УДК 69.07

DOI 10.37153/2687-0045-2021-14-38-40

**ПЕРСПЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ ЗДАНИЙ
ПОДВЕСНОГО ТИПА В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ**

**PROSPECTS FOR THE USE OF STRUCTURAL SYSTEMS OF SUSPENDED
BUILDINGS IN SEISMIC AREAS**

Белаш Татьяна Александровна, д.т.н., профессор

Свитлик Илья Владимирович, аспирант кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения» Петербургского государственного университета путей сообщения

Императора Александра I

Belash Tatiana Aleksandrovna, D.Sc. (Technology), Professor

Svitlik Ilya Vladimirovich, postgraduate student, Department «Building structures, buildings and structures», Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

Аннотация: Подходы к обеспечению устойчивости высотных зданий к сейсмическим воздействиям отличаются своим многообразием. Среди них стоит выделить использование подвесных конструкций. Подобный подход позволяет снизить нагрузки в несущих конструкциях, вызванные динамическими воздействиями. Эффективность применения подвесных конструкций в сейсмостойком строительстве подтверждалась исследованиями поведения подобных объектов в условиях землетрясений. Развитие вычислительных комплексов в свою очередь позволило раскрыть потенциал использования подвесных конструкций в сейсмически опасных районах. Однако инженерное сообщество все еще не пришло к однозначному решению проблемы значительных смещений подвешенных перекрытий при низкочастотных сейсмических воздействиях. Вопрос по обеспечению устойчивости конструкций ядра здания также остается открытым. Предложения по решению данных проблем, как и сами несущие конструкции высотных зданий подвесного типа, отличаются многообразием. В этой статье рассматриваются основные существующие и перспективные конструктивные решения, обеспечивающие сейсмостойкость высотных зданий с подвесными конструкциями. Результаты расчетных исследований данных конструктивных решений приведены в статье.

Ключевые слова: высотные здания; подвесные конструкции; сейсмическое воздействие

Abstract: There are many approaches to ensuring the stability of high-rise buildings to seismic impacts. Among them, it is worth noting the use of suspended structures. This approach makes it possible to reduce the loads in load-bearing structures caused by dynamic influences. The effectiveness of the use of suspended structures in earthquake-resistant construction was confirmed by studies of the behavior of such objects in earthquake conditions. The development of computer systems allowed us to unlock the potential of using suspended structures in seismically dangerous areas. However, the engineering community has not yet come to an unambiguous solution to the problem of significant displacements of suspended ceilings during low-frequency seismic impacts. The question of ensuring the stability of the core structures of the building also remains open. Proposals for solving these problems, as well as the supporting structures of suspended high-rise buildings themselves, are diverse. This article discusses the

main existing and promising design solutions that provide earthquake resistance of high-rise buildings with suspended structures. The results of computational studies of these design solutions are given in the article.

Keywords: high-rise buildings; suspended structures; seismic impact

Основная часть

Принцип подвески для создания основной системы несущих конструкций использовался в ряде высотных и многоэтажных зданий, начиная с 60-х годов 20 века. Было возведено несколько зданий, применяющих принцип подвески перекрытий с целью обеспечения сопротивляемости землетрясениям. К ним относятся такие здания, как страховой дом Монтеррея в Мехико, здание Qube, возведенное в Ванкувере, а также здание Beijing Poly Plaza в Пекине.

Рассматриваемый тип конструктивных систем в течение своего срока жизни подвергается достаточно большому количеству экстремальных воздействий, в том числе землетрясениям, которые следует учитывать при проектировании этих зданий. При этом гибкие конструкции высотных зданий подвесного типа, рассчитанные на высокий уровень сейсмической нагрузки, подвержены эффекту раскачки при низкочастотных сейсмических воздействиях, а также имеют недостаточную боковую жесткость для сопротивления ветровым нагрузкам.

Исследователи подчеркивают необходимость учитывать риски различного характера при проектировании сейсмостойких зданий. В результате было предложено несколько подходов по обеспечению устойчивости высотных зданий подвесного типа путем использования демпфирующих устройств. Ключевым фактором рассеивания энергии при этом является относительное движение первичной и вторичной структур здания, представленных ядром жесткости и подвешенными перекрытиями соответственно.

Маятниковая природа подвешенных перекрытий позволяет использовать их в качестве инерционных гасителей колебаний, снижающих механические колебания несущего ядра здания. Это достигается установкой связей между подвешенными перекрытиями и ядром жесткости в виде демпфирующих устройств с жесткостью, оптимальной для снижения спектра реакции здания. Конструкции подвешенных этажей здания при этом соединяются между собой, обеспечивая либо высокую межэтажную жесткость, либо гибкую связь этажей. Оба подхода обеспечивают удовлетворительный уровень снижения колебаний как вторичной, так и первичной структуры.

Перспективной является идея установки демпфирующих устройств между подвешенными к оголовку здания модулями, что также позволяет эффективно рассеивать энергию колебаний вторичной структуры, заметно снижая смещения и ускорения перекрытий.

Известна система сейсмоизоляции зданий подвесного типа, называемая системой с изолированным ядром. Механизм сейсмоизоляции, установленный на ядре жесткости здания, позволяет изолировать подвешенную к оголовку часть здания от движения ядра.

Возможным конструктивным решением, используемым с целью снижения колебаний подвесных конструкций зданий, является система пружинной связи между перекрытием каркасного здания и подвешенными плитами пола. Подобная система также может быть оптимизирована для повышения сопротивляемости сейсмическим и ветровым воздействиям в соответствии с конфигурацией здания.

Несмотря на то, что эффективность применения подвесных конструкций в сейсмических районах была неоднократно доказана, вопрос о целесообразности

применения конкретных конструктивных решений в условиях преобладания различных сейсмических и прочих динамических воздействий остается открытым. Этому вопросу посвящена данная статья.

Расчет рассматриваемых конструктивных схем был выполнен в программном комплексе ЛИРА методом конечных элементов. Конструкции были рассчитаны на сейсмическое воздействие линейно-спектральным методом. В качестве результатов были определены и проанализированы периоды собственных колебаний зданий, а также ускорения и смещения конструкций здания.

Заключение

Внедрение в конструкции зданий подвесного типа демпфирующих устройств позволяет снизить опасные перемещения перекрытий, что обеспечивает целостность несущих элементов здания.

Ускорения подвешенных перекрытий в зданиях, оборудованных демпфирующими устройствами, принимают меньшие значения по сравнению со зданиями их не использующими.

Выбор конкретного метода обеспечения сейсмостойкости зданий должен выполняться из условий возникновения динамических воздействий различного характера, а также на основании технико-экономического обоснования.