 суммарное отклонение оси ствола по данным наблюдения получено 226 мм (сторона АВ, представленная на рис. 3).

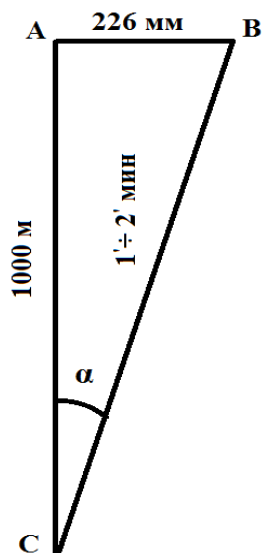


Рис. 3. Расчетная схема отклонения оси ствола шахты «Клетевая»

Следовательно, для получения такой величины отклонения оси ствола на глубину 1000 м (сторона АС, представленная на рис. 4) угол  $\alpha$  должен составлять  $1' \pm 2'$  мин. Для подтверждения этого явления лабораторией геодинамики и горного давления Института горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН) был изготовлен экспериментальный измерительный прибор, составными частями которого является индикатор часового типа ИЧ-10 (рис. 5) с точностью (цена деления) 0,01 мм и высокоточного брускового уровня (рис. 6) с точностью (цена деления) 0,02 мм/м, закрепленного на специально изготовленной раме из высокопрочного материала углепластик (карбон), обладающий минимальным коэффициентом линейного расширения и относительно высокой прочностью на изгиб (рис. 7).



Рис. 4. Индикатор часового типа ИЧ-10



Индикатор часового типа предназначен для измерения линейных размеров абсолютным и относительным методами определения величины отклонений от заданной геометрической формы и взаимного расположения поверхностей. Индикатор крепится либо за присоединительную гильзу, либо за ушко толщиной 5 мм с присоединительным отверстием диаметром 5 мм, он соответствует требованиям ГОСТ 577-68, ТУ 3942-014-81515140-2014 и ТУ 3942-027-81515140-2016. Далее под погрешностью индикаторов и нутромеров понимается алгебраическая разность ординат самой высокой и самой низкой точек кривой погрешности индикатора в пределах определенного участка.

Уровень брусковый по гост 9392-89 предназначен для контроля горизонтального расположения плоских и цилиндрических поверхностей.



Рис. 5. Уровень брусковый Микрон 200 мм 0,02 мм/м

Брусковый уровень (200 мм, 0,10 мм/м) ЧИЗ 205022 представляет собой удобный инструмент, при помощи которого можно определять отклонение от горизонтали и вертикали. Оборудование оснащено одним глазком. Поверхности обработаны для лучшего результата измерений и меньшей погрешности.



Рис. 6. Экспериментальный измерительный прибор отклонения оси ствола ЭИП – 1

Предложенная методика определения наклона оси ствола при использовании лазерного дальномера как отвеса позволила получить хорошие результаты, но в ней есть один недостаток. Для ее применения необходимо в шахтном стволе иметь ходовое отделение.

Для измерения отклонения оси стволов по положению проводников при перемещении на клетки или на скипах было разработано оборудование, где в качестве измерителя применен высокоточный уровень (см. рис. 7).

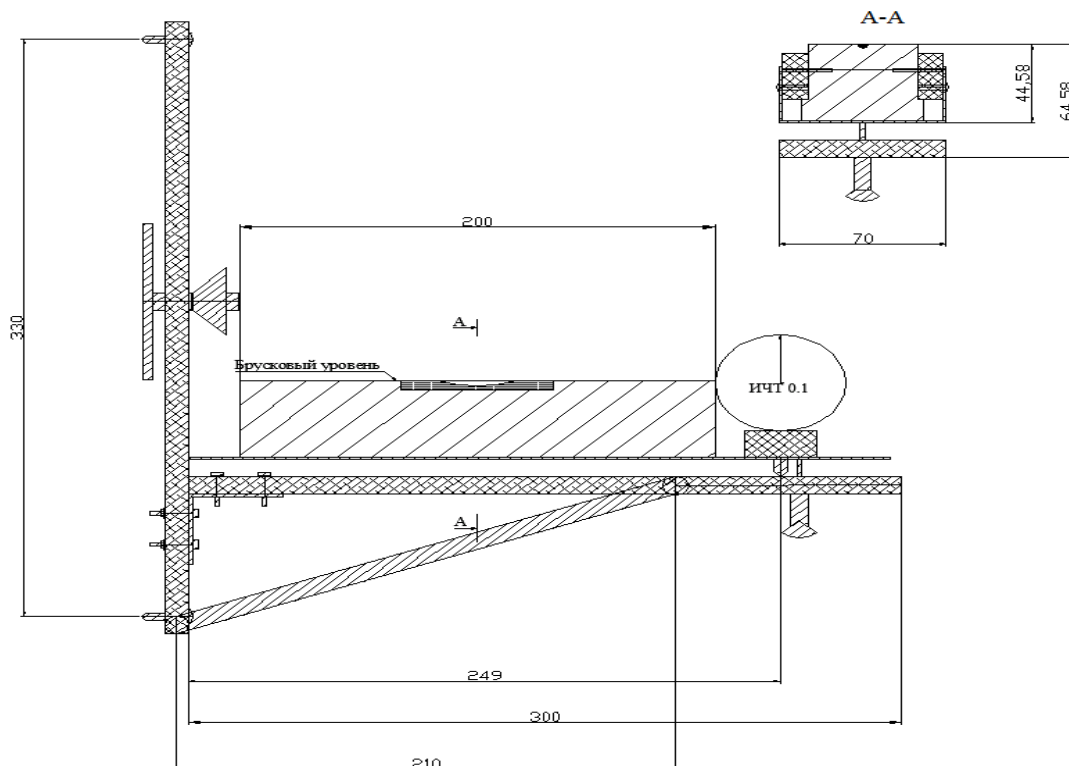


Рис. 7. Схема экспериментального измерительного прибора отклонения оси ствола ЭИП – 1

Проведенный эксперимент также показал отклонение оси ствола в сторону выработанного пространства. При дальнейшем повторном эксперименте с данным прибором будет подтверждено в количественных единицах отклонение оси ствола.

Существующие расхождения между сериями наблюдений могут быть вызваны как происходящими деформационными процессами, так и недостатками методики наблюдения. Дальнейшее совершенствование методики наблюдений и накопление данных позволит уточнить положение оси ствола [7, 8, 9].

*Результаты мониторинга смещения параметров оси ствола шахты «Клетевая» и массива горных пород на Гайском месторождении*

Использование полученных зависимостей позволяет спрогнозировать действие природных и техногенных напряжений в массиве горных пород, а также степень их влияния на объекты недропользования. Исходя из представленных данных, следует отметить, что наклон оси в сторону выработанного пространства подтвержден как данными инструментальных наблюдений, так и результатами численного моделирования. На рис. 8 представлены результаты шести серий наблюдений по определению положения оси ствола шахты «Клетевая».

В результате проведенных исследований подтвердился общий тренд отклонения оси ствола (рис. 9). По уточненным данным суммарный наклон оси в сторону выработанного пространства составил по оси «У» 240 мм при допустимом отклонении оси ствола 198 мм с глубины -990 м. Следует отметить, что дополнительно на напряженное состояние массива горных пород влияние оказывают подрабатываемые карьерные выработки, которые могут как увеличивать, так и уменьшать природные напряжения в зависимости от конкретных горнотехнических условий выемки рудных тел.

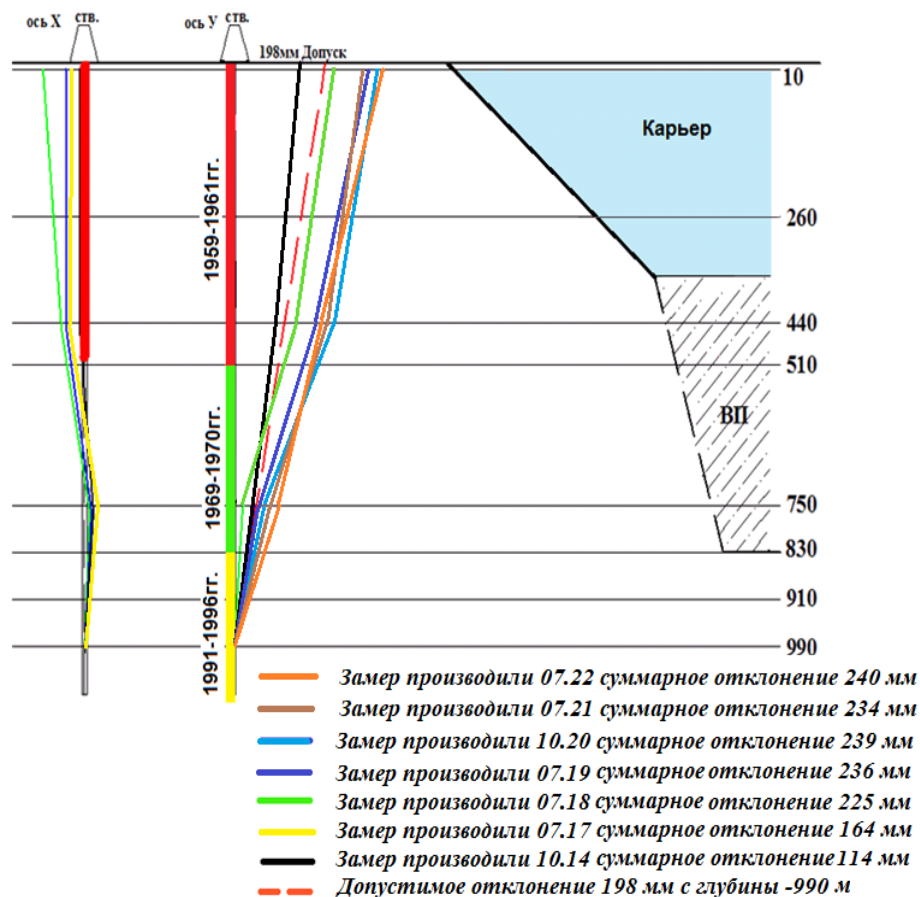


Рис. 8. Результаты определения положения оси ствола шахты «Клетевая»

Максимальные суммарные отклонения оси ствола шахты  
"Клетевая" по оси У в мм

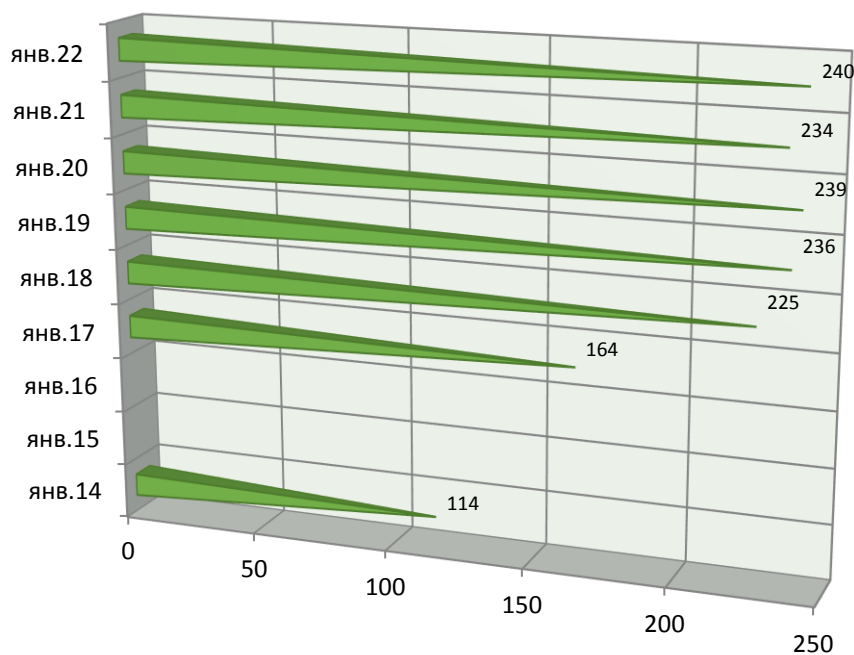


Рис. 9. Результаты определения положения оси ствола шахты «Клетевая» за период 2014 – 2022 гг.



*Результаты численного моделирования  
напряженно-деформированного состояния массива вокруг ствола  
шахты «Клетевая»*

С целью подтверждения теории и обоснования полученных инструментальных данных была создана математическая модель и установлены закономерности формирования НДС массива горных пород вокруг открытого и подземного выработанного пространства.

В результате расчетов удалось установить отклонения ствола шахты «Клетевая» в сторону выработанного пространства (рис. 10).

Выявление закономерностей формирования НДС в массиве велось на основе численного моделирования НДС массива. Моделирование велось с использованием программного комплекса Fem, основанного на методе конечных элементов (МКЭ) [10, 11, 12].

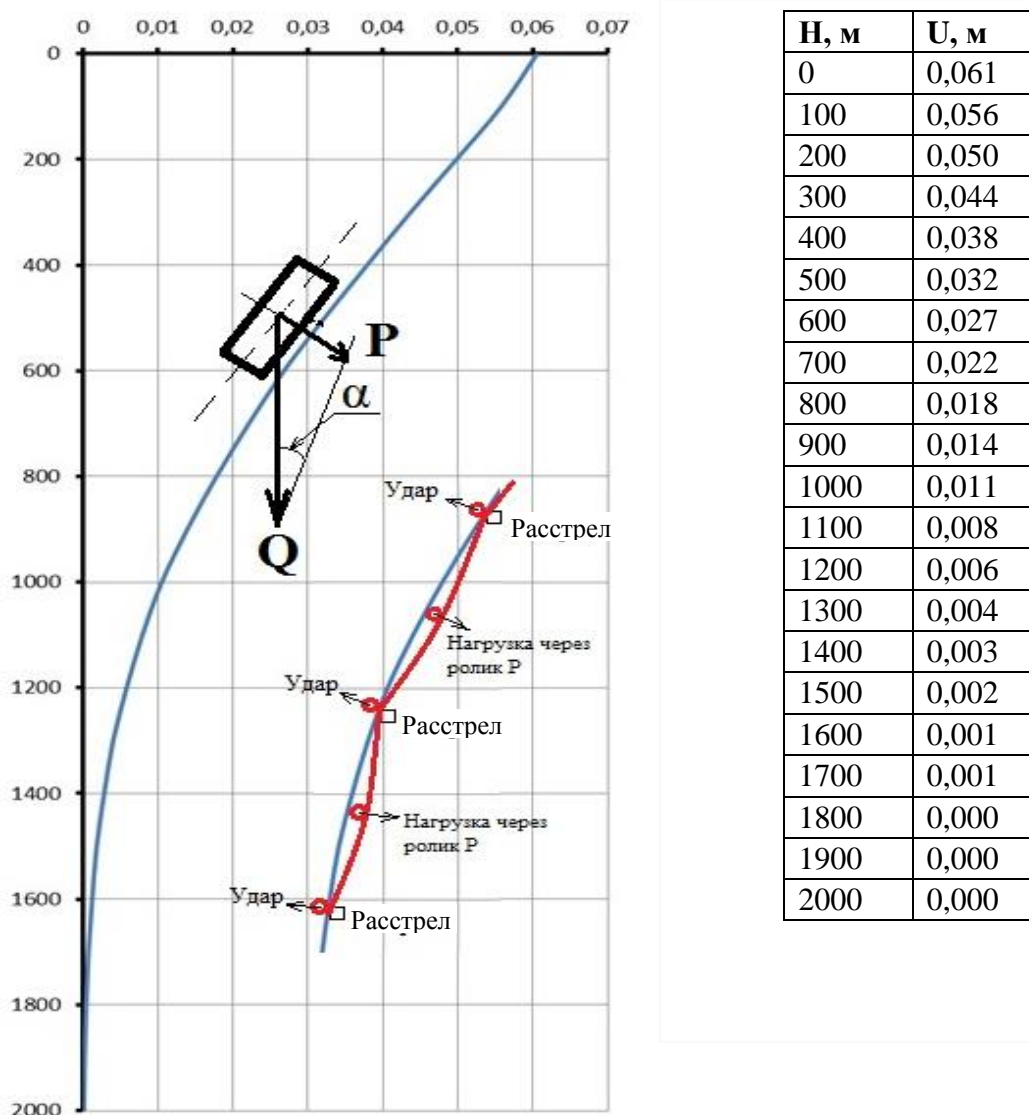


Рис. 10. Отклонение ствола от вертикальной оси

*Выводы*

1. Полученные экспериментальным путем данные свидетельствуют о подтверждении общего тренда отклонения оси ствола. По уточненным данным суммарный наклон оси в сторону выработанного пространства составил по оси «У» 240 мм. Если

допустимое отклонение оси ствола рассчитать с глубины 1400 м в соответствии с «Инструкцией по производству маркшейдерских работ», то оно составит 260 мм, что соответствует требованиям.

2. Выявлены закономерности формирования НДС в массиве на основе численного моделирования НДС массива.

3. Выработанное пространство на руднике сформировалось до гор. -830 м. В результате смещение оси ствола в интервале -750÷-830 м было минимальным, а на интервале -510÷-440 м смещение возросло, однако ближе к поверхности оно должно было стать меньше, что было подтверждено в ходе эксперимента.

4. С целью подтверждения теории и обоснования полученных инструментальных данных была создана математическая модель и установлены закономерности формирования НДС массива горных пород вокруг открытого и подземного выработанного пространства.

### Список литературы

1. *Исследование и прогноз изменения напряжённо-деформированного состояния выемочных единиц и крепи стволов с корректировкой параметров системы отработки на Гайском руднике: отчет о НИР* (заключ., х/д 05/17), 2017; рук. А.В. Зубков. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 84 с.

2. Зубков А.В., Зубков Ю.М., 1999. Модуль деформации массива горных пород – функция рангов слагающих ее блоков. *Геомеханика и напряженное состояние земных недр: матер. междунар. конф.* (Новосибирск, 4 – 7 октября 1999 г.). Новосибирск, С. 65 - 70.

3. Волков Ю.В., Камаев В.Д., Соколов И.В., 2004. Развитие геотехнологии отработки Гайского месторождения. *Известия вузов. Горный журнал*, № 1, С. 43 – 47.

4. Сентябов С.В., 2018. Исследование и прогноз изменения напряженно-деформированного состояния крепи шахтных стволов на Гайском руднике. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 10, С. 79 – 85.

5. Зубков А.В., 2001. *Геомеханика и геотехнология*. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 333 с.

6. Сентябов С.В., 2014. Анализ современного состояния строительства вертикальных стволов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 7, С. 415 – 419.

7. Юревич Г.Г., Беяков В.Д., Севастьянов Б.Н., 1972. *Охрана горных выработок от воздействия взрывов*. Москва: Недра, 136 с.

8. Зубков А.В., Селин К.В., Сентябов С.В., 2015. Закономерности формирования напряженного состояния массива горных пород в верхней части земной коры. *Литосфера*, № 6, С. 116 – 129.

9. Зубков А.В., 2018. Закон формирования природного напряженного состояния земной коры. *Доклады Академии наук*, Т. 483, № 3, С. 1 – 11.

10. Абдусаматов Х.И., 2013. *Глубокий минимум мощности солнечного излучения приведет к малому ледниковому периоду*. Санкт-Петербург: Нестор-История, 246 с.

11. Тарасов Б.Г., 2009. *Пульсация земли и циклы геодинамической активности в потоках космической плазмы*. Санкт-Петербург: Издание МАНЭБ, 319 с.

12. Хаин В.Е., Ломидзе М.Г., 1995. *Геотектоника с основами геодинамики: 2-е изд.* Москва: МГУ, 463 с.

13. Сентябов С.В., Карамнов Д.В., 2020. Уточнение и мониторинг параметров вертикальных деформаций оси шахтных стволов на выработанное пространство. *Проблемы недропользования*, № 2, С. 108 – 115. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.108

14. Зубков А.В., Сентябов С.В., Криницын Р.В., Селин К.В., 2022. Лаборатория геодинамики и горного давления Института горного дела УрО РАН: исследования массива горных пород. *Горная промышленность*, №1S, С. 117 – 124.

15. Sentyabov S.V. 2021. The Influence of Time-Varying Stresses in the Rock Mass on the Stress State of Mine Workings. *IOP of Conferences Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 720, P. 012013. DOI: 10.1088/1755-1315/720/1/012013.

### References

1. Issledovanie i prognoz izmeneniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya vyemochnykh edinit i krepki stvolov s korrekcirovkoi parametrov sistemy otrabotki na Gaiskom rudnike: otchet o NIR НИР [Research and forecast of changes in the stress-strain state of excavation units and shaft supports with adjustment of the parameters of the mining system at the Gaisky mine: research report] (zaklyuch., kh/d 05/17), 2017; ruk. A.V. Zubkov. Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 84 p.

2. Zubkov A.V., Zubkov Yu.M., 1999. Modul' deformatsii massiva gornyx porod – funktsiya rangov slagayushchikh ee blokov [Deformation modulus of an array of rocks as a ranks function of its constituent blocks]. *Geomekhanika i napryazhennoe sostoyanie zemnykh neдр: mater. mezhdunar. konf. (Novosibirsk, 4 – 7 oktyabrya 1999 g.)*. Novosibirsk, P. 65 – 70.

3. Volkov Yu.V., Kamaev V.D., Sokolov I.V., 2004. Razvitie geotekhnologii otrabotki Gaiskogo mestorozhdeniya [Development of geotechnologies for mining the Gayskoye deposit]. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal*, № 1, P. 43 – 47.

4. Sentyabov S.V., 2018. Issledovanie i prognoz izmeneniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya krepki shakhtnykh stvolov na Gaiskom rudnike [Research and forecast of changes in the stress-strain state of the support of mine shafts at the Gaisky mine]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 10, P. 79 – 85.

5. Zubkov A.V., 2001. *Geomekhanika i geotekhnologiya* [Geomechanics and geotechnology]. Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 333 p.

6. Sentyabov S.V., 2014. Analiz sovremennogo sostoyaniya stroitel'stva vertikal'nykh stvolov [Analysis of the current state of vertical shafts construction]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 7, P. 415 – 419.

7. Yurevich G.G., Belyakov V.D., Sevast'yanov B.N., 1972. *Okhrana gornyx vyrabotok ot vozdeistviya vzryvov* [Protection of mining works from the impact of explosions]. Moscow: Nedra, 136 p.

8. Zubkov A.V., Selin K.V., Sentyabov S.V., 2015. Zakonomernosti formirovaniya napryazhennogo sostoyaniya massiva gornyx porod v verkhnei chasti zemnoi kory [Formation regularities of the stressed state of the rock mass in the upper part of the Earth's crust]. *Litosfera*, № 6, P. 116 – 129.

9. Zubkov A.V., 2018. Zakon formirovaniya prirodno napryazhennogo sostoyaniya zemnoi kory [The law of formation of the natural stressed state of the Earth's crust]. *Doklady Akademii nauk*, Vol. 483, № 3, P. 1 – 11.

10. Abdusamatov Kh.I., 2013. Glubokii minimum moshchnosti solnechnogo izlucheniya privedet k malomu lednikovomu period [The deep minimum of solar radiation power will lead to a small ice age]. Sankt-Peterburg: Nestor-Istoriya, 246 p.

11. Tarasov B.G., 2009. Pul'satsiya zemli i tsikly geodinamicheskoi aktivnosti v potokakh kosmicheskoi plazmy [Pulsation of the earth and cycles of geodynamic activity in cosmic plasma flows]. Sankt-Peterburg: Izdanie MANEB, 319 p.

12. Khain V.E., Lomidze M.G., 1995. *Geotektonika s osnovami geodinamiki: 2-e izd.* [Geotectonics with the basics of Geodynamics: 2nd ed.]. Moscow: MGU, 463 p.

13. Sentyabov S.V., Karamnov D.V., 2020. Utochnenie i monitoring parametrov vertikal'nykh deformatsii osi shakhtnykh stvolov na vyrabotannoe prostranstvo [Improvement and monitoring of the parameters of vertical deformations of the mine shaft axis to the developed space]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 2, P. 108 – 115. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.108

14. Zubkov A.V., Sentyabov S.V., Krinitsyn R.V., Selin K.V., 2022. Laboratoriya geodinamiki i gornogo davleniya Instituta gornogo dela UrO RAN: issledovaniya massiva gornyx



---

porod . [Laboratory of geodynamics and rock pressure of the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences: the study of rock mass]. *Gornaya promyshlennost'*, №1S, P. 117 – 124.

15. Sentyabov S.V. 2021. The Influence of Time-Varying Stresses in the Rock Mass on the Stress State of Mine Workings. *IOP of Conferences Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 720, P. 012013. DOI: 10.1088/1755-1315/720/1/012013.