

Бекиев Мухтар Юсубович, доктор технических наук, профессор, декан факультета «Природообустройство» Кабардино-Балкарской государственной сельскохозяйственной академии, e-mail: mbekk@mail.ru;

Блягоз Алик Моссович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных и общепрофессиональных дисциплин Майкопского государственного технологического университета, т.: 89184205021, e-mail: alfa-maikop@yandex.ru.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКИХ РИСКОВ (рецензирована)

Рассмотрена актуальная проблема современного состояния многих эксплуатируемых зданий и сооружений – оценка возможности продления их срока службы на основе реальной надежности конструкций. Оценена возможность проведения реконструкции несущих конструкций зданий и сооружений с учетом требований по сейсмичности площадки.

Проанализирована конструктивная схема машинного зала здания Баксанской гидроэлектростанции в КБР. Проведен поверочный расчет с учетом динамической нагрузки от возможного сейсмического воздействия. Расчет конструкций проведен с учетом волнового характера деформирования а так же реализован на стандартизированном программном комплексе.

Ключевые слова: строительные конструкции, методы расчета, нагрузки, безопасность, прочность, деформации, арматура, железобетон, сейсмостойкость.

Bekiev Mukhtar Yusubovich, Doctor of Technical Sciences, professor, dean of the faculty "Environmental Engineering", Kabardino-Balkar State Agricultural Academy, e-mail: mbekk@mail.ru;

Blyagoz Alec Mossovich, Candidate of Technical Sciences, assistant professor of the Department of Construction and General Professional Disciplines, Maikop State Technological University, tel: 89184205021, e-mail: alfa-maikop@yandex.ru.

EVALUATION OF RELIABILITY OF RECONSTRUCTED BUILDINGS IN VIEW OF SEISMIC RISK (reviewed)

The actual problem of the current state of many exploited buildings and structures – evaluation of the possibility of extending their service life on the basis of actual reliability of structures – has been considered. The possibility of reconstruction of supporting structures of buildings to meet the requirements of seismic areas has been assessed. The structural scheme of the machine room of the building at the Baksan hydroelectric power station in the KBR has been analyzed. Calibration calculations taking into account the dynamic load from possible seismic effects have been conducted. Structural analysis has been carried out taking into account the wave nature of the deformation and has been implemented on a standardized programm package.

Keywords: building structures, methods of calculation, loads, safety, strength, deformation, reinforcement, concrete, earthquake resistant.

Актуальной проблемой современного состояния многих эксплуатируемых зданий и сооружений является оценка возможности продления их срока службы на основе реальной надежности конструкций.

При проведении реконструкции здания машинного отделения Баксанской ГЭС в Кабардино-Балкарской Республике возникла необходимость оценки возможности проведения ремонта с сохранением подземных и надземных частей несущих конструкций здания с учетом современных требований по сейсмичности площадки.

Несущими конструкциями здания на момент оценки являлись монолитные железобетонные стойки и ригели каркаса, монолитные бетонные и железобетонные стены, а так же стены из мелкогабаритных каменных блоков и ребристое монолитное железобетонное покрытие. Машинное отделение имеет прямоугольный план с пристройками к нему, а само здание совмещено с административным корпусом отдельным блоком. Изначально здание было принято в эксплуатацию в 1936г, а в 1943 г проведено восстановление и усиление здания.

Конструкция каркаса изменялась и реконструировалась в процессе эксплуатации здания и в настоящее время имеет довольно сложную геометрию. Здание разбито на блоки деформационными швами. Элементы каркаса и стен имеют разные жесткости и рабочие высоты. Механика работы конструктивных элементов и по блокам, и внутри одного блока различна. Технологически, здание по высоте имеет условно «подземную» часть для подвода и отвода воды и «надземную» конструкцию для размещения оборудования и других

специальных и вспомогательных помещений. Техническая эксплуатация несущих конструкций здания приближается к 75 годам, что говорит о возможном приближении к исчерпанию «жизненного цикла» объекта.

Уровень дефектов элементов и прочностные характеристики материалов по результатам обследований, находятся в пределах вероятностной обеспеченности нормативных и расчетных величин прочности материалов и конструкций.

При реконструкции машинного зала электростанции необходим учет возможной нагрузки от сейсмических воздействий согласно современным нормативным требованиям.

Наиболее сложными в теории расчета прочности и деформативности конструкций зданий и сооружений являются две задачи. Первая – это правильный выбор основной расчетной схемы, которая наиболее полно соответствует работе реального сооружения. Вторая – это правильный учет всех силовых воздействий на данное сооружение и его конструктивные элементы с учетом всех возможных рисков.

Конструктивная схема рассматриваемого здания – смешанная. В продольном направлении выполнены две монолитные железобетонные рамы с жесткими узлами сопряжения ригелей с колоннами. В качестве ригелей выступают массивные железобетонные подкрановые балки таврового сечения и три обвязочные балки, расположенные на разных уровнях по высоте. Нижний уровень балок – в районе пола генераторного зала, средний уровень – в районе подкрановой балки и верхний уровень – в уровне покрытия сооружения. В состав продольной рамы входят также монолитные железобетонные стойки фахверка, соединённые с рамами ригелями – обвязками. В продольной раме по внутренней оси здания нет стоек фахверка, но существует стена из каменной кладки, расположенная в створе колонн, т.е. данную раму можно рассматривать как каркас с заполнением. Конструктивная схема в поперечном направлении представляет собой раму из стоек, защемлённых в фундаментные конструкции и шарнирно соединённых с конструкцией покрытия. Подземная часть здания рассмотрена, с некоторым запасом, как жесткая и заземленная в основании конструкция.

При определении нагрузок необходимо учесть динамическую нагрузку от возможного сейсмического воздействия. Динамическое деформирование конструкции в целом и отдельных её частей связано с распространением волн напряжений различной физической природы. В связи с этим, для его расчётной оценки необходимо решать волновые уравнения движения для нелинейно деформируемых систем. Так как реально применимых точных аналитических решений таких систем даже для идеализированных нелинейно деформируемых материалов пока нет, то можно использовать приближенные уравнения движения технической теории. Одним из таких уравнений движения является уравнение С.П. Тимошенко, которое довольно полно учитывает влияние большого числа параметров, влияющих на деформирование систем и может быть использовано в качестве базового для расчётов железобетонных балочных систем.

Уравнение с учётом изменяющейся по длине жёсткости имеет вид:

$$B \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \left(\rho J + \frac{\rho b}{K'G} \right) \frac{\partial^4 y}{\partial x^2 \partial t^2} + \rho \frac{\partial \rho}{K'G} \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial t^4} - \frac{\partial^2 B}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - \frac{\partial B}{\partial x} \cdot \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} = + \frac{\rho J}{K'AG} \cdot \frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} - \frac{B}{K'AG} \cdot \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2},$$

где B , A и J – жесткость, площадь и момент инерции поперечного сечения балки; K' – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения касательных напряжений по сечению; ρ – плотность материала; G – модуль сдвига.

Приведенное дифференциальное уравнение имеет четвертый порядок, как по длине X , так и по времени t . Поэтому в дополнение к краевым условиям – по два граничных условия на каждом конце балки, описывающих условия опирания, необходимо также задавать четыре начальных условия:

$$y(x,0) = f_1(x); \quad \beta(x,0) = f_3(x); \quad \frac{Jy}{Jt}(x,0) = f_2(x); \quad \frac{Jb}{Jt}(x,0) = f_4(x),$$

где β – средний угол сдвига.

Закон распределения по длине элементов начальных условий для железобетонных балок определяется на основании рекомендаций СНиП и СП к СНиП при статическом силовом воздействии.

При динамическом нагружении характерно волновое деформирование строительных конструкций, проявляющееся наиболее сильно при высокоскоростном нагружении. Расчёт конструкций с учётом волнового характера деформирования является общим, т.к. при больших скоростях нагружения, описывает все особенности, присущие волновому динамическому деформированию, а, при невысоких скоростях даёт результаты, характерные для статического деформирования.

Для повышения точности расчёта необходимо как можно более детально оценить специфические особенности волнового деформирования. К их числу относятся не только возможность локальных разгрузок, знакопеременных и повторных нагружений отдельных участков конструкций, но и различия в скорости деформирования волокон бетона, как по высоте поперечного сечения, так и по длине конструкции, а также переменная величина скорости деформирования, изменяющаяся в ходе работы под нагрузкой.

Расчёт уравнения С.П. Тимошенко с жесткостью и законом нагружения, изменяющимся как по длине балки, так и по времени, в силу сложности аналитического решения возможен численными методами.

Устанавливаются начальные условия, которые определяются из статического расчёта балки по рекомендациям СНиП, балка условно разбивается на n участков ($n = \frac{l}{h}$ где h – длина участка). Вводятся в

рассмотрение точки $x_i = ih (i = 0..n)$ и добавляются законтурные узлы $x_{-1} = h$ и $x_{n+1} = l + h$.

Поведение балки рассматривается на временных слоях $t_j = j\Delta t$ ($j = 0, 1, \dots$). При аппроксимации производных используются центральные конечно-разностные формулы. Для возможности общего решения уравнения движения находим определённое соотношение шагов итерационного счёта по высоте элемента и по времени. Для этих целей обычно используется спектральное условие Неймана.

Далее, в результате перебора вариантов возможных значений коэффициентов, получаем систему неравенств, решив которые, получаем $\Delta t = 3,3 \cdot 10^{-6} h$; $\Delta t = 2,16 \cdot 10^{-6} h$, что является относительно строгой оценкой. Для расчётов целесообразно использовать численное соотношение шагов счёта по времени и длине $\Delta t = 2 \cdot 10^{-6} h$.

Процесс волнового деформирования неизбежно сопровождается разгрузками локальных участков конструкции, их знакопеременным и повторным нагружением. Для их расчётной оценки необходимо использовать аналитические диаграммы деформирования материалов также с учётом разгрузки, знакопеременного и повторного нагружения. Кроме того, помимо учёта изменения характеристик материалов и их диаграмм деформирования вследствие указанных явлений, необходимо также принимать во внимание изменения в ходе нагружения высоты сжатой зоны, сцепления арматуры с бетоном и других факторов. Аналитическое решение такой задачи затруднено в связи с противоречивостью экспериментальных рекомендаций, а приближённое решение связано с большими условностями. В связи с этим для реализации в динамических расчётах с учётом волнового характера деформирования, использован комбинированный вариант, где конечным результатом решения волнового уравнения С.П.Тимошенко являются кривизны участков балки. Далее, определяются моменты на участках по найденным кривизмам на каждом этапе. Затем определяется необходимое армирование элементов по методике СНиП.

Поверочный расчёт реальных конструкций проведен на особое сочетание нагрузок, где в качестве особой нагрузки рассматривалось динамическое воздействие возможного землетрясения интенсивностью 8 баллов. В особое сочетание включены постоянные нагрузки от собственного веса конструкций, временная нагрузка от веса снегового покрова на покрытие и сейсмическая (особая) нагрузка. Расчет реализован на программном комплексе «Лира 9.4».

В результате поверочного расчёта требуемая площадь расчётной арматуры на узкой грани колонны составляет $A_s^{тр.} = \max A_{s4} = 27,20 \text{ см}^2$, при фактической арматуре $A_s^{факт.} = 31,84 \text{ см}^2$. Требуемая площадь расчётной арматуры на широкой грани колонны составляет $A_s^{тр.} = \max A_{s4} = 24,76 \text{ см}^2$, при фактической арматуре $A_s^{факт.} = 26,5 \text{ см}^2$. Требуемая площадь поперечной арматуры составила $A_{sw}^{тр.} = \max A_{sw2} = 1,46 \text{ см}^2/\text{п.м.}$, при фактической $A_{sw}^{факт.} = 3,14 \text{ см}^2/\text{п.м.}$

Для анализа были сопоставлены результаты проведенных расчетов по различным, рекомендованным к применению методикам к строительным нормам. Разброс результатов по этим методикам не превысил 8 %.

Таким образом, сравнительный анализ требуемого армирования колонн по расчёту на особое сочетание нагрузок и фактически установленной арматуры во время ремонтно-восстановительных работ в 1943 г. показывает, что существующего армирования колонн достаточно для восприятия нагрузок от землетрясения интенсивностью 8 баллов без дополнительного усиления. При этом армирование колонн 1936 г. постройки в расчетах не учитывалось.

Вместе с тем, при проведении реконструкции здания необходимо провести конструктивное усиление несущих элементов каркаса и мероприятия, повышающие сейсмостойкость здания и его элементов для обеспечения необходимой надежности конструкций в связи с продлением срока службы здания и эксплуатацией его в сейсмоопасной зоне.

Литература:

1. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений: СП 13-102-2003. М., 2004.
2. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений: СНиП 2.06.08-87. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988.
3. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения: СНиП 52-01-2003. М., 2004.
4. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры: СП 52-101-2003. М., 2004.
5. Гидротехнические сооружения. Основные положения расчета: СНиП 33-01-2003. М., 2004.

References:

1. *Terms of inspection of bearing constructions of buildings: SP 13-102-2003. M., 2004.*
2. *Concrete and reinforced concrete structures of hydraulic constructions: SNiP 2.06.08-87. M.: USSR State TSITP, 1988.*
3. *Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions: SNIP 52-01-2003. M., 2004.*
4. *Concrete and reinforced concrete structures without prestressing reinforcement: SP 52-101-2003. M., 2004.*
5. *Hydraulic structures. The main provisions of the calculation: SNIP 33-01-2003. M., 2004.*