

**РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК СКАЛЬНОГО ОСНОВАНИЯ
СЕКЦИИ № 28 БЕТОННОЙ ПЛОТИНЫ БОГУЧАНСКОЙ ГЭС**

П.В. ШЕСТОПАЛОВ, инженер

АО «ИГХолдинг Рус», 123317, Москва, Пресненская наб., д.6, стр.2, оф.43-10,
info@ighrus.com

В соответствии с разработанной автором методикой расчетного определения физико-механических характеристик оснований бетонных сооружений на основе конечно-элементных моделей выполнены расчетные исследования деформативных и прочностных характеристик скального основания секции №28 бетонной плотины Богучанской ГЭС с учетом данных натурных наблюдений за осадками основания (в том числе его приконтактных зон).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: секция бетонной плотины Богучанской ГЭС, верховой и низовой столбы, скальное основание, приконтактная зона, деформативные и прочностные физико-механические характеристики, натурные наблюдения, осадки, конечно-элементные модели.

Бетонная плотина Богучанской ГЭС длиной 757 м состоит из 16-ти глухих (общей длиной 287 м), 9-ти стационарных (общей длиной 270 м) и 8-ми водосбросных секций (общей длиной 200 м). Принятая для иллюстрации подхода автора к расчетным исследованиям скального основания секция №28 имеет высоту 97 м, ширину 22 м [1].

Основание секции №28 расположено целиком в области гидротермального изменения долеритов с пониженными деформационными характеристиками. Непосредственно под подошвой секции на глубину 12...20 м залегают долериты зоны B_1^T с проектным модулем деформации 3000 МПа. Как это будет показано далее, в пределах этого слоя непосредственно в приконтактной области (на основе сопоставления результатов расчётов с натурными данными) выделена зона основания B_1^{TK} толщиной 2...3 м с чрезвычайно низкими модулями деформации 100...200 МПа. Ниже зоны B_1^T располагается зона B_2^T с модулем деформации 6000 МПа.

Для измерения относительных осадок скального основания в приконтактной зоне под верховым столбом I секции № 28 установлены два ряда деформометров: в первом ряду №№ 228с21 и 228с22* с базой 2 м и №№ 228с51* и 228с52 с базой 5 м; во втором ряду №№ 228с23 и 228с24 с базой 2 м и №№ 228с53 и 228с54 с базой 5 м; под низовым столбом IV установлены деформометры №№ 228с25* и 228с26 с базой 2 м и №№ 228с55* и 228с56 с базой 5 м (деформометры, помеченные знаком *, не работают к настоящему времени).

Наблюдения за осадками основания секции №28 проводятся с помощью глубинных реперов (на основе деформометров ПЛПС-10), заложенных на глубине 10, 20, 30 и 50 м. Наблюдения за осадками тела секции №28 ведутся по двум потолочным маркам (ПМ-28-1, ПМ-28-2), расположенным в цементационной галерее.

Конструкция секции №28 с основанием и схемой размещения приборов представлена на рис.1.

В верховом столбе (28-I) секции №28 при напряжениях по подошве первого столба 2,31 МПа осадки приконтактной зоны основания изменяются в диапазоне от 3,40 мм (228 с23) до 5,00 мм (228с54), а в низовом столбе (28-IV) они составляют от 3,56 мм (228с26) до 4,54 мм (228с55).

Результаты натурных наблюдений за осадками основания секции №28 бетонной плотины представлены графически на рис. 2.

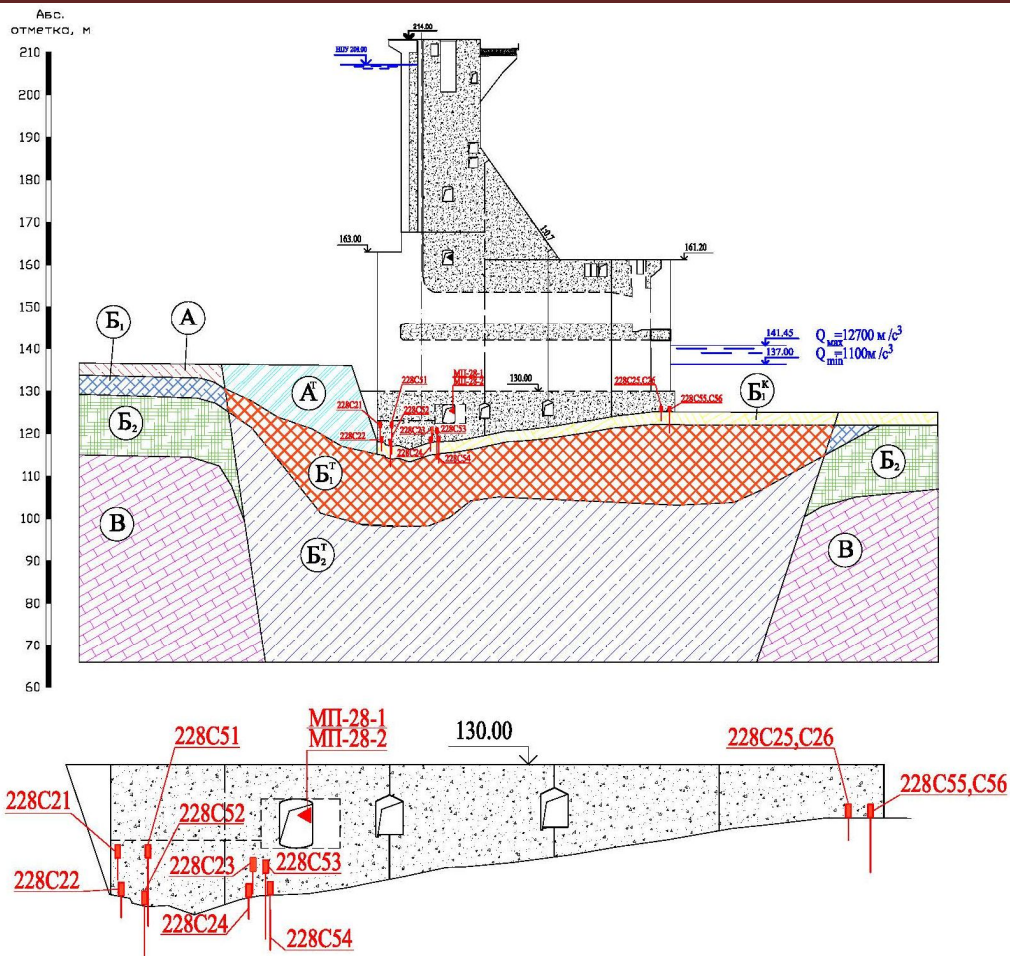


Рис. 1. Конструкция секции №28 бетонной плотины Богучанской ГЭС в сечении вдоль потока

Расчетное уточнение физико-механических характеристик основания секции №28 проводилось итерационным путем для шестнадцати характерных этапов возведения сооружения на основе соответствующих конечно-элементных моделей секции №28 совместно с основанием.

Разработка конечно-элементных моделей секции №28 совместно с основанием проводилась с учетом опыта моделирования бетонных сооружений с основаниями [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Результаты расчета для 16-го этапа возведения секции №28 (по состоянию на начало 2012 г.) приведены в табл. 1.

Таблица 1

| Глубина залегания слоя, м | Модули деформации (МПа) в конце 16-го этапа | | |
|---------------------------|---|---------|--------------------------|
| | В верхней части основания | | В нижней части основания |
| | Створ 1 | Створ 2 | |
| 0-2 | 2615 | 976 | 1187 |
| 2-5 | 2893 | 1084 | 1318 |
| 5-20 | 4523 | 4523 | 4523 |
| 20-35 | 7453 | 7453 | 7453 |

Следует подчеркнуть, что приращения осадок секции №28 на каждом из расчетных этапов и их суммарные значения хорошо согласуются с натурными данными.

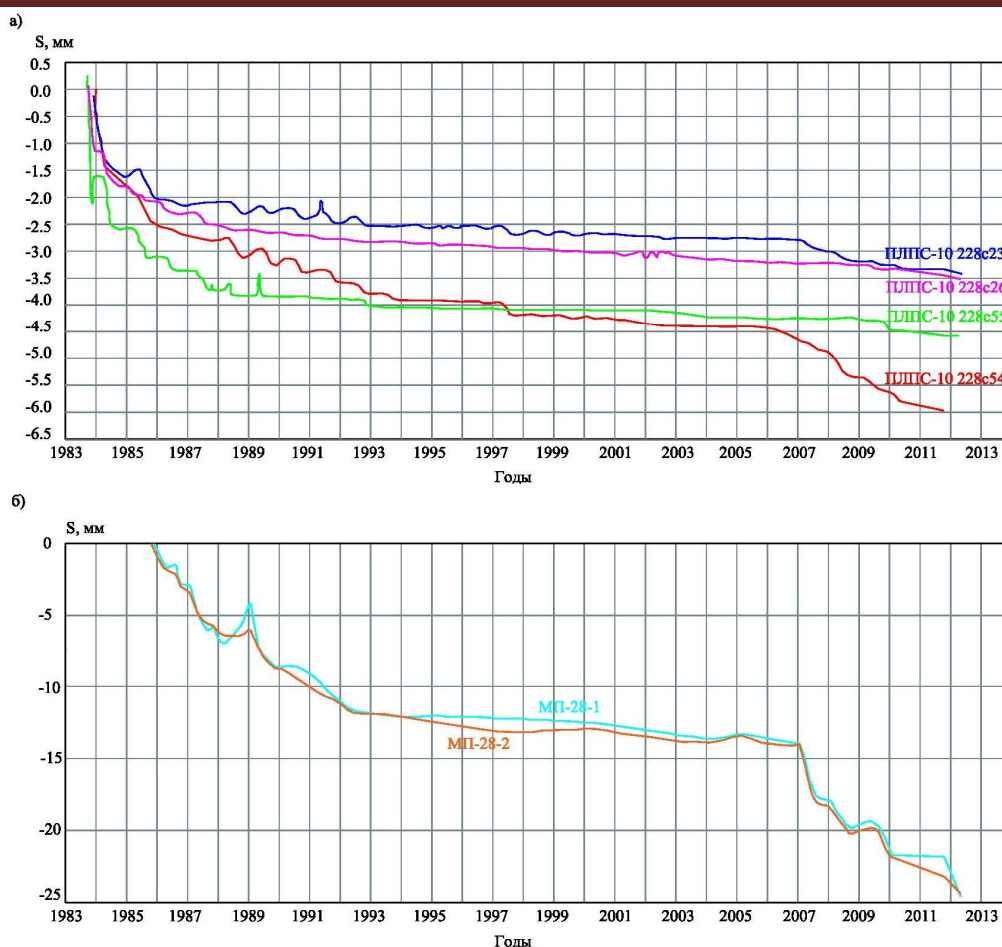


Рис. 2. Результаты натуральных наблюдений за осадками основания секции №28 бетонной плотины: а) данные натуральных измерений относительных осадок основания по деформометрам с базой 2 м и 5 м (верховая и низовая сторона); б) геодезические измерения общих осадок основания

В АО «Институт Гидропроект» на основе многочисленных натуральных экспериментов по определению деформативных и прочностных характеристик скальных пород разработана методика определения параметров R_{cm} , C и $tg\varphi$ по величине модуля деформации приконтактного слоя.

С использованием полученных значений модулей деформации были определены прочностные характеристики грунтов основания секции №28 бетонной плотины Богучанской ГЭС (табл. 2).

Таблица 2 Модули деформации приконтактного слоя E , призмная прочность R_{cm} , сдвиговые параметры C и $tg\varphi$

| №№ п/п | Зона подошвы секции №28 | Деформативные и прочностные характеристики скальной породы приконтактного слоя | | | |
|--------|-------------------------|--|----------------|-------------|-----------|
| | | E , МПа | R_{cm} , МПа | $tg\varphi$ | C , МПа |
| 1 | Верховая (створ 1) | 2615 | 2,615 | 1,163 | 0,471 |
| 2 | Верховая (створ 2) | 976 | 0,976 | 0,945 | 0,213 |
| 3 | Низовая | 1187 | 1,187 | 0,985 | 0,248 |

Полученные результаты определения физико-механических характеристик скального основания секции №28 бетонной плотины Богучанской ГЭС были использованы при проведении поверочных расчетов прочности и устойчивости данной секции.

Л и т е р а т у р а

1. *Volynchikov, A.V.* Structural aspects of the Boguchany project on the Angara river // *The International Journal on Hydropower & Dams*. – 2007. – Iss. 3 (No 3). – Pp.58-62.
2. *Шестопалов П.В.* Расчетные исследования для уточнения физико- механических характеристик скального основания на основе данных натурных наблюдений // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. – 2013. – №1. – С. 66-73.
3. *Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Ляпин О.Б., Неведов А.В.* Исследования бетонных и железобетонных энергетических сооружений // *Гидротехническое строительство*. – 1999. – №8/9. – С. 22-28.
4. *Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Гребенщиков В.П., Цыбаков В.А., Неведов А.В., Катанов А.Д., Пономарев Д.И.* Расчетное обоснование решений по обеспечению надежности конструкций водосброса № 2 бетонной плотины Богучанской ГЭС // В сб. «Бетонные и железобетонные гидротехнические сооружения»: Известия ВНИИГ. – 2005. – Том 244. – С. 227-233.
5. *Лисичкин С.Е., Рубин О.Д., Шакарс И.Э., Новиков С.П.* Расчетная оценка напряженно-деформированного состояния левого блока здания Плявиньской ГЭС с учетом данных натурных наблюдений // *Гидротехническое строительство*. – 1998. – №2. – С. 47-53.
6. *Xu, L.* Stress and Deformation Analysis for the Concrete Face Rockfill Dam of Wuyue Pumped Storage Power Station / L. Xu, Z. Shen, F. Yang, X. Gu // *Materials of ASCE*. – 2012. – Pp. 986-995.
7. *Moraes, R.* Numerical codes used to model failure in large fractured scale and jointed rock slopes in hydropower projects / R. Moraes // *6-th Int. Conference on Dam Engineering*. Lisbon. – 2011. – Pp. 445-451.

R e f e r e n c e s

1. *Volynchikov, AV* (2007). Structural aspects of the Boguchany project on the Angara river. *The International Journal on Hydropower & Dams*, Iss.3 (No.3), pp.58-62.
2. *Shestopalov, PV* (2013). Raschetnye issledovaniya dlya utochneniya fiziko-mekhanicheskikh harakteristik skalnogo osnovaniya na osnove dannih naturnih nabluydeniy. *Stroitel'naya Mehanika Inzhenernykh Konstruktziy i Sooruzheniy*, №1, pp. 66-73.
3. *Rubin, OD, Lisichkin, SE, Lyapin, OB, Nefedov, AV* (1999). Issledovaniya betonnykh i zhelezobetonnykh energeticheskikh sooruzheniy. *Gidrotechnicheskoe Stroitel'stvo*, №8/9, pp. 22-28.
4. *Rubin, OD, Lisichkin, SE, Grebenshchikov, VP, Zcibakov, VA, Nefedov, AV, Katanov, AD, Ponomarev, DI.* (2005). Raschetnoe obosnovanie resheniy po obespecheniyu nad'ozhnosti konstruktsiy vodosbrosa № 2 betonnoy plotini Boguchanskoy GES, Sb. «*Betonnye i Zhelezobetonnye Gidrotechnicheskie Sooruzheniya*», Izv. VNIIG, Vol. 244, pp. 227-233.
5. *Lisichkin, SE, Rubin, OD, Shakars, IE, Novikov, SP* (1998). Raschetnaya ozenka napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya levogo bloka zdaniya Plyavinskoy GES s uch'otom dannih naturnih nabl'udeniya, *Gidrotechnicheskoe Stroitel'stvo*, № 2, pp.22-28.
6. *Xu, L., Shen, Z., Yang, F., Gu, X.* (2012). Stress and Deformation Analysis for the Concrete Face Rockfill Dam of Wuyue Pumped Storage Power Station, *Materials of ASCE*, pp. 986-995.
7. *Moraes, R.* (2011). Numerical codes used to model failure in large fractured scale and jointed rock slopes in hydropower projects, *6-th Int. Conference on Dam Engineering*, Lisbon, pp. 445-451.

SETTLEMENT DEFINITION OF PHYSICAL-AND-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF ROCK FOUNDATIONS OF THE SECTION № 28 OF THE CONCRETE DAM OF BOGUCHANSKAYA HPS

P.V. Shestopalov

JSC "IGHolding Rus", Moscow, Russia

In accordance with the author method of calculation of the physical-and-mechanical characteristics of the foundations of concrete structures based on finite element models, computational studies of deformability and strength characteristics of rock foundation of section №28 of Boguchanskaya HPS concrete dam based on foundation subsidence field data (including its near-contact zones) were performed.

KEY WORDS: section of Boguchanskaya HPS, concrete dam, upstream and downstream poles, bedrock, near-contact zone, deformability and strength, physical-and-mechanical characteristics, field observations, subsidence, finite element model.