

В рассматриваемых технологических процессах следует выделить следующие достоинства: *десять* схем исполнения рассматриваемых технологических процессов высоко механизированы, в *шести* остальных схемах не механизирована только валка деревьев; минимизация при *четырёх* схемах исполнения процессов, выполняемых на лесосеке при заготовке леса деревьями; поставка потребителю продукции непосредственно с лесосеки производится при *трех* схемах исполнения, и непосредственно с верхнего склада – при *десяти* схемах; вывозка с верхнего склада – при *четырёх* схемах исполнения готовой продукции в окончательном виде (пиломатериалы, технологическая и топ-

ливная щепка); применение многооперационных лесосечных машин; отмечены и другие достоинства.

К недостаткам следует отнести большую долю механизированного ручного труда при использовании бензомоторных пил в *шести* схемах исполнения; при трелевке деревьев, особенно за комли, труднее сохранить подрост и предотвратить повреждения осталяемых на корню деревьев; при исполнении *десятой* схемы большое количество порубочных остатков остается на лесосеке, что ограничивает возможность их полезного использования и повышает риск лесных пожаров; имеются и другие недостатки.

Литература

- 1.Патякин В.И., Григорьев И.В., Иванов В.А., Редькин А.К. Технология и оборудование лесопромышленных производств. СПбГЛТА, 2009. 362 с.
- 2.Григорьев И.В., Валяжонков В.Д. Современные машины и технологические процессы лесосечных работ: моногр. СПб: СПбГЛТА, 2009. 287 с.
3. Методы лесозаготовок [Слайды]. компания John Deere, 2005.

References

1. Patyakin V. I. Technology and equipment for timber industry / Grigoriev I.V., Ivanov V. A., Red'kin A.K., etc. SPb.: SPbGLTA, 2009. 362 s.
2. Grigoriev I.V., Valyazhonkov V. D. Modern machinery and technological processes of cutting area works: monogr. SPb: SPbGLTA, 2009. 287 s.
3. Lumbering techniques [Slides]. John Deere Company, 2005.

Геодезические наблюдения за деформациями Братской ГЭС

В.Г. Иванов^{1*}

¹Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия
Статья поступила 27.11. 2011, принята 15.02.2012

Плотины, подпирающие значительные по объему водохранилища, всегда несут потенциальную социальную опасность. Аварии и разрушения приносят огромный экономический ущерб и нередко сопровождаются многочисленными людскими жертвами. В статье в хронологическом порядке приведены примеры последствия разрушений крупных плотин. Основной причиной катастроф явились недостаточная изученность геологического основания, нехватка, а то и полное отсутствие контрольно-измерительной аппаратуры (КИА). Братская ГЭС была первенцем возведения высотных плотин в нашей стране. Учитывая печальный опыт зарубежного и отечественного плотиностроения, проектом была предусмотрена закладка 1,5 тыс. различных знаков – створных, осадочных марок, прямых и обратных отвесов, телетензометров, пьезометров и других. В процессе строительства и эксплуатации плотины их общее количество достигло 2,5 тысяч. В течение нескольких лет по договору с дирекцией Братской ГЭС геодезические работы по наблюдению за деформациями плотины выполняли сотрудники Братского государственного университета. Автор лично в течение 18 лет принимал непосредственное участие во всех видах наблюдений, в начале в качестве исполнителя, а потом и ответственного исполнителя. Усовершенствовав методику высокоточного нивелирования, удалось уменьшить погрешность передачи отметок в тело плотины и выявить в эксплуатационный период упругую работу основания плотины в зависимости от наполнения и сработки водохранилища. Большое внимание было уделено исследованиям по устойчивости опорных штольневых, скальных и глубинных реперов с длиной реперной штанги до 150 м. Неожиданно большой оказалась воронка оседания диабазовой плиты в нижнем бьефе (НБ). Первоначально заложённые реперы сами оказались в зоне оседания. Пришлось закладывать дополнительные. В результате фактических наблюдений и экспериментальных расчетов автору удалось получить экспоненциальные уравнения оседания скального основания в нижнем бьефе, а также вероятные размеры границы влияния осадок до 2 км. Безопасность плотины Братской ГЭС гарантируется постоянными наблюдениями за ее состоянием, значительную часть из них составляют геодезические. Каких-либо опасных перемещений, выходящих за пределы нормальной работы плотины в эксплуатационный период, не выявляется.

Ключевые слова: плотины, разрушения плотин, геодезические знаки, высокоточное нивелирование.

* E-mail address: VictoVana@mail.ru

Geodesic deformation surveillance at the Bratsk hydroelectric power station

V.G. Ivanov^{1*}

¹Bratsk State University, 40, Makarenko str., Bratsk, Russia
Received 27.11.2011; Accepted 15.02.2012

Dams shoring up sizeable reservoirs have always been of potential social danger. Accidents and failures inflict enormous economic damage and frequently involve widespread human toll. The article chronologically gives examples of the major dams failures. The principal failure causes are an inadequate basement study, the shortage or total lack of inspection equipment. The Bratsk Hydroelectric Power Station was the first high-rise dam erected in this country. Taking into consideration regrettable results of domestic and foreign dams construction, the project provided for laying of about 1.5 thousand different tripods – range, sagging marks, direct and inverted plumb lines, teletensometers, piezometers etc. In the process of the dam construction and operation their total number reached 2.5 thousand. Under the contract concluded with the Bratsk Hydroelectric Power Station Management, the land measuring concerning the dam's deformation surveillance was conducted for several years by the employees of Bratsk State University. The author of the article has been participating in all kinds of surveillances for 18 years as an executing officer at first, then as a senior executing officer. Having improved the precise levelling technique, it has been possible to reduce the mark transmission error into the dam body and reveal the elastic behaviour of the base of the dam during its operating period depending on replenishment and draw-off of the reservoir. Much attention was paid to the study of supporting tunnel, rock and deep-water permanent benchmarks stability, the benchmark beam length being up to 150 meters. The diabase slab sagging crater at the tail-water turned out to be unexpectedly large. The initially laid benchmarks themselves were found to be in the sagging area. So, some extra ones were needed. As a result of actual observations and experimental calculations, the author succeeded in obtaining the exponential equations for the tail-water bedrock sagging as well as probable size of the sagging boundary impact up to 2 kilometers. The Bratsk Hydroelectric Power Station security has been ensured by constant surveillance of the dam's condition, their considerable part being geodesic ones. No critical displacements overstepping the limits of the dam's acceptable operation has been revealed.

Keywords: dams, dam failures, tripods, precise leveling

Плотины, подпирающие значительные по объему водохранилища, всегда несут социальную опасность, а их аварии и разрушения – большой материальный ущерб и людские жертвы.

Братская ГЭС явилась пионером строительства крупных плотин в суровых условиях Сибири. Несмотря на строительство в последующие годы более крупных плотин, таких, как Красноярская и Саяно-Шушенская, Братская по-прежнему является крупнейшей в нашей стране. При максимальной высоте 125 м, длине бетонной части по гребню 1430 м и береговых земляных плотинах левого (723 м) и правого (2987 м) берега, создавая общий напорный фронт 5140 м, плотина подпирает крупнейшее в мире водохранилище с проектным объемом 169 км³.

В строительный и эксплуатационный периоды сама плотина и ее основание испытывают различные воздействия: от массы самого сооружения, цементации скального основания, экзотермии бетона при твердении и разогреве при этом пород основания с последующим рассеиванием тепла, веса и напора воды со стороны водохранилища, противодействия воды в подошве основания, от неравномерного изменения температуры тела плотины в течение года, приводящего к температурным напряжениям и перемещениям плотины, влияния фильтрации воды через бетон плотины и ее основание и другие.

Мировая и отечественная практика строительства и эксплуатации плотин знает много печальных случаев аварий и разрушений, связанных с неустойчивостью основания и слабым, а то и полным отсутствием инструментального контроля за деформациями сооружения.

Катастрофы плотин по геологическим причинам. Конец XVIII и начало XIX вв. ознаменовались строительством крупных плотин во всем мире, и в первые же годы эксплуатации стали происходить катастрофические разрушения. В 1799 г. произошла катастрофа высокой каменной плотины Дель Гаско в Испании. В 1802 г. там же, в Испании, из-за сильной фильтрации воды в основании рухнула плотина Пуэнтес. Последствием этого были гибель 680 человек и разрушение 809 жилых построек. 27 апреля 1895 г. обрушилась Бузейская плотина во Франции. Полностью были снесены четыре деревни, погибло 156 человек.

В XX веке массовое строительство крупных плотин сопровождалось крупными авариями и катастрофами. Причем, большинство из них произошло в США. 10 сентября 1911 г. рухнула и развалилась на отдельные куски бетонная плотина Аустин (штат Пенсильвания). 15 января 1914 г. произошло катастрофическое разрушение плотины Stony River из-за сильной фильтрации воды в основании. По той же причине произошло крушение в 1915 г. Белоомутской плотины на реке Оке. По геологическим условиям слабости основания в 1923 г. произошло полное разрушение плотины Глено высотой 52 м, в 1928 г. – Сент-Френсис высотой 62,6 м.

Не обошла беда и другие страны – Англию, Францию, Италию, Алжир, Египет и др. В своей книге [1] профессор А.А. Гельфер, подводя итоги причин и форм разрушения гидротехнических сооружений, пишет, что по далеко не полным данным, за период с 1799 по 1935 гг. зарегистрировано 180 аварий и разрушений. Причем, большинство из них произошли в США (144) и в Европе (28).

Он же отмечает что, «большинство случаев разрушения плотин произошло по причинам геологического

характера, которые не были учтены строителями своевременно, до составления проекта и во время производства работ. Слабая геологическая подготовка инженеров, поставленных на ответственные должности, вывleяется с полной очевидностью»[1].

Во второй половине XX века произошел ряд катастроф крупных плотин:

2 декабря 1959г. – Маль Пассе (Франция), 9 октября 1963 г. – Вайонт (Италия), 5 июня 1976 г. – Титон (США). И снова главной причиной разрушений явилась сложность геологического строения основания, его недостаточное изучение, малое количество установленной аппаратуры для наблюдения за деформациями, а то и полное ее отсутствие.

Показателен в этом отношении пример плотины Маль Пассе. Вечером 2 декабря в 20 часов 30 минут смотритель плотины Андре Ферро, покидая свой пост, сделал в журнале запись: «Никаких замечаний». А через 44 минуты жители долины услышали нарастающий гул, похожий на землетрясение или на извержение вулкана. Водяная волна высотой в десятки метров катилась вниз, увлекая громадные куски плотины и сметая все на своем пути. Последствия катастрофы оказались ужасными – 421 человек погиб, свыше 200 пропали без вести, разрушены сотни домов, уничтожены шоссе и железные дороги, погиб скот. Много земли оказалось погребено под толстым слоем камней и грязи.

Постановка наблюдений на плотине Братской ГЭС. Учитывая мировой и отечественный опыт плотностроения, на Братской ГЭС впервые в нашей стране были поставлены обширные наблюдения за деформациями самой плотины и других сооружений гидроузла, а также впервые опробованные многие методики, например, высокоточное нивелирование короткими лучами [2]. Общее количество осадочных марок, створных знаков, пьезометров, телензометров и других устройств в теле плотины составило 2365 [3]. В это количество не включены несколько десятков скальных, грунтовых, штольневых, глубинных реперов и других знаков, заложенных вне плотины и служащих для определения воронки оседания и других деформаций.

В период строительства, наполнения водохранилища и ввода агрегатов в эксплуатацию наблюдения за плотинной и другими сооружениями гидроузла Братской ГЭС вела Ангарская экспедиция института Гидропроект. Затем, в связи с разворачиванием работ на Усть-Илимской ГЭС основные силы экспедиции были передислоцированы.

Дирекция Братской ГЭС с 1970 г. регулярно заключает договоры с Братским госуниверситетом на производство геодезических работ по наблюдению за деформациями плотины и прокладке основного хода по бечевникам в нижнем бьефе (НБ) от тела плотины до удаленных фундаментальных штольневых реперов.

Если наблюдения в потернах плотины характеризовались стабильностью условий и могли производиться в любое время года и суток, то наблюдения по бечевникам, особенно на гребне плотины, зависели от погодных условий. В связи со значительностью створа на гребне плотины (свыше 1 км) качественные наблюдения были возможны до восхода солнца и в первые утренние часы, а вечером – незадолго до захода и столько

времени до темноты, сколько позволяли условия видимости. Поскольку цикл створных наблюдений приурочивался к июню месяцу, наблюдения начинали в 4-5 часов утра, а заканчивали нередко в 23 часа. В ясную погоду в дневное время наблюдения невозможны из-за колебания воздуха и связанной с этим рефракции.

Требования к точности наблюдений были высокими. Средняя квадратическая погрешность определения отметки самой удаленной точки в теле плотины и на гребне не должны были превышать 1 мм. Погрешности наблюдений на станциях не должны превышать 0,1 – 0,15 мм. Для этого использовались высокоточные теодолиты, нивелиры, координатомеры и другая аппаратура. Основными наблюдателями были В.Г. Иванов, Г.И. Кузнецов, Н.В. Репьева, И.И. Садовский (ИПИ).

В период завершения строительства плотины и наполнения водохранилища происходила интенсивная осадка основания, а точность методики, принятой Ангарской экспедицией, вполне обеспечивала проявившиеся закономерности [4]. В эксплуатационный период нарушилась корреляционная связь между осадкой и положением уровня водохранилища, связанного с сезонной сработкой и очередным наполнением. Нами был принят целый ряд мероприятий по совершенствованию аппаратуры и методик работы как в теле плотины, так и по основному нивелирному ходу в нижнем бьефе по бечевникам. В потерне (307 м) для осадочных марок, в том числе наклонных, был разработан новый держатель малогабаритных штанг-реечек, на который было получено авторское свидетельство на изобретение [5, 6].

Значительную погрешность при высокоточном нивелировании вносят даже малые перемещения связующих переходных точек (костылей). Поэтому основной ход по бечевникам от тела плотины до удаленных фундаментальных реперов был обустроен постоянными бетонными монолитами с установленными в них металлическими штырями со сферическими головками. Были внесены изменения и в программу наблюдения на станции, а количество горизонтов прибора увеличено до двух.

Некоторые сложности в определении полной осадки плотины возникли в связи с тем, что неожиданно большой оказалась воронка оседания в НБ. Первоначально выбранные опорные реперы – штольневой фундаментальный Ф3 на правом берегу на удалении 1,1 км от плотины и скальный репер 716 на левом берегу при удалении 1,35 км (рис. 1) сами оказались подвержены осадке. Об этом свидетельствовали «положительные» осадки более удаленных контрольных реперов 727, 725, 728. Тогда за опорные были приняты более удаленные реперы Ф6 и Ф5, но часть осадки была утеряна безвозвратно.

Следует сказать, что при выборе опорных реперов для определения осадок любого сооружения геодезисты, образно говоря, находятся между Сциллой и Харибдой. С одной стороны, опорные реперы должны быть за пределами возможной зоны оседания, а с другой, их удаленность способствует накоплению погрешностей при передаче отметок, а следовательно, меньшей достоверности в определении деформации самого сооружения.

В 1972 г. ниже по течению р. Ангары, за пределами выклинивания диабазовой плиты были заложены глубинные реперы Гл. Рп л/б и Гл. Рп п/б, (рис. 1), но они уже не могли дать размеров полной воронки оседания.

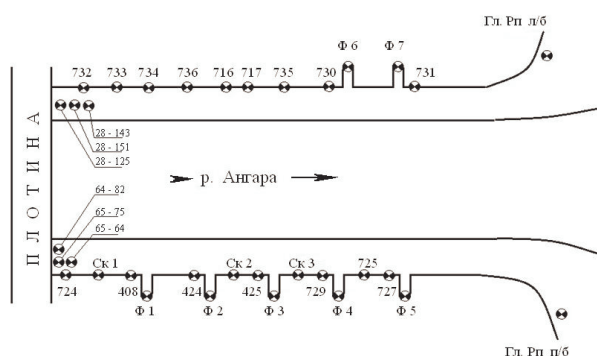


Рис.1. Схема плотины.

По исследованию полной осадки всех сохранившихся реперов бечевника правого берега (рис. 1) автором было получено уравнение осадки (S) воронки оседания экспоненциальной кривой в виде:

$$S = 53,3 \text{ мм} \cdot e^{-0,21D},$$

где D – расстояние, взятое в сотнях метров.

По этому уравнению были рассчитаны вероятные осадки реперов, заложенных в более поздние сроки.

Приняв в уравнении (1) $S = 0$, получим величину вероятной границы воронки оседания:

$$D = \frac{\ln 53,3}{0,21} = 18,9 \text{ сот.м} \approx 1,9 \text{ км}$$

По нашим расчетам и по фактическим величинам осадки реперов, размеры воронки оседания в сторону НБ для скальной диабазовой плиты, на которой возведена плотина Братской ГЭС, оказались значительно больше ожидаемых [9].

Обобщив производственный опыт и специфические особенности конструкции плотины и других сооружений гидроузла, нами была составлена Инструкция [10] по геодезическим наблюдениям в эксплуатационный период.

Максимальная осадка основания плотины составила порядка 80 мм. Причем, большая часть ее произошла за счет уплотнения древних осадочных пород: алевролитов, аргиллитов и песчаников, подстилающих диабазовую плиту.

Несмотря на массивность сооружения, под действием зимних и летних температур плотина совершает сезонные перемещения зимой в сторону НБ, а летом в ВБ. Величина этих перемещений порядка 20 мм. Причем, сезонная сработка водохранилища зимой и очередное наполнение летом являются противодействующими силами, а, следовательно, уменьшают перемещения в направлениях НБ-ВБ.

Автор в течение 18 лет принимал непосредственное участие в геодезических наблюдениях в качестве исполнителя, а позднее – ответственного исполнителя.

Многие исследования, такие, как круглогодичные наблюдения за устойчивостью фундаментальных штольневых реперов и их скальных реперов спутников [11], аномальные перемещения отдельных марок на гребне плотины, высотные перемещения глубинных реперов, имеющих на то время беспрецедентное заглубление якорей до 151 м [12] и другие были выполнены автором по своей инициативе, в рамках сотрудничества с дирекцией Братской ГЭС, без всякой оплаты.

Как вариант избегания трудоемких и небезопасных работ по нивелированию по бечевникам, расположенным в обрывистом, сильно выветренном скальном каньоне реки Ангары, была реализована идея закладки глубинных реперов вблизи самой плотины. На правом берегу куст из трех реперов имел глубину закладки якорей 64, 75 и 82 м. Скважины реперов прошли толщу диабазов и вошли в верхние слои песчаников на глубину 5 - 15м.

Вследствие большей мощности диабазов, на левом берегу штанги глубинных реперов имели размеры 125, 131 и 151 м. На то время это было беспрецедентное решение для плотин.

Кроме двух циклов в году (весенний и осенний), выполняемых геодезистами ГЭС, автором были проведены экспериментальные круглогодичные наблюдения. За весь период наблюдений не установлено какого-либо существенного изменения превышений между реперами в каждом кусте. Достаточно сказать, что превышения между реперами Рп 65-64, Рп 65-75 и Рп 64-82 (рис. 1) в начале наблюдений за ними 24 октября 1980 г. были +84,07 мм; -72,67 мм и +11,40 мм, а по последним наблюдениям 27 ноября 1986 г. соответственно +83,87 мм; -72,68 мм и +11,18 мм. Максимальное расхождение не превысило 0,22 мм.

Аналогичная картина и для куста реперов Рп 28-125, Рп 28-151 и Рп 28-143 левого берега. Из чего следует вывод, что все реперы в кустах оказались устойчивыми.

Сезонные температурные перемещения их определялись относительно ближайшего Рп 724 на правом берегу и марки М 5280 на левом. Максимальные превышения составили всего 1-1,2 мм. Наблюдения за ними в течение 5 лет позволили сделать вывод, что реперы такой конструкции даже при длине штанги до 150 м достаточно устойчивы сами по себе как высотные знаки.

Усовершенствовав методику и повысив точность нивелирования по основному ходу по берегам реки Ангары в эксплуатационный период, удалось установить корреляционную связь между осадкой приплотинных реперов и положением уровня воды ВБ в водохранилище [8]. При сработке водохранилища приплотинные реперы, в том числе и глубинные, и основание плотины приподнимались. При очередном наполнении, наоборот, получали осадку. Следовательно, глубинные реперы практически работают так же, как и приплотинные. Поэтому выйти за зону формирования осадки не удалось, и при данной схеме закладки они не могут служить надежной независимой опорой для определения осадок плотины.

Упругая работа основания, по нашим расчетам, для ближайших приплотинных реперов имеет вид:

$$S \approx 0,4 H - v,$$

где S – значение осадки; H – отметка уровня ВБ; v – постоянная величина для каждого репера или марки.

Такая зависимость позволяет сделать заключение, что на каждые 2,5-3 м сработки или наполнения водохранилища происходит подъем или, соответственно, осадка плотины и приплотинных реперов на 1 мм.

Правомочен вопрос и об устойчивости самих опорных реперов.

Поскольку нивелирный ход прокладывался по берегам и по галерее 307 м в теле плотины и был разомкну-

тым, то качество работы определялось сравнением превышений между фундаментальными штольневыми реперами Ф6 и Ф3. Наша попытка замкнуть ход между противоположными реперами через реку Ангару шириною примерно 800 м способом нивелирования через широкие водные преграды не увенчалось успехом.

Кроме того, в каждом цикле контролировалось превышение между штольневыми реперами и их спутниками – скальными [11], а также между всеми соседними реперами.

В таблице 1 приведены средние значения превышений между удаленными от плотины реперами.

Таблица 1

Период (годы)	Количество циклов	Средние значения превышений, мм				
		Ф6-716	716-736	424-Ск 2	Ск 2-425	425-Ф3
1968-1969	5	+2383,4				+1994,6
1969-1972	5	+2383,8				+1994,8*
1973-1979	5	+2384,3	-303,0	+2546,75*	+1099,4*	+1994,4*
1981-1992	5	+2384,5	-303,0	-2546,2	+1100,1	+1994,6
2002-2009	6	+2384,6	-303,0	-2546,1	+1100,1	+1994,6

* - превышение было получено только в одном цикле

Так, среднее превышение между Ф6 и Рп 716, выведенное из пяти циклов наблюдения в 1968-1969 гг. и из шести циклов в период 2002-2009 гг., различается всего на 1,2 мм. А если сравнить превышение, полученное в 74 цикле (февраль 1967 г.) +2384,0 мм и в цикле 167 (октябрь 2009 г.) +2384,5, то увидим, что за более чем 40-летний период оно очень стабильно. Такая же картина и по другим превышениям.

Это свидетельство отличной устойчивости удаленных опорных реперов и высокой точности нивелирования.

Правомочен и другой вопрос, а есть ли необходимость вести наблюдения за плотиной в эксплуатационный период, когда осадка стабилизировалась, и все перемещения ее не выходят за пределы опасных для устойчивости?

Плотину Братской ГЭС образно можно представить богатырем-исполином, но и за здоровьем богатыря нужно следить постоянно. Хотя срок службы плотины не определен, как и любое сооружение, она стареет. Внешние воздействия приводят к трещиноватости бетона, фильтрация воды вызывает выщелачивание цементного камня, динамические нагрузки от движения автомобильного, а особенно железнодорожного транспорта, взрывы на ближайшем диабазовом карьере так же не могут не сказаться на трещиноватости бетона.

В эксплуатационный период по аномальным осадкам марок на гребне плотины удалось своевременно обнаружить сначала в правобережной, а затем и лево-

бережной земляных плотинах, суффозию и принять своевременные меры по ее предотвращению.

В начале статьи были приведены примеры, когда суффозия, не обнаруженная и не остановленная в начальный период, привела к ряду катастроф плотин.

Разные непредвиденные (нештатные) ситуации техногенного характера также могут приводить к серьезным авариям. Примером того является авария 17 августа 2009 г. на Саяно-Шушенской ГЭС.

Высокое качество подготовки специалистов геодезического, геологического, гидротехнического, строительного и других профилей, их высокий профессионализм востребованы на всех стадиях, от изысканий, проектирования, строительства до эксплуатации сооружений.

Постановка наблюдений группой КИА (контрольно-измерительной аппаратуры), входящий в гидроцех в составе нескольких человек, а также услуги сторонних организаций, как, например, Братского государственного университета, составляют весьма незначительную сумму от общих эксплуатационных затрат. Их исследования дают гарантию социальной безопасности столь важного объекта, как высотная плотина Братской ГЭС, а в случаях незначительных осложнений в эксплуатации сооружения и принятия неотложных мер гарантируют от значительных, а то и не соизмеримо более грандиозных расходов в случаях их позднего обнаружения

Литература

1. Гельфер А.А. Причины и формы разрушения гидротехнических сооружений. ОНТИ. Л.: Гл. редакция строит. лит., 1936. 320 с.
2. Карлсон А.А. О качестве высокоточного нивелирования короткими лучами // Геодезия и картография. 1986. № 4. С. 45-49.
3. Иванов В.Г. Геодезические исследования деформаций крупных бетонных плотин в период их эксплуатации (на примере Братской ГЭС): дис. ... канд. техн. наук. Братск, 1987. 200 с.
4. Журавлев Н.П., Шолин В.Н. О некоторых факторах, влияющих на осадку основания Братской ГЭС // Гидротехническое строительство. 1966. № 5. С. 6-9.
5. Держатель для нивелирной штанги-рейки: а.с. 408148 СССР. № 1769642; опубл. 22.04.74, бюл. № 47.
6. Иванов В.Г. Держатель для штанги-рейки // Исследования по проблемам геодезии и маркшейдерского дела: сб.ст. Иркутск, 1976. Вып. 1. С. 189-192.
7. Иванов В.Г. Из опыта применения постоянных связующих точек в ходе высокоточного нивелирования // Геодезия и картография. 1985. № 3. С. 20-22.
8. Иванов В.Г. Упругие деформации основания бетонной плотины Братской ГЭС // Гидротехническое строительство. 1984. № 10. С. 25-27.
9. Иванов В.Г. О полной осадке основания Братской ГЭС // Гидротехническое строительство. 1986. № 6. С. 57.
10. Иванов В.Г., Кузнецов Г.И., Садовский И.И. Инструкция по геодезическим наблюдениям за деформацией сооружений Братской ГЭС (в эксплуатационный период). Братск, 1973. 188 с.
11. Иванов В.Г. Об использовании фундаментальных штольных реперов // Геодезия и картография. 1985. № 12. С. 22-24.
12. Иванов В.Г., Соловьев З.И., Тимофеев М.А. Исследование устойчивости глубинных реперов в нижнем бьефе плотины Братской ГЭС // Гидротехническое строительство. 1988. № 7. С. 59-61.

References

1. Gel'fer A.A. Sources and forms of waterworks destruction. ONTI. L.: Gl. redaktsiya stroit. lit., 1936. 320 s.
2. Karlson A.A. On the quality of precise leveling by short rays // Geodeziya i kartografiya. 1986. № 4. S. 45-49.
3. Ivanov V.G. The geodesic analysis of large concrete dams during their operating life (by the example of the Bratsk Dam): diss. ... kand. tekhn. nauk. Bratsk, 1987. 200 s.
4. Zhuravlev N.P., Sholin V.N. On some factors influencing the Bratsk Dam foundation yielding // Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo, 1966. № 5. S. 6-9.
5. The holder for a hub: a.s. 408148 SSSR. № 1769642; opubl. 22.04.74, byul. № 47.
6. Ivanov V.G. The holder for a hub // Issledovaniya po problemam geodezii i marksheyderskogo dela: sb. st. Irkutsk, 1976. Vyp. 1. S. 189-192.
7. Ivanov V.G. Practice of applying fixed change points in the course of precise leveling // Geodeziya i kartografiya. 1985. №3. S. 20-22.
8. Ivanov V.G. Elastic deformations of the Bratsk Dam foundation // Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo. 1984. № 10. S. 25-27.
9. Ivanov V.G. On the ultimate settlement of the Bratsk Dam foundation // Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo. 1986. № 6. S. 57.
10. Ivanov V.G., Kuznetsov G.I., Sadovsky I.I. Directions on the geodesic observation of the Bratsk Dam facilities deformation (during its operating life). Bratsk, 1973. 188 s.
11. Ivanov V.G. On the application of adit benchmarks // Geodeziya i kartografiya. 1985. № 12. S. 22-24.
12. Ivanov V.G., Solov'yov Z.I., Timofeev M.A. The stability analysis of deep-water benchmarks at the Bratsk Dam tail-water // Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo. 1988. № 7. S. 59-61.

УДК 662.998:666.1/28

Легкий наполнитель на основе модифицированного жидкого стекла и дисперсных отходов металлургии и теплоэнергетики

Н.А. Лохова^{1*} Н.В. Боева¹

¹Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия
Статья поступила 12.10.2011, принята 15.02.2012

Показана эффективность применения модифицированного жидкого стекла и дисперсных отходов металлургии (пыль газоочистки ферросплавного производства) и энергетики (зола-унос от сжигания бурых углей) для производства легкого заполнителя бетонов при температуре обжига 300 °С. Высокая топливо- и энергоёмкость производства керамзита, отсутствие хорошо вспучивающихся глинистых пород делает актуальной разработку новых искусственных заполнителей на основе местного техногенного сырья. Энерго- и ресурсосбережение обеспечивает известная технология изготовления стеклопора путем вспучивания масс, содержащих жидкое стекло и минеральные добавки-наполнители, при температуре до 400 °С. В Братском государственном университете ранее установлена возможность изготовления легкого заполнителя из микрокремнезема Братского завода ферросплавов и щелочи с минеральными (зола-унос, глиеж) или органическими добавками (сульфатное мыло). Однако совершенствование металлургических процессов на Братском заводе ферросплавов привело к изменению granulометрического и химического состава микрокремнезема и необходимости существенной корректировки известной технологии. Анализ химического состава отхода показал, что с повышением содержания (CaO+MgO) в микрокремнеземе стало невозможно использовать водный раствор щелочи в качестве жидкости затворения вследствие быстрой схватываемости сырьевой смеси. Для сохранения пластических свойств и вспучивающей способности массы предложено применение в качестве жидкости затворения модифицированного жидкого стекла. Выявлено, что введение поверхностно-активных веществ (ПАВ) в сырьевую смесь увеличивает ее жизнеспособность. Рациональный расход добавки зола-унос и температура обжига при изготовлении заполнителя установлены с помощью математического моделирования эксперимента. Исходный

* E-mail address: nlokhova@yandex.ru