

ОПЫТ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УСТАНОВКИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АНКЕРОВ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВУЮЩИХ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ УРАЛА

КОРНИЛКОВ М. В., ПЕТРЯЕВ В. Е., КАНКОВ Е. В., ПОЛОВОВ Б. Д.

Проведена научно-исследовательская работа по установлению зависимости переходного электрического сопротивления железобетонного анкера от заполнения тела анкера цементно-песчаной смесью для оценки качества установки железобетонных анкеров. Результатом исследования стал разработанный электрометрический метод контроля качества железобетонной анкерной крепи. Разработан и изготовлен опытный образец прибора электрометрического контроля анкерной железобетонной крепи (прибор АНЧ-АР). Предложенный метод и опытный образец прибора АНЧ-АР прошли лабораторные испытания и опробованы в условиях действующих подземных горных выработок горнодобывающего предприятия шахты «Южная» Высокогорского ГОКа (г. Кушва, Свердловская обл.). Установлены зависимости между степенью заполнения бетонным раствором шпура анкера и его удельным электрическим сопротивлением, позволяющие оценивать качество установки железобетонных анкеров в условиях скальных пород железорудных месторождений Урала.

Ключевые слова: электрометрический метод контроля качества; железобетонная анкерная крепь; переходное сопротивление; установка анкерной железобетонной крепи; прибор электрометрического контроля качества; технология электрометрического контроля.

В 2007 г. коллективом авторов произведены работы по физическому моделированию зависимости переходного сопротивления железобетонного анкера в электролитической ванне [1, 2]. На основании полученных результатов и результатов полевых лабораторных испытаний, выполненных в 2011 г. [3], был оформлен патент на изобретение № 2487243 «Способ неразрушающего контроля анкерной железобетонной крепи» (Рябухин Д. Ю., Корнилков М. В., Петряев В. Е., Боликов В. Е.).

Дальнейшие исследования привели к разработке электрометрического метода контроля качества железобетонной анкерной крепи [4].

Сущность метода заключается в определении коэффициента заполнения шпурового пространства цементно-песчаной смесью. Для этого выполняется определение переходного электрического сопротивления анкера электроизмерительны-

Корнилков Михаил Викторович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой шахтного строительства, главный редактор «Изв. вузов. Горного журнала». 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: shsdep@ursmu.ru

Петряев Валерий Евгеньевич – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: ork_vk@ursmu.ru

Канков Евгений Владимирович – старший преподаватель кафедры шахтного строительства. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: kankov_e@mail.ru

Половов Борис Дмитриевич – доктор технических наук, профессор кафедры шахтного строительства. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.

ми приборами путем последовательных измерений электрического сопротивления соответственно между анкером и минимум двумя электродами попеременно, а также между самими электродами. Первый электрод должен располагаться от измеряемого анкера на расстоянии, превышающем глубину анкера в 2–3 раза, второй и последующие электроды располагаются от измеряемого анкера на расстоянии, превышающем глубину анкера в 4–6 раз (рис. 1). Измеренные переходные электрические сопротивления анкера сравниваются с расчетным (теоретическим) с целью определения коэффициента, характеризующего качество заполнения пространства между анкером и скальной породой.

Степень заполнения полости шпура раствором оценивается величиной переходного сопротивления $R_{\text{анк}}$, зависящего от площади контакта железобетонного анкера с вмещающими скальными породами. Увеличение площади соприкосновения цементно-песчаного раствора с горными породами приводит к снижению $R_{\text{анк}}$.

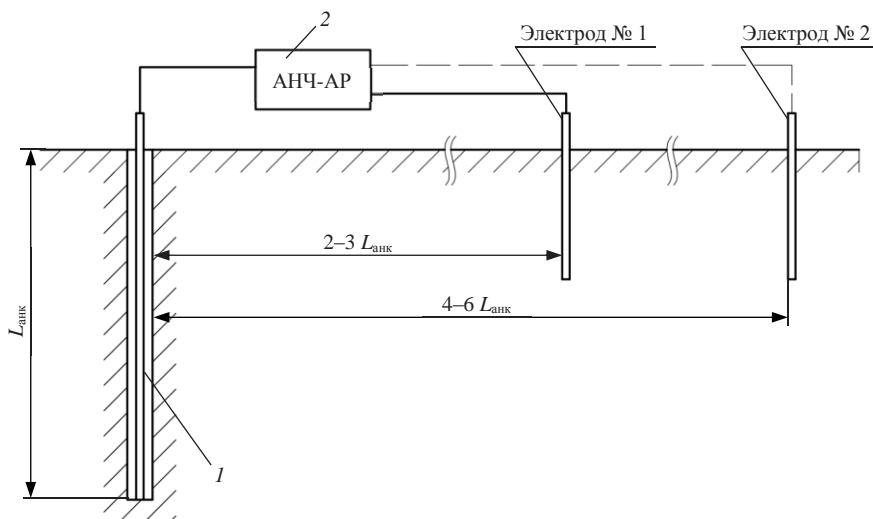


Рис. 1. Схема установки оборудования для осуществления контроля качества установки железобетонной анкерной крепи:

1 – железобетонный анкер; 2 – электроизмерительный прибор; $L_{\text{анк}}$ – длина анкера, м

В 2016–2017 гг. в рамках выполнения НИОКР по теме «Разработка технологии и опытного образца прибора электрометрического контроля качества установки анкерной железобетонной крепи» (договор № 1116ГС/21740 от 15.04.2016) выполнены работы (*Разработка технологии и опытного образца прибора электрометрического контроля качества установки анкерной железобетонной крепи (договор № 1116ГС/21740 от 15.04.2016). Отчет о выполнении НИОКР. Этап № 1. Анализ применяемых способов определения качества установки анкерной железобетонной крепи. Разработка конструкторской документации на прибор. Изготовление опытного прибора электрометрического контроля анкерной железобетонной крепи. Екатеринбург, 2016; Разработка технологии и опытного образца прибора электрометрического контроля качества установки анкерной железобетонной крепи (договор № 1116ГС/21740 от 15.04.2016). Отчет о выполнении НИОКР. Заключительный этап. Екатеринбург, 2017*):

– разработка конструкторской документации на изготовление опытного образца прибора электрометрического контроля анкерной железобетонной крепи (прибор АНЧ-АР);

- изготовление и исследование работы опытного образца прибора АНЧ-АР в лабораторных условиях;
- разработка технологии электрометрического контроля анкерной железобетонной крепи с использованием прибора АНЧ-АР;
- опробование опытного образца прибора АНЧ-АР и разработанной технологии контроля в условиях подземных горных выработок действующих горных предприятий.

В соответствии с разработанным техническим заданием был изготовлен опытный образец прибора АНЧ-АР. Прибор состоит из генераторного, измерительного и зарядного блоков. Корпус прибора выполнен в ударо- и влагозащищенном исполнении. Масса прибора составляет: без аккумуляторов – 5 кг, с аккумуляторами – 7 кг. Габаритные размеры 200 × 310 × 200 мм.

Во время лабораторных испытаний работы опытного образца прибора АНЧ-АР выполнена проверка следующих заявленных технических параметров: защищенность от «блуждающих» и «наведенных» токов; влаго- и пылезащищенность; надежность прибора при выполнении замеров; проверка температурных режимов работы.

При выполнении исследований использован специально оборудованный лабораторный полигон, позволивший создать условия работы, приближенные к реальным условиям действующих подземных горных выработок.

Результатом лабораторных исследований стало подтверждение заявленных технических параметров и разработка рекомендаций по процедуре проведения работ по электрометрическому контролю анкерной железобетонной крепи с использованием прибора АНЧ-АР.

Для опробования методики были проведены испытания в выработках шахты «Южная» Высокогорского ГОКа на гор. –240 м в откаточных штреках № 2 и № 4. Для проведения испытаний в откаточном штреке № 2 были пробурены 9 шпуров диаметром 42 мм длиной 1,7 м. В процессе испытания производилось заполнение шпуров цементно-песчаным раствором с установкой арматурных стержней. Комплект шпуров был разделен на три группы (по три шпура) с разной степенью заполнения (100; 70; 35 %). В процессе установки контрольных анкеров с 70- и 30-процентным заполнением цементно-песчаным раствором возникли технические сложности с точностью дозирования раствора.

В связи с этим при выполнении последующих испытаний в откаточном штреке № 4 был использован комплект шпуров из трех групп по три шпура разной длины (150; 100; 45 см). В расчетах шпуры длиной 150 см были приняты за анкеры с заполненностью 100 %; 100 см – с заполненностью на 68 %; 45 см – с заполненностью на 30 %.

Замеры электрического сопротивления анкеров производились в два этапа: первый – сразу после установки анкеров; второй – на следующий день после установки, т. е. через 20–22 ч.

На втором этапе замеры производились для определения зависимости электрического сопротивления от состояния цементно-песчаного раствора, так как через сутки он находится в затвердевшем состоянии и начинаются процессы активного набора прочности, продолжающиеся первую неделю. Кроме того, производились замеры электрического сопротивления установленных анкеров через один месяц, но полученные результаты не позволяют достоверно оценить качество заполнения цементно-песчаной смесью. Это вызвано тем, что процесс набора паспортной прочности завершен и в теле железобетонного анкера практически не остается воды, которая и создает основную электропроводимость цементно-песчаного заполнения железобетонного анкера.

Результаты измерения величины электрического сопротивления испытуемых анкеров приведены в таблице. Графики изменения величины электрического сопротивления в зависимости от степени заполнения анкеров цементно-песчаным раствором, полученные по результатам испытаний сразу после установки анкеров и через сутки после их установки, приведены на рис. 2.

Результаты измерения величины электрического сопротивления анкеров

Номер шпура	Заполнение анкера цементно-песчаной смесью, %	Сопротивление испытываемого анкера $R_{\text{анк}}$, Ом	Усредненное сопротивление анкеров, Ом
<i>Замеры, выполненные непосредственно после установки анкеров</i>			
1	100	172,5	108,33
2		222,5	
3		155,0	
4	70	140,0	122,50
5		112,5	
6		115,0	
7	30	110,0	183,33
8		105,0	
9		110,0	
<i>Замеры, выполненные через сутки после установки анкеров</i>			
1	100	170,0	111,67
2		220,0	
3		150,0	
4	70	135,0	124,17
5		120,0	
6		117,5	
7	30	112,5	180,00
8		105,0	
9		117,5	

Проведение замеров осуществляется в следующей последовательности.

1. Выполняется измерение параметров эталонного шпура (диаметр, длина). Полученные данные заносятся в журнал измерений. Эти параметры необходимы для определения площади поверхности $S_{\text{анк}}$ контакта раствора цемента с вмещающими скальными породами.

2. Производится измерение удельного электрического сопротивления массива горных пород через эталонный шпур.

3. Выбирается местоположение контрольных электродов и выполняется их установка. В качестве контрольных электродов можно использовать арматурные стержни, заглубленные в почву выработки на соответствующих расстояниях от измеряемого анкера.

4. Устанавливается железобетонный анкер.

5. К контролируемому железобетонному анкеру и контрольным электродам подключаются измерительные провода.

6. Осуществляется измерение разницы потенциалов ΔU между измеряемым железобетонным анкером (№ 1) и контрольными электродами (№ 2 и № 3 соответственно), а также между контрольными электродами. Полученные значения ΔU_{1-2} , ΔU_{1-3} и ΔU_{2-3} заносятся в журнал измерений. На данном этапе производятся измерения по всем испытуемым анкерам.

7. Производится определение переходных электрических сопротивлений R_1 ($R_{\text{анк}}$), R_2 и R_3 .

8. Обрабатываются полученные данные переходных электрических сопротивлений испытываемых железобетонных анкеров и определяется качество их заполнения путем сравнения с эталонными значениями.

При выполнении работ по опробованию разработанной методики электрометрического контроля анкерной железобетонной крепи в условиях действующих подземных горных выработок в качестве контрольных электродов были использованы установленные анкеры, расположенные на стороне выработки, противоположной месту размещения измеряемых анкеров. Это позволило сократить время подготовительных операций перед началом работ по замерам величины переходного электрического сопротивления железобетонных анкеров, а также решить проблемы с размещением контрольных электродов, так как не всегда имеется возможность разместить их по почве выработки, например при обводненности почвы или высокой крепости пород, вмещающих выработку.

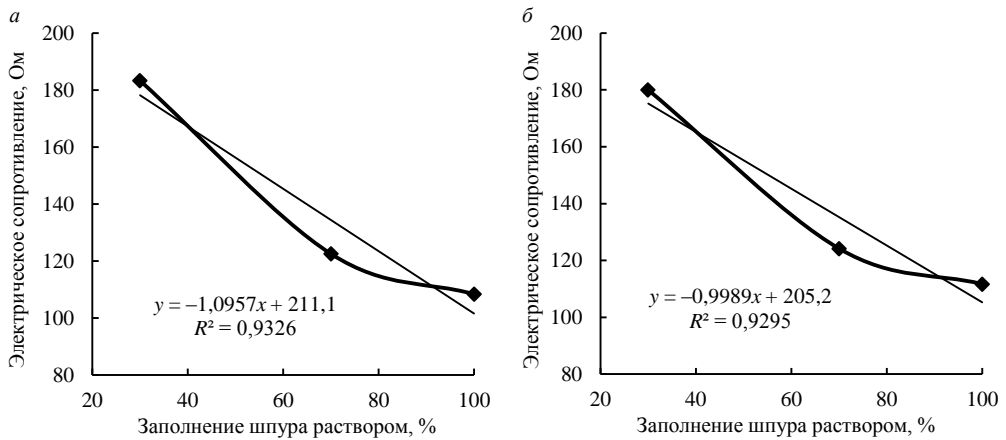


Рис. 2. Диаграмма распределения электрического сопротивления по 9 шпурам с разной степенью заполнения цементно-песчаным раствором:

а – в момент установки анкеров; б – через 21 час после установки

В качестве критерия качества выполненных замеров предлагается использовать значения R_2 и R_3 переходных электрических сопротивлений между исследуемым железобетонным анкером и контрольными электродами (железобетонными анкерами, используемыми в качестве электродов). При правильном выполнении замеров значения R_2 и R_3 , полученные после расчета переходных электрических сопротивлений, должны давать сопоставимые результаты в пределах группы. При получении значений R_2 и R_3 , выпадающих из общей группы, необходимо произвести повторные измерения всей группы с изменением контрольных электродов (железобетонных анкеров).

Для оперативной обработки данных непосредственно на месте проведения замеров выполнена разработка электронного журнала замеров на базе электронных таблиц Microsoft Office Excel. Журнал находится в переносном ПК или планшете оператора прибора АНЧ-АР.

При выполнении замеров показания прибора АНЧ-АР вносятся в электронный журнал, где производится автоматический расчет переходных электрических сопротивлений R_1 , R_2 и R_3 . Наличие электронного журнала у оператора прибора АНЧ-АР позволяет оперативно определить качество выполненных замеров и при необходимости повторить замеры с изменением местоположения контрольных электродов.

Рассмотренный метод позволяет осуществлять оперативный контроль качества заполнения шпура (скважины) под железобетонный анкер без его разруше-

ния, так как данный параметр определяет работоспособность и надежность анкера непосредственно после его установки с минимальными затратами времени как на подготовку измерений, так и на их выполнение. Использование переносного ПК или планшета позволяет оперативно получить результаты контроля и улучшить качество заполнения шпура (скважины) цементно-песчаной смесью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мельников А. В., Петряев В. Е., Корнилков М. В., Боликов В. Е. Лабораторные исследования контроля качества железобетонных анкеров, установленных в скальном массиве // Проблемы недрапользования: матер. II Всерос. молодежн. науч.-практ. конф. (12–15 февр. 2008 г.). Екатеринбург: УрО РАН, 2008. С. 171–177.
2. Мельников А. В., Петряев В. Е., Корнилков М. В. Физическое моделирование переходного сопротивления анкера в электролитической ванне // Матер. Уральской горнопромышл. декады (14–23 апр. 2008 г.). Екатеринбург: УГГУ, 2008. С. 121–122.
3. Рябухин Д. Ю. Лабораторные испытания двумерной модели железобетонного анкера // Уральская горная школа – регионам: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: УГГУ, 2012. С. 316–317.
4. Корнилков М. В., Петряев В. Е., Боликов В. Е., Рябухин Д. Ю., Канков Е. В. Контроль качества установки железобетонных анкеров электрометрическим способом // Изв. вузов. Горный журнал. 2014. № 3. С. 18–21.

Поступила в редакцию 8 декабря 2017 года

THE EXPERIENCE OF SOLVING THE PROBLEMS OF ESTIMATING THE QUALITY OF REINFORCED CONCRETE ANCHORS INSTALLATION IN CONDITIONS OF OPERATING MINING ENTERPRISES OF THE URALS

Kornilkov M. V., Petriaev V. E., Kankov E. V., Polovov B. D. – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: shsdep@ursmu.ru

The group of authors carried out research and development work on the determination of the dependence of transient electrical resistivity of reinforced concrete anchor and the quality of the anchor body filling with sand-cement mixture to estimate the quality of reinforced concrete anchors installation. The result of the survey is the developed electrometric method of reinforced concrete anchor quality control. The prototype of the device of electrometric control of anchor reinforced concrete support has been developed and manufactured (ANCH-AR device). The developed method and the prototype of the ANCH-AR device have passed the laboratory tests and have been tested in conditions of operating underground mine workings of mining enterprise of the mine Yuzhnaya of Vysokogorsky Ore Mining and Processing Enterprise (GOK) (Kushva, Sverdlovsk region). The dependences are determined between the filling degree of anchor bore-hole with concrete grout and its specific electric resistance, which make it possible to estimate the quality of reinforced concrete anchors installation in conditions of hard rock iron-ore deposits of the Urals.

Key words: electrometric method of quality control; reinforced concrete anchor support; transient resistivity; installation of anchor reinforced concrete support; the device of electrometric quality control; the technology of electrometric control.

REFERENCES

1. Mel'nikov A. V., Petriaev V. E., Kornilkov M. V., Bolikov V. E. [Laboratory research of quality control of reinforced concrete anchors installed in the hard rock massif]. *Problemy nedropol'zovaniia: mater. II Vseros. molodezhn. nauch.-prakt. konf. (12–15 fevr. 2008 g.)* [Proc. of the 2nd All-Russian Youth Research-to-Pract. Conf. (12th – 15th February, 2008) “The Problems of Subsoil Use”]. Ekaterinburg, UB RAS Publ., 2008, pp. 171–177. (In Russ.)
2. Mel'nikov A. V., Petriaev V. E., Kornilkov M. V. [Physical modeling of transient resistance of an anchor in electrolytic bath]. *Mater. Ural'skoi gornopromyshl. dekadyy (14–23 apr. 2008 g.)* [Proc. of the Urals mining decade (14th – 23rd April, 2008)]. Ekaterinburg, UrSMU Publ., 2008, pp. 121–122. (In Russ.)
3. Riabukhin D. Iu. [Laboratory research of the two-dimensional model of reinforced concrete anchor]. *Ural'skaia gornaia shkola – regionam: sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Proc. of the Int. Research-to-Pract. Conf. “Ural Mining School – to the Region’s”. Ekaterinburg, UrSMU Publ., 2012, pp. 316–317. (In Russ.)
4. Kornilkov M. V., Petriaev V. E., Bolikov V. E., Riabukhin D. Iu., Kankov E. V. [Quality control of the unit of concrete anchors using the electric method]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2014, no. 3, pp. 18–21. (In Russ.)