

УДК 528.02/.08:627.712.7

DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-2-66-75

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПО ПРОГРАММЕ ОБЩЕГО СТВОРА

Валерий Геннадьевич Сальников

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)932-62-20, e-mail: salnikov@ssga.ru

Методика выполнения измерений по программе оптического створа основывается на измерении малых углов (отклонения круга право (КП) от створа) с помощью оптического теодолита и неподвижной визирной марки. Данный способ выполнения измерений применяется на многих гидротехнических сооружениях. Цель работ: усовершенствовать данную методику измерений нестворностей. С этой целью был применен координатный метод с использованием тахеометра и неподвижного призмного отражателя, апробированный для определения створа плотины ГЭС. В результате проведенных экспериментов удалось выявить существенную оперативность и информативность метода, подтвердившиеся результатами камеральной обработки с использованием команды «параллельного размера» в программном продукте AutoCAD. Сделан вывод, что исследуемый метод позволяет координировать створные пункты с требуемой точностью и более высокой оперативностью, что способствует измерению общего створа более 1 км методом «последовательного переноса».

Ключевые слова: оптический створ, общий створ, способ малых углов, координатный метод, гидротехническое сооружение, производственный эксперимент, результаты, створные пункты, AutoCAD, последовательный перенос.

Введение

Выполнение работ по определению осадок и деформаций [1–4] является обязательным видом геодезических работ, необходимым для безопасной эксплуатации гидротехнических объектов, а также в процессе их строительства. В состав геодезических работ по определению пространственного положения гравитационной плотины традиционно входят створные измерения, обеспечивающие определение смещений плотины относительно заданного общего створа.

Методика выполнения данных измерений оптическими теодолитами хорошо изучена, но с появлением современных высокоточных тахеометров появляется возможность совершенствования данной методики измерений нестворностей с применением указанных приборов, являющихся основными инструментами геодезистов.

В связи с этим рассмотрим действующую методику выполнения измерений нестворностей по программе общего створа и обсудим ее возможное усовершенствование на примере действующей гидроэлектростанции.

Объектом выполнения исследований является гидроэлектростанция Мамаканская ГЭС, расположенная в десяти километрах от города Бодайбо, Иркутской области. Сооружения Мамаканской ГЭС находятся в 1,2 км выше устья

р. Мамакан, являющейся левым притоком р. Витим. Правый берег реки у примыкания плотины скалистый, крутой. Левый – более пологий, с уклонами 15–20°. Сечение реки на участке ниже плотины – корытообразное. Ширина реки в этом месте составляет 100–120 м. Отметки берегов в районе примыканий плотины около 300 м (при отметке гребня плотины – 283 м). Нижний бьеф Мамаканской ГЭС находится в подпоре от р. Витим [5].

В состав Мамаканского гидроузла входят следующие гидротехнические сооружения [6, 7]:

- бетонная гравитационная плотина, создающая напорный фронт протяженностью 346,65 м;
- приплотинное здание ГЭС;
- отводящий канал ГЭС;
- раздельная стенка между отводящим каналом ГЭС и нижним бьефом водосбросной плотины.

Бетонная гравитационная плотина состоит из водосливной части, стационарной части (щитовой стенки) и двух глухих частей: правобережной и левобережной [7].

Водосливная часть расположена у правого берега реки, стационарная часть и ГЭС – у левого берега, глухие части – на береговых склонах. Особенностью конструкции плотины Мамаканской ГЭС является устройство в ней расширенных швов шириной 6,0 м, перекрытых со стороны нижнего бьефа монолитной плитой толщиной 3,0 м. В основу профиля плотины положен треугольник с вершиной на уровне ФПУ – 281,5 м.

Перед началом выполнения исследований была выполнена рекогносцировка плано-высотной основы, рабочих реперов и осадочных марок на всей территории Мамаканской ГЭС (таблица) [8].

Список геодезической контрольно-измерительной аппаратуры

№ п/п	Наименование КИА	Места установки	Кол-во
1.	Прямые отвесы (ПО) с оборудованием отсчетных станций.	В расширенных швах секций 15 и 17 плотины	4
2.	Двухмарочные щелемеры (2МЩ)	В галерее $H = 240,0$ м В галерее $H = 256,0$ м На гребне плотины В здании ГЭС Всего:	12 10 5 3 30
3.	Трехмарочные щелемеры (3МЩ)	В галерее левобережной глухой плотины В галерее $H = 277,0$ м стационарной плотины На гребне плотины Всего:	5 5 3 13

Окончание табл.

№ п/п	Наименование КИА	Места установки	Кол-во
4.	Створные знаки (СЗ)	Гребень плотины	14
5.	Осадочные марки и стенные реперы (в 2006 г. дополнительно установлены болты на створных знаках – 5 шт.)	В галерее $H = 240,0$ м	24
В секциях 7 и 8		5	
На гребне плотины		15	
На трансформаторной площадке (низовая грань плотины)		6	
В здании ГЭС		18	
	Всего:	75	
6.	Опорные знаки оптического створа, с нивелирными марками	Створ плотины, левобережное и правобережное примыкания	2
7.	Грунтовые реперы – опорные знаки трилатерации и нивелированной сети (в 2006 г. дополнительно использованы 2 репера)	Территория ГЭС, левый и правый берег	5
9.	Скальные реперы	Нижний бьеф, левый берег	2
Правобережная штольня, $H = 240,0$ м		1	
Всего:		3	
Всего геодезической КИА на объекте			135

Согласно данным, приведенным в табл. 1 п. 4 и 6, общее количество створных знаков равно 14 плюс два опорных знака оптического створа [2, 5, 9].

Методы и методики

Створные наблюдения производились в пасмурную погоду, при слабом ветре и температуре воздуха около плюс 10°C .

Рассмотрим *первый способ* выполнения измерений.

Методика выполнения измерений оптическим створом, основанная на измерении малых углов (отклонения КП от створа) с помощью оптического теодолита и неподвижной визирной марки предусматривает следующую последовательность [2, 4, 10]:

– на опорном пункте п. Б устанавливается теодолит ЗТ2КП, а на опорном п. А и на створном п. Сбл – неподвижные визирные марки конструкции Ленгидропроекта, входящие в комплект подвижной марки (рис. 1, б, в);

– теодолит и визирные марки центрируются в гнездовых центрах знаков принудительно при помощи центрировочных шариков, ввинченных в станочные отверстия приборов. Подставки марок горизонтируются при помощи лотаппарата;

– измеряется горизонтальный угол между направлениями на марки. Угол измеряется тремя полными приемами с выполнением двух совмещений в каждом полуприеме;

– визирная марка вместе с подставкой снимается со створного знака п. Сбл и центрируется на следующем створном пункте. Затем измеряется горизонтальный угол между направлениями на п. А и на следующий створный пункт;

– визирная марка устанавливается последовательно на всех створных пунктах с измерением горизонтальных углов по программе, изложенной выше;

– теодолит переставляется на п. А, а визирные марки последовательно устанавливаются на п. Б и на все створные пункты. Затем выполняются измерения горизонтальных углов в обратном направлении по изложенной выше методике.

Необходимо отметить, что при выполнении измерений отклонения от створа всех створных пунктов были незначительны и не превышали $5'$. Это позволило выполнить измерения всех горизонтальных углов с использованием только одного «нулевого» штриха лимба [1, 2, 4, 11]. При измерениях всех углов, во всех приемах, начальные установки лимба были близки к $00^{\circ} 05'$.

Такая методика измерений позволяет исключить ошибки делений и ошибки за эксцентриситет алидады горизонтального круга.

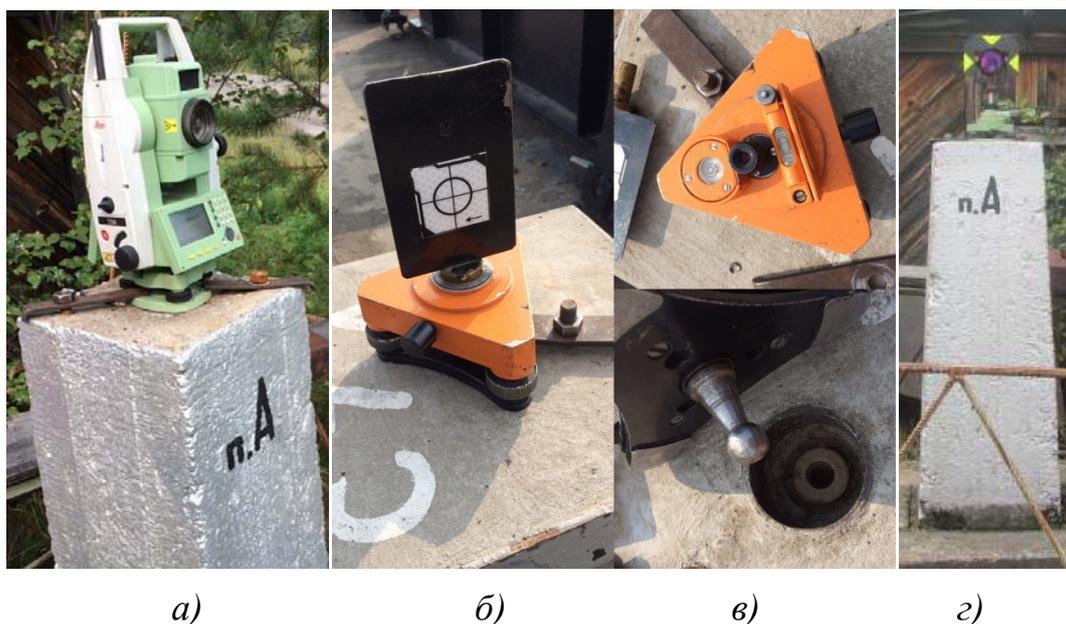


Рис. 1. Геодезическое оборудование:

- а) тахеометр; б) неподвижная марка; в) лотаппарат и гнездовой центр;
г) призмный отражатель

Рассмотрим *второй способ* выполнения измерений, который является усовершенствованным первым способом измерений по программе общего створа. Данный способ основан на создании условной системы координат на опорных знаках оптического створа. Координатные оси располагают таким образом,

чтобы X или Y (в зависимости от выбора) находились на общем оптическом створе. Отклонение от заданной координатной оси будет показывать смещение от общего створа каждого створного пункта. В связи с этим была разработана методика выполнения измерений по программе общего створа с использованием координатного способа. Измерения выполняются в следующей последовательности [11–13]:

- тахеометр Leica TS06 ultra arctic 2 устанавливается на опорном пункте п. А, а неподвижный призмный отражатель – на опорном п. Б. В тахеометре на горизонтальном круге устанавливается отсчет $00^{\circ}00'00''$, и выполняется измерение горизонтального проложения между п. А и п. Б. Задается условная система координат п. А ($X = 100,000$ м $Y = 400,000$ м) и п. Б ($X = 100,000$ м $Y = 828,540$ м) (рис. 1, а);

- в тахеометр, который находится на п. А, вводятся координаты прибора ($X = 100,000$ м $Y = 400,000$ м), после чего производится ориентирование на п. Б с координатами ($X = 100,000$ м $Y = 828,540$ м). На дисплее высветится «Станция сориентирована»;

- на все створные пункты, начиная с п. Сбл, устанавливается неподвижная визирная марка. Затем выполняются измерения в режиме съемки, отчеты берутся по 3 раза и так по всем створным пунктам;

- на трегере открепляется зажимной винт, и тахеометр снимается с него. Необходимо выполнить снятие тахеометра с большой аккуратностью, чтобы круглый уровень на подставке оставался в нуль-пункте. Далее тахеометр с п. А переносится на п. Б;

- на трегере открепляется зажимной винт, и призмный отражатель снимается с него (рис. 1, з). На место призмного отражателя на п. Б устанавливается тахеометр. Уровень на тахеометре должен быть в нуль-пункте;

- призмный отражатель переносится на п. А;

- в тахеометр, который находится на п. Б, вводятся координаты прибора ($X = 100,000$ м $Y = 828,540$ м) ($X = 100,000$ м $Y = 400,000$ м) и ориентируются на п. А с координатами ($X = 100,000$ м $Y = 400,000$ м). На дисплее высветится «Станция сориентирована»;

- неподвижная визирная марка переставляется на все створные пункты в обратной последовательности и измерения повторяются.

Таким образом, измерения выполняются в направлении от п. А до п. Б и наоборот. На каждый створный знак выполнены измерения шесть раз. Далее выполняется камеральная обработка полевых измерений [9, 11, 12, 14].

Результаты

В программном продукте AutoCAD можно наглядно начертить створную линию от п. А до п. Б по координате $X = 100,000$ м и общего расстояния $S = 428,540$ м (рис. 2).

Геометрия	
Положение X	400.0000
Положение Y	100.0000
Положение Z	199.9925
Масштаб X	0.0020
Масштаб Y	0.0020
Масштаб Z	0.0020
Разное	

Геометрия	
Положение X	828.5398
Положение Y	100.0000
Положение Z	202.3770
Масштаб X	0.0020
Масштаб Y	0.0020
Масштаб Z	0.0020
Разное	



Рис. 2. Основной створ от п. А до п. Б

В процессе выполнения измерений на каждом створном пункте можно отследить отклонение от створа по координатам X_{i+1} на примере створного пункта п. Сбл (рис. 3).

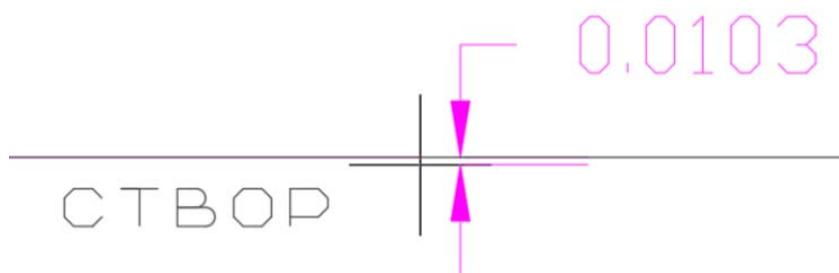


Рис. 3. Отклонение от створа п. Сбл.

После выполнения измерений двумя способами был составлен график отклонения от створа (рис. 4) [4, 10, 13–17].

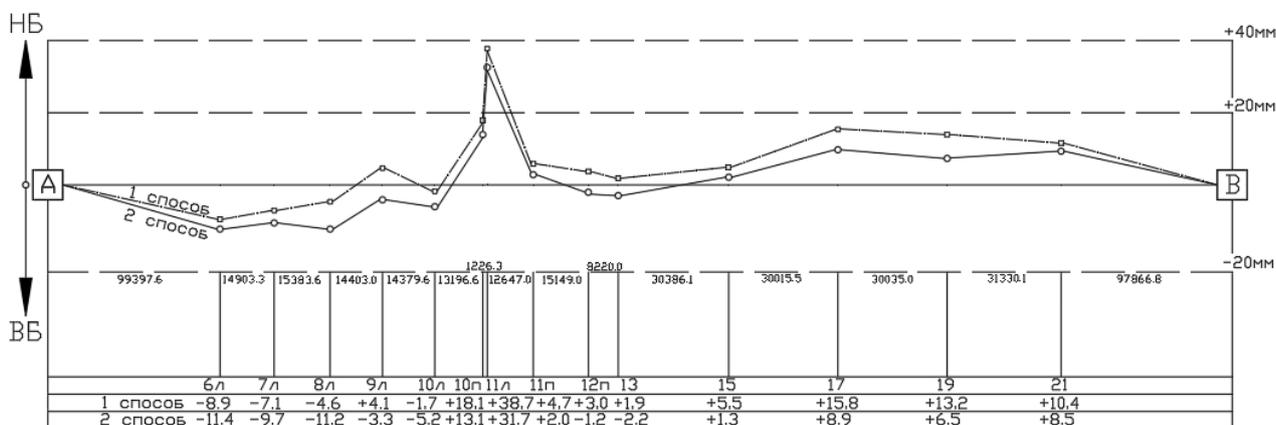


Рис. 4. График отклонения от створа

Выводы

В результате проведения исследований по выполнению совершенствования методики общего оптического створа действующего гидротехнического объекта получены следующие выводы:

– полученные результаты измерений нестворности теодолитом 3Т2КП и тахеометром Leica TS06 ultra arctic 2 между собой схожи, что позволяет в дальнейшем использовать тахеометр при выполнении измерений по первому способу (см. рис. 4) [18–20];

– внедрение координатного способа при выполнении измерений нестворности по программе общего створа позволяет использовать современные программные продукты при графической обработке результатов полевой съемки;

– выявление фактических отклонений створных пунктов от заданного створа с помощью координатной оси и возможностью использовать команду «параллельного размера» в программном продукте AutoCAD исключает ошибки наблюдателя при записи полевых данных;

– координатный способ позволяет координировать створные пункты, что способствует измерению общего створа более 1 км методом «последовательного переноса».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпик А. П., Стефаненко Н. И. Оценка состояния Саяно-Шушенской плотины в период нормальной эксплуатации по данным геодезических измерений // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 5. – С. 3–10.
2. Ямбаев Х. К. Высокоточные створные измерения. – М. : Недра, 1986. – 264 с.
3. Скрипникова М. А. Возможности применения автоматизированных высокоточных электронных тахеометров при измерении деформаций инженерных сооружений // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 1, ч. 1. – С. 131–134.
4. Наблюдения за осадками и горизонтальными смещениями бетонных гидротехнических сооружений Новосибирской ГЭС : отчет о НИР (заключительный) / Сибирская государственная геодезическая академия; рук. А. П. Карпик ; исполн. : Жуков Б. Н. и др. – № ГР 0198.0004957. – Новосибирск, 2004. – 46 с.
5. Rechitskii V. I., Pudov K. O. Refined model of the concrete dam at the Boguchanskaya HPP based on field observations // Power Technology and Engineering. – 2014. – Vol. 47. – No. 6. – P. 393–399.
6. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. ГОСТ Р 55260.1.9-2013. Гидроэлектростанции. Ч. 1–9. Сооружения ГЭС гидротехнические. Требования безопасности при эксплуатации: нац. стандарт РФ. – Введ. 01.07.2015. – М. : Стандартинформ, 2014. – 30 с.
8. Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84 : СП 126.13330.2012. – М. : Минрегион России, 2012. – 84 с.
9. Studies on the static and dynamic behaviour of the Sayano-SHusnenskaya arch gravity dam / A. I. Savich, V. I. Bronshtein, M. E. Groshev, E. G. Gaziev, M. M. Llyyn, V. I. Rechitski, V. V. Rechifski // International Journal on Hydropower and Dams. – 2013. – Vol. 20, No. 6. – P. 53–58.

10. Henriques M. J., Lima J. N., Oliveira S. B. Measuring of inclinations in Cabril dam: results of a test using an optoelectronic sensors // 6th International Conferences on Dam Engineering (Lisbon, February 15–17). – Portugal, 2011.
11. Горяинов И. В. Экспериментальные исследования применения обратной линейно-угловой засечки для оценки стабильности пунктов плановой деформационной геодезической сети // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 1. – С. 28–39.
12. Применение современных автоматизированных геодезических приборов для мониторинга гидротехнических сооружений ГЭС / В. Г. Сальников, В. А. Скрипников, М. А. Скрипникова, Т. А. Хлебникова // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 108–124.
13. Шоломицкий А. А., Лагутина Е. К., Соболева Е. Л. Высокоточные геодезические измерения при деформационном мониторинге аквапарка // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 3. – С. 45–59.
14. РД 153-34.2-21.342-00. Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений. – М., 2001. – 24 с.
15. Руководство по эксплуатации V.5.5 Leica TS06. – Heerbrugg, Switzerland, Leica Geosystems AG, 2005. – 215 с.
16. Gutov S. S., Li. V. T. Automated Satellite System for Strain Monitoring at the SayanoShushenskaya Hydroelectric Power Plant. Practical Experience in its Introduction // Power Technology and Engineering. – 2015. – Vol. 49, No. 4. – P. 252–257.
17. Малик Т. Н., Бурачек В. Г., Брик Я. П. Метод автоматизированного геодезического сплошного контроля деформаций инженерных сооружений // Технические науки и технологии. – 2016. – № 1 (3). – С. 145–152.
18. Cranenbroeck J. State of the Art in Structural Geodetic Monitoring Solutions for Hydro Power Plant // FIG Working Week 2011 «Bridging the Gap between Cultures». – Marrakech, Morocco, 2011.
19. Геодезический контроль за сооружениями Братской ГЭС / Н. А. Лебедев, С. В. Орлов, А. Ф. Шерстнев, А. В. Дудин, А. А. Карлсон // Гидротехническое строительство. – 2005. – № 1. – С. 9–20.
20. Некоторые направления развития и объекты использования методов высокоточной прикладной геодезии / И. Ю. Васютинский, В. В. Ознамец, С. П. Буюкян, А. А. Жидков // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2019. – № 1. – С. 40–44.

Получено 25.04.2019

© В. Г. Сальников, 2019

IMPROVING THE MEASUREMENT METHOD ON THE OVERALL ALIGNMENT PROGRAM

Valerij G. Salnikov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (913)932-62-20, e-mail: salnikov@ssga.ru

The method of measurement by optical alignment is based on the measurement of narrow angles (deviations of control points from alignment) with the help of optical theodolite and fixed sight mark. This measurement method is applied on a big number of hydraulic engineering structures. The objective of works: to improve the measurement method on the program of overall alignment. For this purpose was applied the reference method with the use of total station and fixed prism reflector for determination of HPP dam alignment. In the result of performed experiments it was pos-

sible to reveal significant efficiency and informativity of the method, approved by obtained data in cameral processing by using the command of "parallel size" in AutoCAD software. The conclusion is made that, the reference method lets coordinate alignment points with the required accuracy and more efficient productivity, which helps perform measurements to overall alignment for more than 1 km by the method of "successive intervals".

Key words: optical alignment, overall alignment, narrow angles method, reference method, hydraulic structure, production experiment, the results, alignment points, AutoCAD, successive interval.

REFERENCE

1. Karpik, A. P., & Stefanenko, N. I. (2009). Evaluation of Sajano-Shushenskaja dam condition in the period of normal operation using geodetic measurement data. *Izvestiya Vuzov. Geodeziya i Aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 5, 3–10 [in Russian].
2. Jambaev, H. K. (1986). *Vysokotochnye stvornye izmerenija [High-accuracy measurements]*. Moscow: Nedra Publ., 264 p. [in Russian].
3. Skripnikova, M. A. (2010). Application of automated high-precision total stations in measuring deformations of engineering structures. In *Sbornik materialov GEO-Sibir'-2010: T. 1, ch. 1 [Proceedings of GEO-Siberia-2010: Vol. 1, Part 1]* (pp. 131–134). Novosibirsk: SGGA Publ. [in Russian].
4. Scientific report No. GR 0198.0004957. (2004). Observations for settlements and horizontal displacements of concrete hydraulic structures of Novosibirsk HPP. A. P. Karpik (Head), & B. N. Zhukov etc. (Executors). Novosibirsk: SGGA Publ., 46 p. [in Russian].
5. Rechitskii, V. I., & Pudov, K. O. (2014). Refined model of the concrete dam at the Boguchanskaya HPP based on field observations. *Power Technology and Engineering*, 47(6), 393–399.
6. Code of Practice SP 47.13330.2012. Engineering site investigation for constructions. Basic statements. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
7. Standarts Russian Federation. (2014). GOST R 55260.1.9-2013. Hydraulic structures. Safety requirements for exploitation: national standard. Moscow: Standartinform Publ., 30 p. [in Russian].
8. Code of Practice. (2012). Geodetic works in construction. Updated version of SNiP 3.01.03-84: SP 126.13330.2012. Moscow: Minregion Rossii, 84 p. [in Russian].
9. Savich, A. I., Bronshtein, V. I., Groshev, M. E., Gaziev, E. G., Lliyn, M. M., Rechitski, V. I., & Rechifski, V. V. (2013). Studies on the static and dynamic behaviour of the Sayano-Shushenskaya arch gravity dam. *International Journal on Hydropower and Dams*, 20(6), 53–58.
10. Henriques, M. J., Lima, J. N., & Oliveira, S. B. (2011). Measuring of inclinations in Cabril dam: results of a test using an optoelectronic sensors. *6th International Conferences on Dam Engineering*. Portugal, Lisbon.
11. Gorjainov, I. V. (2018). Experimental research of linear-angular back-sight application for stability evaluation of horizontal geodetic control network points. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(1), 28–39 [in Russian].
12. Sal'nikov, V. G., Skripnikov, V. A., Skripnikova, M. A., & Hlebnikova, T. A. (2018). Use of modern automated geodetic devices for monitoring hydrotechnical constructions of hydro power stations. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(3), 108–124 [in Russian].
13. Sholomickij, A. A., Lagutina, E. K., & Soboleva, E. L. (2017). High-accuracy geodetic measurements in deformation monitoring of Aquapark. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(3), 45–59 [in Russian].
14. RD 153-34.2-21.342-00. (2001). Method for determination of safety requirements for hydraulic structures. Moscow, 24 p. [in Russian].

15. User manual V.5.5 Leica TS06. (2005). Heerbrugg, Switzerland: Leica Geosystems AG, 215 p. [in Russian].
16. Gutov, S. S., & Li, V. T. (2015). Automated Satellite System for Strain Monitoring at the Sayano-Shushenskaya Hydroelectric Power Plant. Practical Experience in its Introduction. *Power Technology and Engineering*, 49(4), 252–257.
17. Malik, T. N. Burachek, V. G., & Brik, Ja. P. (2016). Method of full automated geodetic control of engineering structures' deformations. *Tehnicheskie nauki i tehnologii [Technical sciences and technologies]*, 1(3), 145–152 [in Russian].
18. Cranenbroeck, J. (2011). State of the Art in Structural Geodetic Monitoring Solutions for Hydro Power Plant. *FIG Working Week 2011: Bridging the Gap between Cultures*. Marrakech, Morocco.
19. Lebedev, N. A., Orlov, S. V., Sherstnev, A. F., Dudin, A. V., Karlson, A. A. (2005). Geodetic control of Bratskaja HPP structures. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo [Hydraulic Engineering]*, 1, 9–20 [in Russian].
20. Vasjutinskij, I. Ju., Oznamec, V. V., Bujukjan, S. P., & Zhidkov, A. A. (2019). Some tendencies of development and objects for methods of high-accuracy applied geodesy. *Izvestiya Vuzov. Geodeziya i Aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 1, 40–44 [in Russian].

Received 25.04.2019

© V. G. Salnikov, 2019