

of factors finally results in a large variation of final indicators, especially if to consider changing of the physical state in time. Due to the heterogeneity of soil properties in the construction body the appearance of a random component is assessed with a definite probability. If in the static state it is not difficult to calculate the influence of loads on the hydraulic structure using well-known and accepted methods, under a short-term dynamic impact on the body of the hydraulic structure the determined component is expressed by some approximate function reflecting natural development of the structure destruction. Therefore the forecast of the operational condition of the hydraulic engineering construction according to its temporal series is considered from the determined component forecast and forecast of a random component.

Low pressure soil dams, water consumption level, multiple – factor model, the period of observations, time series, forecast, approximating function, rated autocorrelated function, the actual levels of time series, forecast levels of time series, correlogram.

References

1. Otchet Vsemirnoj commissii po plotinam. M.: Vsemirny fond dikoj prirody (WWF), 2009. 200 s.
2. Zharnitsky V.Ya., Andreev E.V. Analiz posledstvij pazrushenij hidrotehnicheskikh sooruzhenij v rezultate terroristicheskikh actov // Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotosjemka. 2015. № 1. S. 18-22.
3. Zharnitsky V.Ya., Andreev E.V. Metody operativnogo ustanovleniya stroitelnyh grunтов, ulozhennyh v telo nizkonapornyh plotin // Prirodoobustroystvo. 2014. № 1. S. 44-49.
4. Kiljdeshev G.S., Frenkel A.A. Analiz vremennyh ryadov i prognozirovanie. M.: Statistika, 1973. 104 s.
5. Zharnitsky V.Ya., Andreev E.V. Opasnostj proryva GTS i zatopleniya privilegayushchih territorij // Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotosjemka. 2015 № 2. S. 51-57.

The material was received at the editorial office on 14.10. 2016

Information about the authors

Zharnitsky Valerij Yakovlevich, doctor of technical sciences, professor of the chair «Bases and foundations, building and expertise of objects of real property» FSBEU-HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, d. 44; e-mail: zharnitskiy@mail.ru; тел.: +7-905-720-30-72.

Andreev Yevgenij Vladimirovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Bases and foundations, building and expertise of objects of real property» FSBEUHE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, d. 44; e-mail: andreev-rf@mail.ru; tel.: +7-929-648-09-27.

УДК 502/504: 627.82.042: 624.15: 536.2

Д.В. КОЗЛОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Д.А. КРУТОВ

Негосударственное образовательное учреждение «Корпоративный институт ПАО «Газпром», г. Москва, Российская Федерация

ПРИМЕНЕНИЕ УТЕПЛИТЕЛЯ В КОНСТРУКЦИИ БЕТОННЫХ ПЛОТИН, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ СУРОВОГО КЛИМАТА

Приведены результаты расчетов теплопроводности для оценки эффективности утеплителя, уложенного в галереях бетонной плотины Богучанской ГЭС. После получения распределения температур в плотине решалась задача напряженно-деформированного состояния, по результатам которой определялось необходимое количество арматуры. Полученные результаты имеют практическую значимость: 1) для оценки снижения сезонных колебаний температуры в конструкциях плотины; 2) для оценки уменьшения количества арматуры при использовании утеплителя. Самое неблагоприятное напряженно-деформированное состояние бетонных гравитационных и контрфорсных плотин, возведенных в районах с суровыми климатическими условиями, обусловлено максимальным раскрытием строительных

швов на низовой грани в зимний период. В случае применения утеплителя у бетонных гравитационных и контрфорсных плотин минимизируется раскрытие строительных швов на низовой грани в зимний период, а у тонкостенных конструкций гидротехнических сооружений (станционные секции, турбинные водоводы) можно уменьшить количество силовой арматуры. Избежать трещинообразования в таких конструкциях не удастся. Бетон водоводов, затронутый трещинами, будет деградировать, что может привести к перераспределению усилий в арматуре: уменьшению усилий, воспринимаемых арматурой наружной грани и увеличению усилий, воспринимаемых арматурой внутренней грани. Для обеспечения долговременной работы тонкостенных железобетонных конструкций плотин эффективной мерой по снижению температурных воздействий на бетон будет являться применение утеплителя. В случае размещения утеплителя со стороны наружных граней это также позволит уменьшить и влажностные воздействия на конструкции.

Применение утеплителя в конструкции бетонных плотин, армирование тонкостенных конструкций, меры по снижению сезонных колебаний температуры.

Введение. В работах [1, 2] показано влияние отрицательной температуры на раскрытие горизонтальных строительных швов со стороны низовой грани гравитационных плотин. В суровых климатических условиях глубина раскрытия швов может составлять от 3 до 5 м. Поэтому размещение галерей вблизи наружных граней бетонных плотин, эксплуатирующихся в суровом климате, нежелательно. Тем не менее при проектировании бетонной плотины Богучанской ГЭС не удалось поместить галереи внутри бе-

тонного массива. Предусмотренные проектом технологические галереи расположены в непосредственной близости от наружных граней в верхней части плотины на отметке 210 м. Одна галерея расположена со стороны нижнего бьефа, вторая – со стороны верхнего. Таким образом, над галереями, а также со стороны нижнего бьефа образованы тонкостенные конструкции: перекрытия 1, 2 и стенка 1. Толщины этих тонкостенных конструкций составляют: перекрытие 1-45 см, перекрытие 2-75 см, стенка 1-55 см (рис. 1).

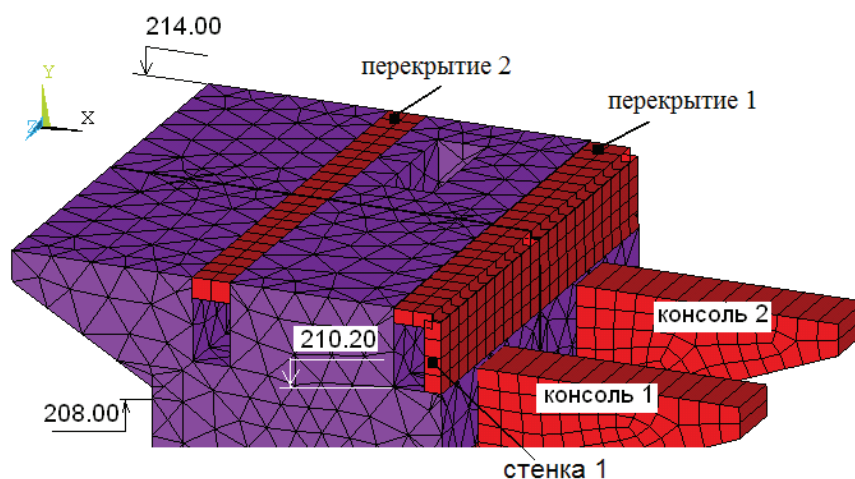


Рис. 1. Конструкция гребня плотины Богучанской ГЭС

Зима в районе строительства Богучанского гидроузла продолжительная и холодная. Отрицательная среднемесячная температура воздуха держится в течение 7 мес. (с октября по апрель). Среднегодовая температура воздуха составляет $-3,2^{\circ}\text{C}$. Максимальные температуры наблюдаются в июле, минимальные – в декабре-январе. Абсолютный максимум достигал $+38,0^{\circ}\text{C}$, абсолютный минимум – $-56,0^{\circ}\text{C}$.

В условиях, когда по технологическим требованиям перенести галереи в глубь бетонного массива оказалось невозможным, было принято решение применить утеплитель. Утеплитель толщиной 25 см устанавливался по боковым стенам, по полу и потолку с внутренней стороны галерей (рис. 2).

Методы исследований. Для оценки снижения перепада температур за счет использования утеплителя были выполнены

расчеты теплопроводности, по результатам которых получены распределения температур в плотине для четырех сочетаний нагрузок и воздействий:

- основное (с утеплителем и без утеплителя) для года со средней амплитудой

колебаний среднемесячных температур воздуха;

- особое (с утеплителем и без утеплителя) для года с максимальной амплитудой колебаний среднемесячных температур воздуха.

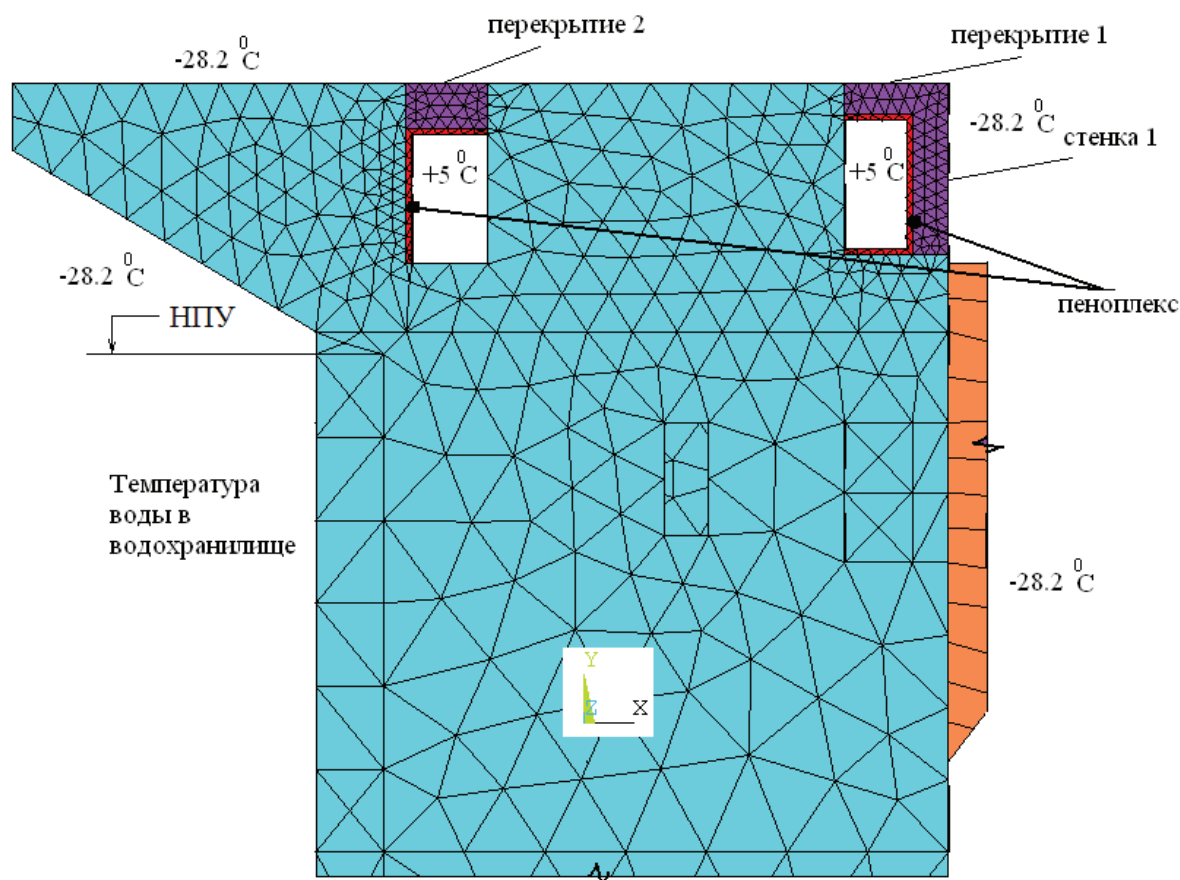


Рис. 2. Расчетная схема при решении задачи теплопроводности

Моделировался утеплитель пеноплекс-35 (элементы типа Solid). Перекрытия и стенка в задаче теплопроводности также моделировались элементами Solid. Расчетная температура определялась по результатам решения нестационарной задачи теплопроводности за 15 мес., при изменении температуры воздуха от среднегодовой в октябре ($-3,2^{\circ}\text{C}$ – для среднего по температурным условиям года; $-15,4^{\circ}\text{C}$ – для особого по температурным условиям года) до температуры самого холодного месяца-января. Колебания температуры воды в водохранилище принимались одинаковыми как для среднего по температурным условиям года, так и для особого. В галереях на отметке 210,0 м задана неснижаемая положительная температура плюс $5,0^{\circ}\text{C}$.

После получения распределения температур в плотине, стенке и перекрытиях решалась задача напряженно-деформиро-

ванного состояния, по результатам которой определялось распределение арматуры. Расчеты напряженно-деформированного состояния выполнялись на основе метода конечных элементов в трехмерной линейно-упругой постановке. При решении задачи напряженно-деформированного состояния перекрытия и стенка моделировались Shell-элементами.

Расчеты арматуры выполнены с использованием специализированной компьютерной программы Института «Гидропроект».

Результаты исследований. На рисунках 3 и 4 показано распределение температур в стенке 1 и перекрытии 1 в январе среднего по температурным условиям года.

Результаты исследований указывают на то, что на внешних гранях установилась минимальная температура наружного воздуха в январе $-28,2^{\circ}\text{C}$. Перепад в стенке 1 составляет $8,0^{\circ}\text{C}$, перепад в перекрытии 1- $20,0^{\circ}\text{C}$.

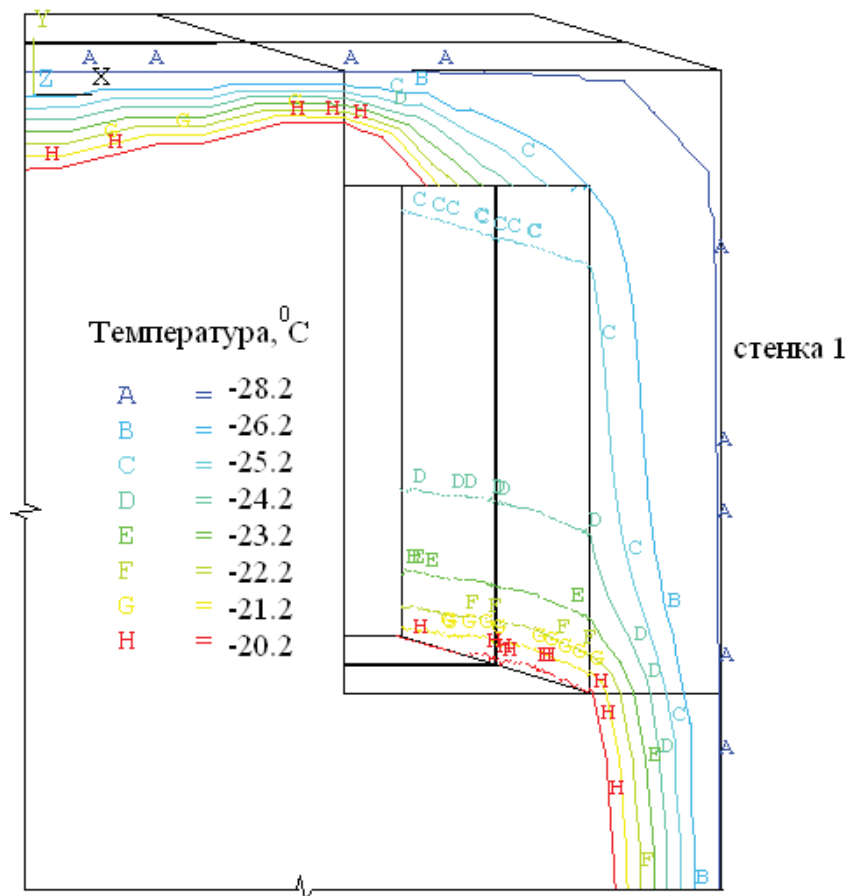


Рис. 3. Стенка 1. Год со средней амплитудой колебаний .
среднемесячных температур воздуха. Распределение температур в январе

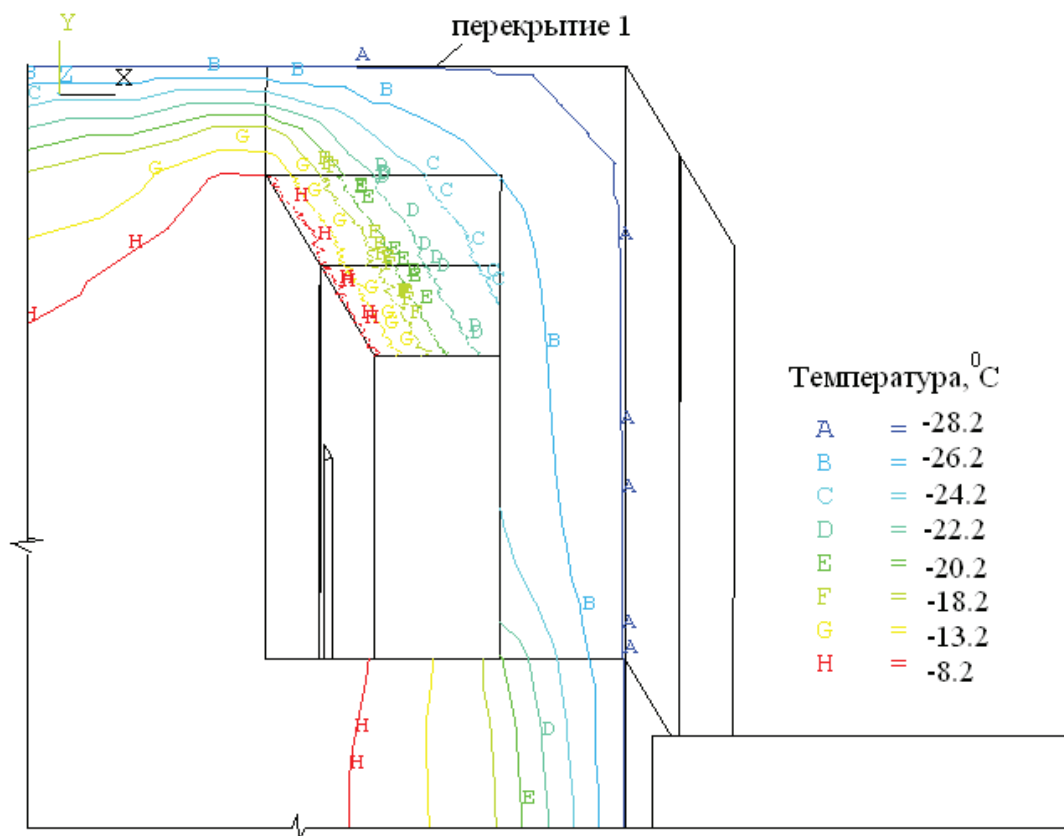


Рис. 4. Перекрытие 1. Год со средней амплитудой колебаний
среднемесячных температур воздуха. Распределение температур в январе

Установка утеплителя существенно снизила перепад температур между наружной и внутренней гранями конструкции

в январе. Результаты расчетов для среднего и особого по температурным условиям года с утеплителем и без него сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Перепад температур в конструкциях плотины, °С

Конструкция	С утеплителем при амплитуде колебаний температуры воздуха		Без утеплителя при амплитуде колебаний температуры воздуха	
	средней	максимальной	средней	максимальной
стенка 1	8,0	11,0	33,2	49,0
перекрытие 1	20,0	24,0		
перекрытие 2	20,0	25,0		

В таблице 2 представлены результаты определения армирования в перекрытиях 1 и 2. Площади арматуры выбраны как наибольшие из двух сочетаний нагрузок и воздействий: основного для года

со средней амплитудой колебаний среднемесячных температур воздуха и особого для года с максимальной амплитудой колебаний среднемесячных температур воздуха.

Таблица 2

**Количество арматуры в бетонных конструкциях
(в числителе – количество арматуры с утеплителем, в знаменателе – без утеплителя)**

Конструкция	Горизонтальная арматура, см ² /п.м.			
	вдоль потока		поперек потока	
	на верхней грани	на нижней грани	на верхней грани	на нижней грани
перекрытие 1	70/85	-/- ¹	40/40	-/-
перекрытие 2	90/115	70/65	65/70	35/-

Примечания. 1 – силовой арматуры не требуется.

Как следует из таблицы 2, количество арматуры существенно не изменилось с применением утеплителя. Малая эффективность его применения обусловлена тем, что в массивном бетоне тела плотины температурное поле не изменилось и плотина «навязывает» тонкостенным конструкциям деформации, которые не меняются при наличии и отсутствии утеплителя.

В данном случае улучшить напряженно-деформированное состояние (существенно уменьшить количество силовой арматуры) исследуемых, тонкостенных конструкций путем уменьшения температурного перепада не удалось. Возможно, что размещение утеплителя с наружной стороны конструкций (со стороны низовой грани) позволит уменьшить температурный перепад между массивным бетоном и наружными гранями и тем самым улучшить напряженно-деформированное состояние плотин.

Самое неблагоприятное напряженно-деформированное состояние бетонных гравитационных и контрфорсных плотин, возведенных в районах с суровыми климатическими условиями, обусловлено макси-

мальным раскрытием строительных швов на низовой грани в зимний период [1, 2].

Можно предположить, что в случае применения утеплителя у бетонных гравитационных и контрфорсных плотин минимизируется раскрытие строительных швов на низовой грани в зимний период, а у тонкостенных конструкций гидротехнических сооружений (станционные секции, турбинные водоводы) можно уменьшить количество силовой арматуры.

Конструкции станционных секций и турбинных водоводов работают в условиях подобным тонкостенным перекрытиям и стенкам галерей Богучанской ГЭС. Избежать трещинообразования в таких конструкциях не удастся. Бетон водоводов, затронутый трещинами, будет деградировать, что может привести к перераспределению усилий в арматуре: уменьшению усилий, воспринимаемых арматурой наружной грани, и увеличению усилий, воспринимаемых арматурой внутренней грани. Для обеспечения долговременной работы тонкостенных железобетонных конструкций плотин эффективной мерой по снижению температурных воздействий

на бетон будет являться применение утеплителя. В случае размещения утеплителя со стороны наружных граней это также позволит уменьшить и влажностные воздействия на конструкции.

Выводы

1. Проведенные исследования показали высокую эффективность применения утеплителя, позволившего снизить перепад температур в железобетонной конструкции толщиной 55 см на 25,0°C (при средней амплитуде колебаний наружного воздуха).

2. Применение утеплителя является перспективным для гидротехнических сооружений, эксплуатирующихся в суровых климатических условиях. Применение утеплителя могло бы уменьшить сезонные колебания температуры, и как следствие – величину температурных напряжений.

Библиографический список

1. Козлов Д.В., Крутов Д.А. Анализ собственных деформаций бетона по данным натурных наблюдений на плотине Богучан-

ского гидроузла // Гидротехническое строительство. 2005. № 1. С. 31-36.

2. Крутов Д.А., Шилов Л.А. Исследования напряженно-деформированного состояния бетонной плотины с учетом изменчивости коэффициента линейного расширения бетона // Вестник МГСУ. 2014. № 11. С. 154-160.

Материал поступил в редакцию 12.01.2017 г.

Сведения об авторах

Козлов Дмитрий Вячеславович, доктор технических наук, профессор, проректор по инновационной работе, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-29-62; e-mail: kozlovdv@rgau-msha.ru, kozlovdv@mail.ru

Крутов Денис Анатольевич, кандидат технических наук, преподаватель, НОУ «Корпоративный институт ПАО «Газпром»; 117997, г. Москва, ул. Наметкина, 16, корпус 2; тел.: 8(916)-795-86-00; e-mail: dkrutov@rambler.ru

D.V. KOZLOV

Federal state budget educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

D.A. KRUTOV

Non-state educational institution «Corporative institute PAO «Gazprom»

APPLICATION OF HEAT INSULATION MATERIAL IN THE STRUCTURE OF CONCRETE DAMS OPERATING UNDER SEVERE CLIMATE CONDITIONS

The article presents the results of calculations of thermal conductivity to evaluate the effectiveness of the heat insulation material laid in the galleries of the concrete dam of the Boguchany hydroelectric power plant. After obtaining the temperature distribution in the dam there was solved the problem of the mode of deformation according to the results of which there was determined the required quantity of armature. The obtained results are of practical importance: 1) to assess lowering of seasonal temperature fluctuations in the dam structures; 2) to assess reduction of the quantity of armature when using a heat insulation material. The most unfavourable deformation mode of concrete gravity and buttress dams built in the areas with severe climatic conditions is conditioned by the maximum opening of construction seams on the downstream face in winter. In case of using insulation in concrete gravity and buttress dams the opening of construction joints minimizes on the downstream face in the winter period, and in thin-walled structures of hydraulic structures (stationary sections, turbine water passages) it is possible to reduce the reinforcement quantity. It will not be possible to avoid cracking in such structures. Concrete of water conduits touched by cracks will be degrading which may lead to a redistribution of forces in the reinforcement: fewer efforts perceived by the armature of the external face and more efforts perceived by the inner face. To ensure a long-term operation of thin-walled concrete structures of dams the effective measure on decreasing temperature influences on concrete will be the use of insulation. In case of placement of the insulation from the external faces it will also permit to reduce the impact of humidity on structures.

Using of insulation in the construction of concrete dams, reinforcement of thin-walled structures, measures on reducing seasonal temperature fluctuations.

References

1. Kozlov D.V., Krutov D.A. Analiz sobstvennykh deformatsij betona po dannym naturnykh nablyudenij na plotline Boguchanskogo hydrouzla // Hydrotehnicheskoye stroitelstvo. 2005. № 1. S. 31-36. 2014. № 11. S. 154-160.
2. Krutov D.A., Shilov L.A. Issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya betonnoj plotiny s uchetom izmenchivosti coef-fitsienta linejnogo rasshireniya betona // Vestnik MGSU.

The material was received at the editorial office
on 12.01.2017

Information about the authors

Kozlov Dmitriy Vyacheslavovich, doctor of technical sciences, professor, deputy rector on innovation work, FSBEI HE RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, 49; tel.: (499) 976-29-62; e-mail: kozlovdv@rgau-msha.ru, kozlovdv@mail.ru

Krutov Denis Anatolievich, candidate of technical sciences, lecturer, NOU «Corporate institute PAO «Gazprom»; 117997, Moscow, ul. Nametkina, 16, corpus 2; tel.: 8(916)-795-86-00; e-mail: dkrutov@rambler.ru

УДК 502/504:69.059.3

О.В. МАРЕЕВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

А.В. КЛОВСКИЙ

Открытое акционерное общество «Государственный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт авиационной промышленности», г. Москва;

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ

Цель исследования – расчетное обоснование выбора рационального способа усиления железобетонных колонн реконструируемых зданий без дефектов, снижающих несущую способность. Приведены результаты сравнительного анализа способов усиления железобетонных колонн зданий при реконструкции, связанной с увеличением нагрузок, при различных конструктивных решениях усиления. Рассматривается усиление железобетонной и металлической колонн обоймами, причем металлическая обойма – в виде предварительно напряженных металлических стоек. Расчеты вариантов усиления производились для колонн типовых сечений (пять типов), различных классов бетона и параметров армирования, применяемых для таких элементов, работающих со случайными эксцентриситетами, и без дефектов, снижающих несущую способность. Нагрузки варьировались в диапазоне 1420...2400 кН. Расчеты показали, что для колонн, усиливаемых железобетонными обоймами, увеличение гибкости практически не влияет на требуемую толщину обоймы. Модульность шага и минимальное значение толщины обоймы обуславливает большой диапазон изменения коэффициента использования (0,597...0,995). Величина процентного увеличения несущей способности в среднем составляет 15...20% и почти не зависит (3...5%) от гибкости. Для усиления колонн металлическими обоймами увеличение гибкости влияет на требуемую площадь элементов усиления и величину процентного увеличения несущей способности. Коэффициент использования составляет 0,898...0,987, что свидетельствует об эффективном использовании конструкции усиления. Стоимость устройства рассматриваемых вариантов в целом сопоставима, максимальная разница составляет примерно 15%. Фактический вес железобетонных обойм усиления выше соответствующих значений для металлических обойм в 3...4,5 раз, что накладывает определенные ограничения на возможность применения железобетонных обойм в случае минимальных запасов по несущей способности фундаментов и грунтов основания реконструируемых зданий.

Реконструкция, усиление несущих элементов, металлическая обойма, железобетонная обойма, рекомендации по усилению.