

УДК 624.014.074

К вопросу сейсмостойкости большепролетных зданий и сооружений

Ажермачев Г.А., к.т.н., Ажермачев С.Г., к.т.н., Абдурахманов А.З.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства, Украина

Аннотация. При расчете конструкций большепролетных сооружений на сейсмические воздействия расчетная схема сооружения в виде консоли становится некорректной, так как не учитываются условия закрепления основных несущих конструкций покрытия; колебаний конструкций покрытия, которые могут быть соизмеримы с горизонтальными колебаниями опорных конструкций и другое. Неучет взаимовоздействия опорных и пролетных конструкций при землетрясениях может вызвать разрушение сооружений в результате наложения собственных частот колебаний. Даются рекомендации по уменьшению сейсмических нагрузок на сооружение при землетрясениях и регулирования частот собственных колебаний основных конструкций.

Анотація. При розрахунку конструкцій великопрогонових споруд на сейсмічні впливи розрахункова схема споруди у вигляді консолі стає некоректною, оскільки не враховуються умови закріплення основних несучих конструкцій покриття; коливань конструкцій покриття, які можуть бути порівняні з горизонтальними коливаннями опорних конструкцій тощо. Неврахування взаємовпливу опорних і прогонових конструкцій під час землетрусів може викликати руйнування споруд у результаті накладення власних частот коливань. Даються рекомендації щодо зменшення сейсмічних навантажень на споруду під час землетрусів і регулювання частот власних коливань основних конструкцій.

Abstract. During the seismic impact calculation of long-span constructions, the structure design model in form of cantilevers is not correct, because it isn't taken into account the conditions of fixation of the main bearing structures cover; structure vibrations of the cover that can be compared with the horizontal vibrations, and other supporting structure. Neglecting of the supporting and span structures interaction during the earthquakes can cause structural failure as a result of oscillation self-frequencies superposition. The recommendations for the reducing of building seismic loads during the earthquakes and regulation of the self-oscillation frequencies of the main structures.

Ключевые слова: большепролетные сооружения, сейсмические воздействия, колебания, консоли.

Введение. В большинстве случаев при определении напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций зданий и сооружений при сейсмических воздействиях принимают расчетную модель в виде консоли с расположенными на ней массами и закрепленной жестко в основании. Однако для большепролетных сооружений такая расчетная модель становится некорректной, так как не учитываются условия закрепления основных несущих конструкций покрытия; колебания

конструкцій покриття, частоти и амплитуды которых могут быть близки к опорным конструкциям и др. [1, 2].

Цель исследования – создание корректных расчетных моделей, наиболее точно отражающих действительную работу конструкций.

Конечно, создание корректной расчетной модели очень трудная задача. Для её решения специалист должен иметь опыт исследования действительной работы конструкций и сооружений, а лучше, если эти исследования проводились на натуральных конструкциях при действительных силовых воздействиях. Но это идеально. Известно, что результаты, полученные при эксперименте, будут отвечать только этим экспериментальным условиям. Однако они полезны и для других подобных условий [3].

Способ создания корректной расчетной модели. Создать такую модель удалось при экспериментальных исследованиях сооружения в натуральную величину в условиях, близких к действительным нагрузениям при создании землекаменной противоселевой плотины путем подземного взрыва.

При исследовании НДС конструкций покриття большепролетного сооружения (рис. 1), при мощном подземном взрыве было отмечено значительное влияние динамических характеристик опорных конструкций на колебания конструкций покриття [4].



Рис. 1. Дворец спорта на 5000 зрителей в г. Алма-Ата

Исследуемое сооружение представляло собой прямоугольное каркасное здание пролетом 50 м, перекрытое стальными фермами, которые опирались на железобетонные колонны, закрепленные в железобетонных трибунах. Целью исследования была проверка фактических динамических характеристик ферм покриття и сравнение полученных результатов с теоретическими, принятыми при расчете конструкции покриття.

Показания фиксирующих приборов выводились на многошлейфовые осциллографы с последующей записью на осциллографические ленты.

Время исследования было согласовано с моментом возведения земляной насыпной противоселевой плотины в урочище Медео в 11 км от г. Алма-Ата. Для возведения земляной противоселевой плотины был использован подземный взрыв большого объема тротила.

В результате взрыва сейсмический толчок в эпицентре составлял силу, превышающую 8 баллов по шкале Рихтера, а в районе исследуемого объекта несколько больше 5 баллов.

Анализ исследований. Записи осциллограмм частот колебаний ферм в системе покрытия хорошо согласовались с теоретическими, принятыми при расчете покрытия. Однако через определенные промежутки времени возрастали амплитуды колебания ферм, т. е. наблюдался эффект биения, даже тогда, когда прошло некоторое время после взрыва.

Анализ всех показаний измерительной аппаратуры позволил установить причину появления биения – частоты собственных колебаний опорных конструкций и конструкций покрытия имели близкие значения, а это при определенных отрезках времени приводило к наложению частот и увеличивало амплитуду колебаний ферм.

Конечно при сейсмических воздействиях силой 8-9 баллов (в Алма-Ате уже были землетрясения силой 9 баллов в 1887 г. и в 1911 г.) могут быть большие отрицательные последствия, несмотря на то, что при кратковременных нагрузках предел текучести стали и временное сопротивление возрастают, однако сварные соединения подвергаются большому риску [5].

Такое «недоразумение» получилось потому, что проект опорной части сооружения (трибуны, колонны) выполнял один институт, а проект покрытия – другой институт, а в задании на проектирование не были указаны динамические характеристики опорных конструкций.

В настоящее время проектируется и возводится много большепролетных сооружений (спортивные, зрелищные, промышленные, специальные и др.) [6], в том числе в регионах с высокой сейсмической активностью. Не редки случаи, когда проекты этих сооружений и авторский надзор осуществляют специалисты, не имеющие достаточной квалификации. Поэтому такими серьезными объектами должны заниматься коллективы с высокой квалификацией исполнителей.

Рекомендації. Особенностью большепролетных сооружений является то, что сейсмостойкость таких объектов зависит от динамических характеристик как опорных конструкций, так и конструкций покрытия. Поэтому вопросы сейсмостойкости большепролетных сооружений необходимо решать комплексно с учетом одновременного взаимовлияния работы одних конструкций на другие [5]. А это возможно только с учетом активного вмешательства в работу инженера-проектировщика. Этот специалист, понимая как работает конструкция в тот или иной момент [7] (а при сейсмических воздействиях расчетная модель сооружения постоянно меняется), должен «настроить» конструкцию, чтобы она во время всей работы могла уйти от резонансных явлений или хотя бы сгладить пики сейсмических нагрузок.

Такой эффект можно получить, применяя сеймопоглотители с заданными динамическими характеристиками. Конструктивных решений сеймопоглотителей очень много, но для рассматриваемого случая, по нашему мнению, могут быть использованы сеймопоглотители кольцевого типа (СПК) [8]. Они просты в изготовлении и расчет их относительно прост [9, 10].

Разработанная методика расчета СПК позволяет подобрать геометрические параметры таким образом, чтобы уменьшить сейсмические нагрузки на сооружения в 1,5 – 3 раза, а при необходимости можно и больше.

СПК удобнее всего устанавливать в крестовых связях (рис. 2) При таком конструктивном решении лучше всего проявляются положительные качества этих сеймопоглотителей. Они не только снижают сейсмические силы воздействия на объект, но приводят к минимуму энергию колебаний от грунта к опорам несущих конструкций покрытия.

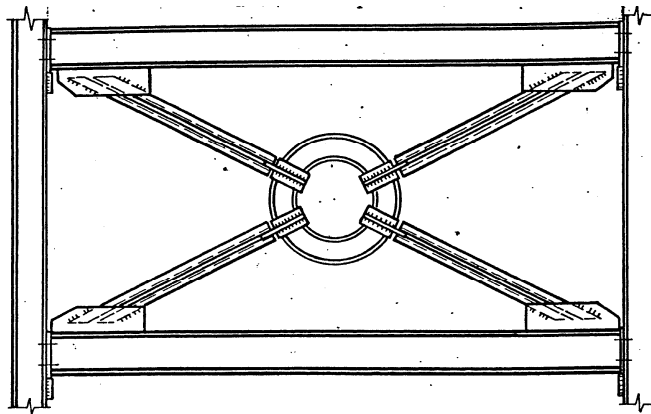


Рис. 2. Кольцевой сеймопоглотитель

Высокая энергопоглощающая способность СПК обеспечивается за счет его конструктивного решения и включения большого объема металла в пластическую работу [10].

В зависимости от периода собственных колебаний сооружения с СПК по основному тону, геометрические параметры СПК должны удовлетворять следующим условиям:

$$\frac{I}{r \cdot \eta} = \frac{a_0 K u k_{II} k_{\phi} \sin \varphi}{16 \pi \sigma_T N_k} \sqrt{m C_k \frac{i - \gamma^2}{(i - \mu^2) \gamma^2}} \quad (1)$$

или

$$\frac{I}{r} = \frac{4,4 C_k m a_0 K \beta_{\max} k_{II} k_{\phi} \sin \varphi}{\sigma_T E N_k^2} \gamma \left(\frac{\gamma^2 - \mu^2}{i - \gamma^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{r^3}{I_k} \leq [y_d] \frac{\alpha_n E}{0,286 P_T}, \quad (3)$$

где I – момент инерции сечения кольца; η – расстояние срединной поверхности нижнего или верхнего пояса от нейтральной оси; r – радиус кольца; a_0 – ускорение колебаний основания; K – коэффициент, равный произведению коэффициентов k_1, k_2, k_{ψ} ; u – коэффициент, принимаемый в зависимости от категории и мощности слоя грунта основания; β_{\max} – максимальное значение коэффициента динамичности, соответствующее определенной категории и мощности слоя грунта основания; k_{II} – коэффициент перегрузки; k_{ϕ} – коэффициент, учитывающий влияние высших форм колебаний; m и C_k – инерционная масса и жесткость каркаса; i и μ – коэффициенты, зависящие от интенсивности неупругих деформаций; γ – коэффициент, определяемый по формуле; N_k – число колец в одном направлении; $[y_d]$ – предельные деформации ЭПК, ограниченные допустимым перекосом каркаса.

Проверяется условие $T \leq T_{\min}$, где T – период собственных колебаний сооружения. При его невыполнении подбор геометрических параметров кольцевых сеймопоглотителей следует производить по формулам (1) и (3). При выполнении данного условия – по формулам (2) и (3).

После подбора геометрических параметров кольцевого сеймопоглотителя и назначения их количества необходимо проверить условие надежности работы стального каркаса при землетрясении расчетной интенсивности [11]:

$$\overline{W}_u G_3 \geq 2 \cdot 0,95 V_1,$$

где 0,95 – коэффициент, учитывающий поглощение энергии при упругих колебаниях каркаса; G_{Σ} – суммарная масса сеймопоглотителей; \bar{W}_{Σ} – удельная одноцикловая энергоемкость сеймопоглотителя; V_1 – энергия внешних сейсмических воздействий, полученная каркасом за один полуцикл собственных колебаний основного тона.

Предлагаемая методика использована в нескольких реально запроектированных объектах.

Выводы

Большепролетные сооружения широко применяются в строительной практике в обычных и сейсмоопасных районах.

Конструктивная схема таких сооружений, возводимых в сейсмоопасных районах, не позволяет, как правило, применять упрощенную расчетную модель в виде консоли, защемленной внизу и массами приложенными по высоте.

При землетрясении на опорные и пролетные конструкции воздействуют усилия, которые при определенных условиях могут вызвать резонансные явления.

Чтобы обеспечить заданную надежность сооружения необходимо стремиться уменьшить сейсмические воздействия и «настраивать» его основные несущие конструкции так, чтобы не возникали резонансные явления или хотя бы сглаживались пики максимальных сейсмических нагрузок.

Для «настройки» конструкций можно применить сеймопоглотители кольцевого типа.

Литература

- [1] Ажермачев Г.А. Влияние способа сопряжения ригелей и колонн в одноэтажных промышленных зданиях и сооружениях на сейсмостойкость / Строительство и техногенная безопасность. Сб. научн. трудов. Вып. 11. НАПКС. Симферополь. – 2005. – С. 6 – 7.
- [2] Ажермачев Г.А. Учет вертикальных колебаний балочных конструкций при расчете на сейсмические воздействия / Строительство и техногенная безопасность. Сб. научн. трудов. Вып. 7. КАПКС. Симферополь. – 2002. – С. 11 – 15.
- [3] Ажермачев Г. А. Конструктивные решения сооружений и расчетные модели / Международная научная конференция «Геодинамика, сейсмическая опасность, сейсмостойкость сооружений». Симферополь. – 2011. – С. 193 – 197.

- [4] Ажермачев Г.А., Остриков Г.М. Результаты натурных замеров сейсмических колебаний большепролетных зданий / Промышленное строительство. – № 5. – 1970. – С. 27 – 29.
- [5] Ажермачев С.Г. Долговечность сварных соединений элементов решетки опорных блоков морских стационарных платформ при волновых воздействиях / Строительство и техногенная безопасность. Сб. научн. трудов. Вып. 33-34. НАПКС. Симферополь. – 2010. – С. 52 – 55.
- [6] Горохов Е.В., Мушанов В.Ф. Надежность эффективных пространственных большепролетных конструкций покрытий спортивных сооружений / Сб. научн. трудов института строительства и архитектуры. МГСА. – М.: 2008. – С. 91 – 95.
- [7] Югов А.М. Оценка надежности металлических конструкций на этапах жизненного цикла. – Макеевка: ДонГАСА, 2003. – 200 с.
- [8] Ажермачев Г.А., Абдурахманов А.З. Особенности применения кольцевых сейсмопоглотителей в каркасах зданий / Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні наукові досягнення – 2008. Том III. Миколаїв, 2008. – С. 4 – 8.
- [9] Ажермачев Г.А., Морозова Е.В., Абдурахманов А.З. Применение энергопоглотителей в стальных каркасах типа «Фламинго» / Сборник научных трудов НАПКС. Вып. 19-20 СиТБ, 2007.
- [10] Каркас сейсмостійкої багатоповерхової будівлі: Пат. 44968 Україна: МПК E04H 9/02 E04B 1/24 / Г.А. Ажермачов, С.Г. Ажермачов, А.З. Абдурахманов (Україна). – № u200903727; Заявл. 16.04.2009; Опубл. 26.10.2009, Бюл. № 20. – 3 с.
- [11] Остриков Г.М., Максимов Ю.С. Стальные сейсмостойкие каркасы многоэтажных зданий. – Алма-Ата: Казахстан, 1985. – 120 с.

Надійшла до редколегії 23.04.2012 р.