



УДК 622.273.217.23

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА ЦЕЛИКИ
ПРИ ГИДРОЗАКЛАДКЕ КАМЕР
SPECIFICS OF LATERAL THRUST IN PILLARS DURING THE HYDRAULIC
FILLING OF CHAMBERS**

**А.В. Зинченко
A.V. Zinchenko**

Всероссийский научно-исследовательский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, защите инженерных сооружений от обводнения, специальным горным работам, геомеханике, геофизике, гидротехнике, геологии и маркшейдерскому делу (ВИОГЕМ), Россия, 308007, г. Белгород, пр. Б. Хмельницкого, 86

VIOGEM, 86 B. Khmelnytsky Ave, Belgorod, 308007, Russia

E-mail: aleksey.zinchenko76@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены результаты натурных исследований деформационных параметров гидрозакладки на основе отходов обогащения железистых кварцитов. Экспериментально подтверждена зависимость коэффициента бокового отпора от порового давления, что может быть использовано для расчета бокового отпора отходов обогащения железистых кварцитов в условиях шахты им. Губкина.

Abstract

The article provides the findings of a field study of hydraulic filling deformation parameters. Waste of ferruginous quartzite dressing was used as the study material. The experiments have proved the dependence of lateral rebound ratio on interstitial pressure, while this dependence can be used to calculate the lateral rebound in the waste of ferruginous quartzite dressing at the Gubkin Mine.

Ключевые слова: гидрозакладка, отходы обогащения железистых кварцитов, наблюдательная станция, коэффициент бокового отпора.

Keywords: hydraulic filling, wastes of ore-dressing of ferruginous quartzite, observation station, lateral rebound ratio.

Введение

Начиная с 1997 г. в АО «Комбинат КМАруда» проводятся работы по заполнению отработанных камер шахты им. Губкина отходами обогащения железистых кварцитов. Применяется технология гидравлической закладки без сгущения и обезвоживания. Всего уложено более 20 млн т хвостов в более чем 200 камер, имеющих следующие размеры: высота – до 58 м, ширина – 30 м, длина – до 75 м.

При складировании отходов обогащения в отработанные камеры основными проблемами являются:

- оценка нагрузок на водонепроницаемые перемычки [Зинченко, 2007, 2010];
- напряженно-деформированное состояние (НДС) конструкции бетонных водонепроницаемых перемычек [Зинченко, 2005, 2007, 2015; Сергеев и др., 2013];
- мониторинг деформирования системы целиков [Фомин и др., 2013];
- общие вопросы гидродинамических процессов в гидрозакладке по мере их уплотнения под собственным весом и фильтраций через перемычки [Методы геомеханического сопровождения..., 2013; Зинченко, Серышев, 2003; Зинченко, Сергеев, 2004].

При осушении массива гидрозакладки одним из важнейших вопросов является определение закономерностей формирования давления закладочного массива на межкамерные целики и на ограждающие конструкции.

Объекты и методы исследования

Для определения коэффициента бокового отпора хвостов и оценки зависимости его изменения во времени от гидрогеологических параметров в отработанные камеры были заложены две пары датчиков, разнесённые по высоте. Каждая пара включала датчик порового давления ПДС-10 и струнный преобразователь напряжения грунта ГД-10 (АО «НИИЭС»). Преобразователи полных напряжений ориентировались вертикально, что позволяло регистрировать полное давление водонасыщенных хвостов в горизонтальном направлении. Датчики порового давления регистрировали только поровое давление.

Результаты и их обсуждение

Комплекты датчиков устанавливались выше уровня твердой фракции хвостов при полном заполнении камер водой и сливе воды в выработки горизонта -71 м. Поэтому сразу после установки датчики, как порового, так и общего давления, регистрировали давление столба воды над ними. В дальнейшем, после закрытия датчиков твердой фракцией, показания датчиков общего давления линейно возрастали, регистрируя дополнительное боковое давление хвостов, в то время как показания датчиков порового давления оставались практически неизменными. Незначительный рост показаний датчиков порового давления, которым при дальнейшем анализе можно пренебречь, может быть объяснен ростом порового давления под воздействием укладываемых хвостов. После полного заполнения камер хвостами практически сразу началось осушение хвостов, и показания датчиков начали снижаться (рис. 1).



Рис. 1. Изменение полного и порового давления на горизонте -67.5 м в камерах
 Fig. 1. Changes in total and interstitial chamber pressure at the depth of -67.5 meters

Момент полного заполнения камер хвостами отмечен на графиках вертикальной пунктирной линией.

Коэффициент бокового отпора скелета хвостов определен как отношение разности показаний датчиков полного и порового давления к разности полного веса хвостов и показаний датчиков порового давления. Результаты расчета коэффициента бокового отпора представлены в графическом виде на рисунке 2. Данные показывают, что непосредственно на поверхности хвостов коэффициент бокового отпора хвостов практически равен единице. Затем, даже в условиях полного водонасыщения,

коэффициент бокового отпора начинает быстро снижаться до величины 0.4–0.6 и практически остается постоянным в этих пределах до тех пор, пока сохраняется полное водонасыщение хвостов (уровень воды располагается выше датчиков). Этому значению соответствует коэффициент Пуассона 0.285–0.375. Дальнейшее снижение коэффициента бокового отпора возникает при снижении степени водонасыщения.

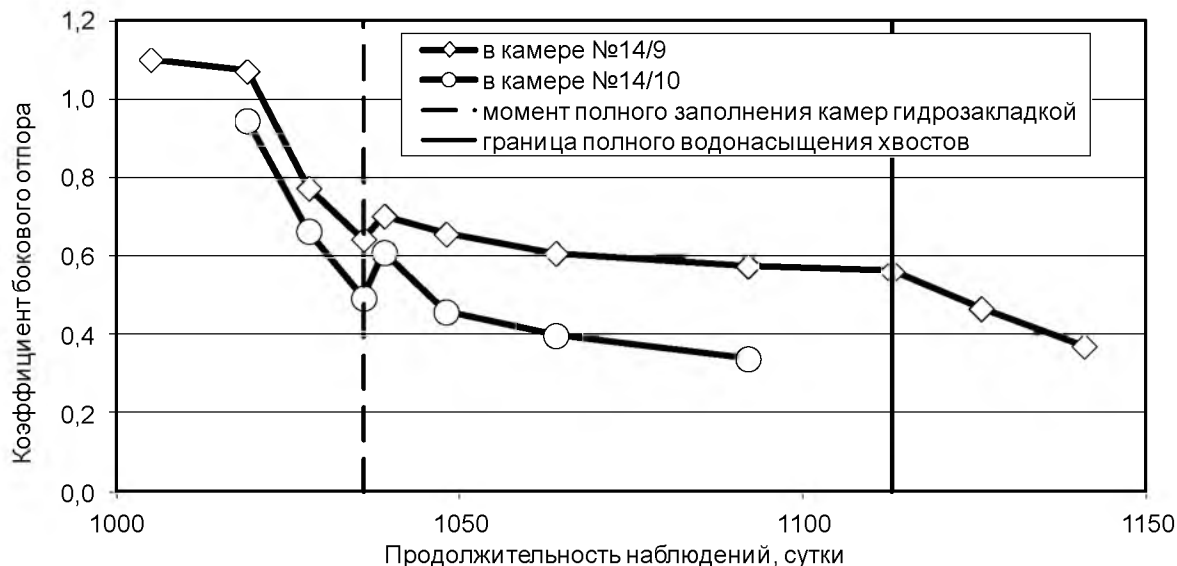


Рис. 2. Изменение бокового отпора в процессе осушения в двух камерах, заложенных отходами обогащения железистых кварцитов

Fig. 2. Lateral rebound changes in the process of drainage in the two chambers filled with the waste of ferruginous quartzite dressing

При снижении уровня воды ниже уровня установки поровых датчиков положение границы уровня воды в массиве хвостов рассчитывалось по показаниям датчиков порового давления, расположенных в камерах. Этот момент представлен на графиках сплошной вертикальной линией.

Минимальное инструментально зафиксированное значение коэффициента бокового отпора составило 0.36–0.4.

Осушение хвостов привело к их уплотнению, оседанию поверхности и возникновению по площади камеры крупных трещин в массиве шириной до 0.7 м.

Согласно известным закономерностям механики грунтов [Fredlund, Rahardjo, 1993], дальнейшее понижение уровня должно привести к снижению коэффициента бокового отпора до нуля и, в конечном счёте, к отрицательным значениям. Последнее, в физическом смысле, означает возникновение горизонтальных растягивающих напряжений в хвостах и вертикальных трещин в теле хвостов или отставание тела закладки от стенок камеры или перемычек. Зависимость, описывающая взаимосвязь коэффициента бокового отпора K с коэффициентом Пуассона ν , модулем упругости при изменении нагрузки на скелет E , модулем упругости при изменении порового давления H , отрицательным поровым давлением P и нагрузкой от веса налегающих пород g , выглядит следующим образом:

$$K = \frac{\nu}{(1-\nu)} - \frac{E \times P}{(1-\nu) \times H \times g}. \quad (1)$$

Предполагая распределение отрицательного порового давления выше уровня грунтовых вод гидростатическим, можно получить при $\nu=0.3$, $E/H=0.17-0.50$, глубине расположения датчика 6 м и объемном весе хвостов 1.81 кг/см^3 прогноз изменения коэффициента бокового отпора выше уровня грунтовых вод в зависимости от степени понижения уровня, представленный на рисунке 3. Очевидно, что экспериментальные данные полностью подтверждают зависимость коэффициента бокового отпора от порового давления,

предложенную в работе [Fredlund, Rahardjo, 1993], а сама зависимость может быть использована для расчета бокового отпора хвостов в условиях шахты имени Губкина.

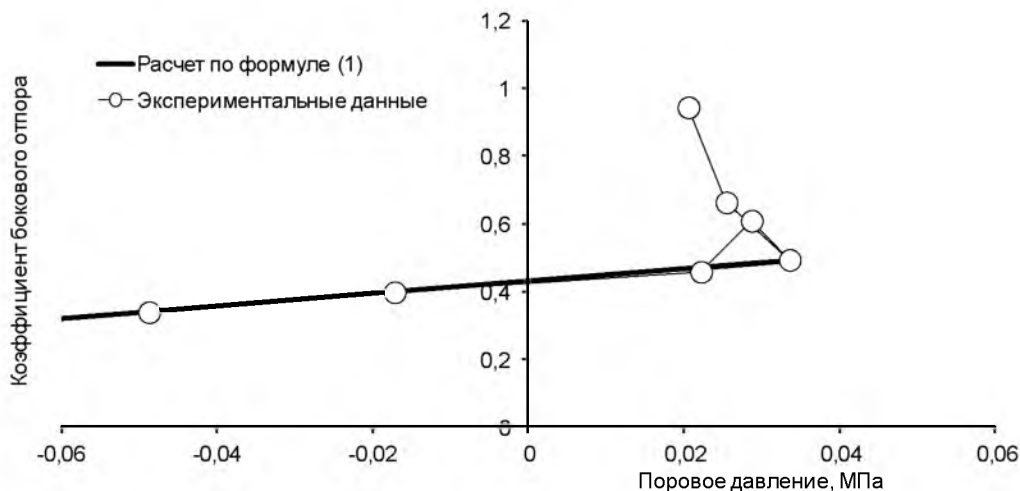


Рис. 3. Зависимость бокового отпора от порового давления в камере 14/10

Fig. 3. Lateral rebound and interstitial pressure correlation in Chamber 14/10

Зависимость позволяет определить максимальную глубину трещин в массиве хвостов при полном осушении камеры, то есть размер части целика, на которую давление хвостов полностью будет отсутствовать. Предполагая полное отсутствие воды в камере (понижение уровня воды относительно верхней поверхности хвостов на 60 м), получим для наших условий 15–28 м.

Выводы

1. Коэффициент бокового отпора хвостов зависит от степени водонасыщения и положения уровня воды относительно поверхности хвостов.

2. Максимальное значение коэффициента бокового отпора составляет 1 и возникает в месте контакта поверхности хвостов и воды. При полном водонасыщении коэффициент бокового отпора составляет 0.4–0.6 и соответствует коэффициенту поперечных деформаций 0.3.

3. Осушение хвостов приводит к снижению коэффициента бокового отпора. Нулевое значение коэффициента бокового отпора и возникновение трещин в массиве хвостов достигается на глубинах 15–28 м от их верхней поверхности при условии полного осушения камер, заполненных на высоту 55 м. Таким образом, верхняя часть гидрозакладки после осушения не создаёт бокового отпора на межкамерные целики. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании технологии гидравлической закладки подземных пустот.

Список литературы

References

1. Зинченко А.В. 2005. Распределение растягивающих напряжений на поверхности толстых бетонных перемычек (плит). *В кн.: Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях. Материалы 8-го Международного симпозиума.* Белгород: 48–51.

Zinchenko A.V. 2005. Distribution of pulling stress on the surface of thick concrete barriers (plates). *In: Osvoeniye mestorozhdeniy mineralnykh resursov i podzemnoye stroitelstvo v slozhnykh geographicheskikh usloviyakh [Development of mineral fields and underground construction under complex hydrogeological conditions]. Proceedings on the 8th International Symposium.* Belgorod: 48–51. (in Russian)



2. Зинченко А.В. 2007а. Исследование динамики геомеханического состояния изолирующих перемычек при гидрозакладке подземных пустот. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, (5): 254–256.

Zinchenko A.V. 2007a. A study of the changes in the geomechanical condition of protective barriers in hydraulic filling of underground cavities. *Mining Information and Analytical Bulletin*, (5): 254–256. (in Russian)

3. Зинченко А.В. 2007б. Оценка действующих нагрузок на ограждающие перемычки от гидрозакладки при подземном складировании отходов обогащения. В кн.: Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях. Материалы 8-го Международного симпозиума. Белгород: 176–179.

Zinchenko A.V. 2007b. Evaluation of load on the protective barriers for hydraulic-filled chambers in underground storage of ore dressing waste. In: *Osvoyeniye mestorozhdeniy mineralnykh resursov i podzemnoye stroitelstvo v slozhnykh geographicheskikh usloviyakh* [Development of mineral fields and underground construction under complex hydrogeological conditions]. Proceedings on the 8th International Symposium. Belgorod: 176–179. (in Russian)

4. Зинченко А.В. 2010. Исследование геомеханических процессов при складировании отходов обогащения железных руд в отработанное пространство. *Черная металлургия*, 12 (1332): 19–20.

Zinchenko A.V. 2010. The study of geomechanical processes in storage of iron ore dressing waste in depleted chambers. *Ferrous Metallurgy*, 12 (1332): 19–20. (in Russian)

5. Зинченко А.В. 2015. Результаты численного моделирования напряженного состояния бетонных водонепроницаемых перемычек в условиях шахты им. Губкина. В кн.: Каталог VI Уральского горнопромышленного форума МВЦ Екатеринбург-Экспо. Тезисы докладов. Екатеринбург: 187–188.

Zinchenko A.V. 2015. The results of numerical simulation of stress pattern in waterproof concrete barriers at the Gubkin Mine. In: *Katalog VI Uralskogo gornopromyshlennogo foruma MVC Yekaterinburg-Expo* [Catalogue of the VIth Ural Mining forum at “Ekaterinburg-Expo” Exhibition Centre]. Abstract. Ekaterinburg: 187–188. (in Russian)

6. Зинченко А.В., Сергеев С.В. 2004. Натурные исследования развития напряжений в «хвостах» при гидрозакладке. *Известия ТулГУ. Геомеханика. Механика подземных сооружений*, (2): 121–124.

Zinchenko A.V., Sergeyev S.V. 2004. A field study of stress emerging in tailings during the hydraulic filling. *Tula State University Bulletin. Geomechanics. Mechanics of Underground structures*, (2): 121–124. (in Russian)

7. Зинченко А.В., Серышев С.Н. 2003. Исследование геомеханических процессов при подземном складировании хвостов обогащения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, (10): 31–33.

Zinchenko A.V., Seryshev S.N. 2003. A study of geomechanical processes in underground storage of ore dressing tails. *Mining Information and Analytical Bulletin*, (10): 31–33. (in Russian)

8. Методы геомеханического сопровождения разработки железных руд на КМА. 2013. Белгород, 93.

Metody geomekhanicheskogo soprovozhdeniya razrabotki zheleznykh rud na KMA [Methods of geomechanical study in iron ore mining at Kursk Magnetic Anomaly]. 2013. Belgorod, 93. (in Russian)

9. Сергеев С.В., Зинченко А.В., Сергеев А.Л. 2013. Особенности деформирования бетонных перемычек при гидрозакладке отработанных камер на шахте им. Губкина. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, (3): 123–126.

Sergeyev S.V., Zinchenko A.V., Sergeyev A.L. 2013. Specifics of deformation in concrete barriers in hydraulic filling of depleted chambers at the Gubkin Mine. *Bulletin of the Tula State University. Geosciences*, (3): 123–126. (in Russian)

10. Фомин Б.А., Григорьев А.М., Зинченко А.В., Серышев С.Н., Махрин Г.В. 2005. Мониторинг геомеханического состояния целиков на шахте им. Губкина. В кн.: Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях. Материалы 8-го Международного симпозиума. Белгород: 41–48.

Fomin B.A., Grigoryev A.M., Zinchenko A.V., Seryshev S.N., Makhryn G.V. 2005. The Monitoring of the geomachanical condition of pillars at the Gubkin mine. In: *Osvoyeniye mestorozhdeniy mineralnykh resursov i podzemnoye stroitelstvo v slozhnykh geographicheskikh usloviyakh* [Development of mineral fields and underground construction under complex hydrogeological conditions]. Proceedings on the 8th International Symposium. Belgorod: 41–48. (in Russian)

11. Fredlund D.G., Rahardjo H. 1993. *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*, John Wiley & Sons, Inc., NY, 517.