

УДК 624.074.5

Работа металлической стеновой конструкции с применением структурного модуля

Сиянов А.И., к.т.н.

Винницкий национальный технический университет, Украина

Аннотация. В рамках реализации инновационного проекта возведения многофункционального торгового комплекса центральной городской застройки предложено применение крупноразмерного структурного модуля в составе пространственной металлической стеновой конструкции. Современными программными средствами создана стержневая компьютерная модель и выполнен расчет регулярной конечно-элементной системы. Исследованы полученные параметры напряженно-деформированного состояния и выявлены опасные участки модульной структуры с позиции активной загруженности опорных элементов и местного отклонения срединных узлов.

Анотація. У рамках реалізації інноваційного проекту зведення багатофункціонального торгового комплексу центральної міської забудови запропоновано застосування великорозмірного структурного модуля у складі просторової металеві стінової конструкції. Сучасними програмними засобами створено стрижневу комп'ютерну модель і виконано розрахунок регулярної скінченно-елементної системи. Досліджено отримані параметри напружено-деформованого стану і виявлено небезпечні ділянки модульної структури з позиції активної завантаженості опорних елементів і місцевого відхилення серединних вузлів.

Abstract. Within the framework of realization of innovative project of erection of multifunction trade complex of central town building application of the large size structural module is offered in composition a spatial metal wall construction. Modern programmatic facilities are create a framework computer model and the calculation of the regular certainly-element system is executed. The got parameters of the tensely-deformed state are investigational and the dangerous areas of modular construction are educed from position of active work-load of supporting elements and local rejection of middle knots.

Ключевые слова: металлические пространственные стержневые конструкции, стеновое ограждение, структурный модуль, компьютерное моделирование, расчет, параметры напряженно-деформированного состояния.

Введение. Постановка задачи. Металлические модульные конструкции имеют широкое применение в сфере современного строительства. Из блоков полной заводской готовности проектируются и возводятся крупноразмерные многофункциональные комплексы, отличающиеся высокой несущей способностью, экономичностью, зрелищностью и уникальностью конструктивных решений. Изготовление объемных модулей ведется с применением современной техники и новейших технологий, что позволяет в кратчайшие сроки получить готовую продукцию достаточно высокого индустриального качества. Часто

используемая стержневая структура является удобной для создания модулей со значительной номенклатурой геометрических форм и размеров, способствующих проектированию разнообразных и востребованных строительных конструкций. Преимущественно стержневые модули применяются в качестве несущих элементов каркасов зданий и сооружений различного назначения. Однако сравнительно мало внимания уделяется модулям, которые после объединения в систему играют роль ограждающих конструкций. Разработки отдельных авторов привлекают своей оригинальностью, но требуют глубокого и всестороннего изучения. Поэтому из имеющихся, и вместе с тем нереализованных предложений нужно выбрать такие, которые будут отвечать отмеченному требованию и по результатам проведенных исследований могут быть успешно внедрены в практику строительства.

Анализ последних работ. В данной работе заострено внимание на упомянутом ранее [1] структурном модуле, который разработан отечественным изобретателем и сравнительно недавно защищен патентом Украины [2]. Модуль прошел апробацию при проектировании пространственной конструкции на железнодорожных путях [3], исследован в системе покрытия автозаправочной станции [4], проверен в расчетах применительно к другим объектам.

Выделение нерешенных ранее вопросов и ожидаемые результаты. В настоящее время апробированный модуль оказался приемлемым в качестве участка стенового ограждения многофункционального торгового комплекса современной городской застройки. Так, заказчик, анализируя тенденции применения нестандартных решений в отечественной и зарубежной практике, всерьез заинтересовался оригинальной структурой стержневого модуля и изъявил желание распространить его на регулярную стеновую систему. В ходе изучения предложенной геометрии ограждающей конструкции возникли вопросы, связанные с особенностями работы, расходом материалов и возможностью сопротивляться действующим нагрузкам. Ожидалось, что их решение позволит получить информацию о значимости и пределах использования такого модуля в различных стеновых системах.

Цель работы. Применительно к размерам реального проекта принято решение изучить закономерности работы ограждающей конструкции с использованием стержневого модуля без диагонального элемента из плоскости граней.

Конструктивное решение. Наибольшая проекция геометрической фигуры участка, отведенного на исследуемый блок, представлена прямоугольником с размерами $H \times L = 20 \times 30$ м. Ячейки (модули) образованы

продольними и поперечними стержнями, стойками и раскосами. Длина диагонального элемента в плоскости граней равна 5,1 м. Размер модулей $h \times l = 5 \times 5$ м, толщина $t = 1$ м, угол наклона раскосов к поясам в гранях $11,31^\circ$ (рис. 1). Блок включал 129 стержней, 62 узла, в том числе 32 опорных. Стеновое ограждение шарнирно крепилось к рамам каркаса здания. Система предполагала применение трубчатых профилей с максимальным размером поперечного сечения $80 \times 80 \times 4$ мм.

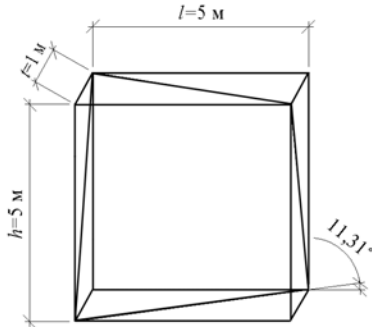


Рис. 1. Геометрическая схема модуля

Определение расчетных нагрузок. Конструкция стенового блока, состоящая из модулей полной заводской готовности, предназначена для выполнения ограждающих функций. Поэтому расчетными нагрузками служили собственный вес и статическая составляющая давления ветра. На основании исходных данных о реализации проекта и ныне действующих норм выбран район с такой характеристической нагрузкой W_0 , которая отвечала местности со средним значением ветрового давления в Украине [5]. Найденная по нормам распределенная нагрузка

$$W_m = \gamma_{fm} W_0 C$$

с учетом срока службы здания и значений коэффициента C_h изменения давления ветра по высоте переведена в сосредоточенные силы, приложенные в узлах. Перевод осуществлен обычным способом посредством умножения нормированной нагрузки на вычисленные грузовые площади:

$$F_{m1,5} = W_{m,5} A_1 = W_{m,5} h (l/2); F_{m1,10} = W_{m,10} A_1 = W_{m,10} h (l/2);$$

$$F_{m1,20} = W_{m,20} A_1 = W_{m,20} l (h/2); F_{m1,15} = (F_{m1,10} + F_{m1,20}) / 2;$$

$$F_{m2,5} = W_{m,5} A_2 = W_{m,5} l h; F_{m2,10} = W_{m,10} A_2 = W_{m,10} l h;$$

$$F_{m2,15} = ((W_{m,10} + W_{m,20}) / 2) A_2 = W_{m,15} l h.$$

Остекление играло роль присоединенной массы, поэтому его несущая способность не учитывалась.

Компьютерное моделирование и расчет. Стержневая конструкция, в основу которой положен предложенный модуль, представлена для исследования в виде построенной программными средствами [6–8] компьютерной модели. Имея размеры модуля, определены координаты узлов пространственной ячейки. Соединение их элементами и последующее копирование в горизонтальном и вертикальном направлениях позволило получить заданную систему стенового ограждения (рис. 2).

2 - ветровая нагрузка

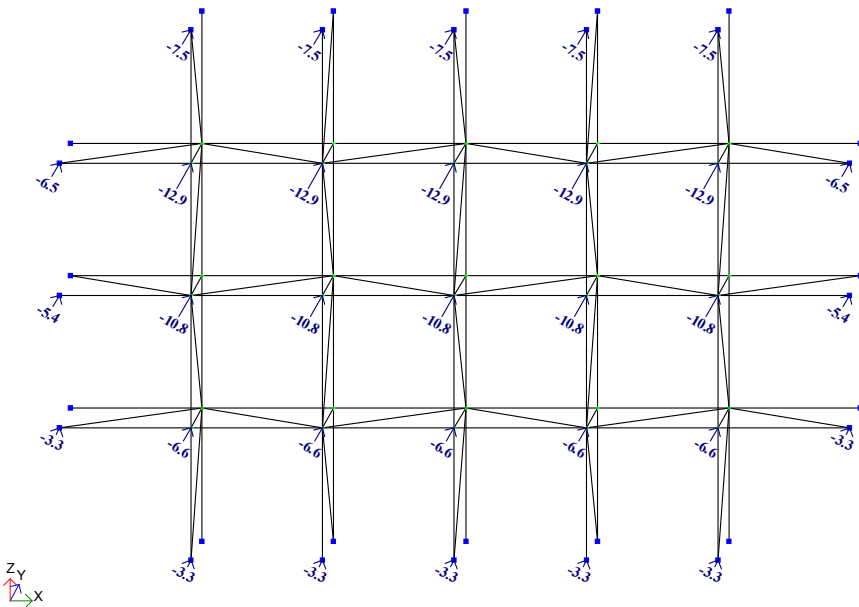


Рис. 2. Схема стержневого блока

Крепление конструкции к рамам каркаса здания осуществлялось с помощью связей, что обеспечивало ее геометрическую неизменяемость. Причем наложенные связи запрещали отдельно взятые линейные перемещения узлов.

Предварительная жесткость элементам назначалась путем задания параметров трубчатых профилей с автоматическим расчетом собственного веса. Нагрузка от ветра, указанная ранее, прикладывалась сосредоточенно в узлах.

Созданная компьютерная модель стенового ограждения рассчитана методом конечных элементов.

В результате выполненных вычислений сформированы схемы работы конструкции с цветовыми оттенками и соответствующими диаграммами, которые наглядно отразили параметры напряженно-деформированного состояния структурного блока. К тому же параллельно созданная компьютерными средствами развернутая числовая информация компактно структурирована и представлена в табличных данных.

Полученные усилия в стержнях и заданный материал позволили осуществить и визуализировать необходимый подбор геометрических характеристик труб каждому элементу.

Результаты расчета. Анализ результатов произведен на основании выявленных силовых факторов и параметров деформирования.

Усилия в элементах определены в горизонтальном, вертикальном и наклонном направлениях.

Величина и знак силового фактора соответственно указывали на степень загруженности и характер работы элементов. В частности наибольшей величиной характеризовались внутренние продольные силы конструкции.

Деформирование системы, закрепленной по контуру, фиксировалось в линейном горизонтальном направлении.

Благодаря наглядности схем, полученных в цветовом исполнении, определены опасные участки исследуемой структуры.

Абсолютный максимум продольных сил (усилий) выявлен в опорном растянутом раскосе верхней зоны стенового ограждения, где наблюдалось реально ощутимое давление ветра. На том же уровне по высоте, но уже смежные опорные раскосы в силу их уязвимого расположения в плоскости граней оказались максимально сжатыми. Остальные участки стержневой системы отличались сравнительно меньшей силовой загруженностью. Вместе с тем в срединной зоне на ячейку ниже зафиксированы вертикальные элементы с достаточно большими усилиями растяжения и сжатия.

Величины максимальных продольных сил в элементах стенового ограждения по разным направлениям в пространстве представлены в таблице 1.

Таблиця 1

**Максимальные продольные силы в элементах стенового ограждения
в зависимости от направлений расположения их в пространстве**

Направление расположения элементов		Максимальные продольные силы в элементах, кН			
		опорных		серединной зоны	
		растяжение	сжатие	растяжение	сжатие
Продольное	X	+43,40	-31,43	+15,80	-21,81
Поперечное	Z	+44,73	-48,96	+45,29	-41,13
	Y	+0,00	-0,00	+0,05	-12,94
Наклонное	X	+38,14	-50,00	+15,80	-9,45
	Z	+78,54	-72,65	+25,72	-28,48

Приведенная выше информация свидетельствует о наибольшей загруженности только некоторых опорных элементов и не вызывает сомнений в работе конструкции. К тому же следует отметить еще одну особенность, заключающуюся в том, что горизонтальная протяженность блока обеспечила на каждом уровне по высоте отдельным рядам в срединной зоне равномерное распределение усилий между элементами в продольном направлении.

Однако сформированная программными средствами информация о работе элементов не позволила оценить степень уязвимости тех участков системы, которые наиболее отдалены от опор. Именно они являлись чрезвычайно опасными с позиции пространственной жесткости стенового ограждения и могли повлечь за собой нежелательное искривление формы конструкции. Впрочем, перемещения, полученные настоящим расчетом, не выявили проблем в изменении геометрии рассматриваемой структуры и в целом оказались достаточно приемлемы для нормальной работы системы. Участки с заметно выдвинутыми узлами определены в пределах срединной зоны и наглядно представлены деформированной схемой. Наибольшие перемещения узлов, вызванные действием ветра, зафиксированы в линейном горизонтальном направлении. Причем максимальное отклонение от вертикали получил центральный узел на пересечении главных осей симметрии. Остальные перемещения узлов не оказали должного влияния на деформированное состояние конструкции.

В таблицу 2 внесены величины максимальных перемещений узлов стенового ограждения.

Таблиця 2

**Максимальные перемещения узлов стенового ограждения
в зависимости от направлений расположения их в пространстве**

Направление перемещения узлов		Максимальные перемещения узлов, мм	
		контурных	срединной зоны
Горизонтальное	<i>X</i>	0,62* 0,00**	0,90
	<i>UX</i>	3,40* -0,77**	-1,45
	<i>Y</i>	0,00* 0,00**	19,15
	<i>UY</i>	-0,18* -0,04**	-0,06
Вертикальное	<i>Z</i>	0,00* 0,69**	1,02
	<i>UZ</i>	0,97* 2,31**	1,32

Примечание. *: ** – контурные большая и меньшая стороны

Знак «минус» перед некоторыми наибольшими значениями угловых перемещений вызван полным наложением линейных связей на одну пару опорных узлов, расположенных на расстоянии 1 м, что привело к несущественному повороту рассматриваемой конструкции относительно осей *X* и *Y*, но, вместе с тем, обеспечило геометрическую неизменяемость системе.

Другие особенности, выявленные в результате анализа полученных схем деформирования, носили малоинформативный характер и не позволили сформулировать каких-либо закономерностей.

Выводы

В рамках реального проекта исследована работа металлической стеновой конструкции с применением структурного модуля без диагонального элемента из плоскости граней.

На основании данных о размерах и действующих нагрузках выполнено компьютерное моделирование и осуществлен расчет крупноразмерного блока.

Произведен подробный анализ представленных цветовых схем силовых факторов и параметров деформирования пространственной стержневой модели.

Результаты расчета позволили выявить опасные зоны стенового ограждения с позиции активной загруженности опорных элементов и местного отклонения срединных узлов.

На действия ветрового давления сильно отреагировали верхние наклонные элементы, в которых зафиксированы максимальные усилия растяжения и сжатия. Менее загруженной оказалась срединная зона, однако в отдельных ее вертикальных элементах выявлены достаточно большие внутренние силовые факторы.

Иная ситуація проявилась в параметрах деформування конструкції. Из рассмотренных участков стержневой модели наиболее опасное линейное выдвигание получила зона расположения срединных узлов. Именно они вследствие давления ветра ощутимо переместились в горизонтальном направлении. Причем больше всех от вертикали отклонился центральный узел стенового ограждения.

Литература

- [1] Сіянов О.І. Про доцільність використання нового положення структурного модуля в металевому просторовому стрижневому покритті / О.І. Сіянов // [«Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського»]. – К.: Вид-во «Сталь», 2010. – Вип. 6. – С. 249–265.
- [2] Патент 58064С2 України, МПК 7 Е04С3/08, Е04В1/343, 1/344. Просторовий блок покриття / Сорочан В.Л. (Україна). – № 2002097186; Заявл. 04.09.02; Опубл. 15.02.05. Бюл. № 2. – 4 с.
- [3] Риндюк В.І. Використання металевих просторових конструкцій для запобігання руйнівних процесів в передмовових спорудах / В.І. Риндюк, О.І. Сіянов, С.Й. Шаманський, Т.Ю. Романець // Будівельні конструкції. [«Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць»]. – Київ: ДНДІБК, 2008. – Вип. 70. – С. 211–215.
- [4] Сіянов О.І. Структурна металева конструкція покриття з новою формою просторової чарунки / О.І. Сіянов // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. [«Збірник наукових праць»]. – Рівне: НУВГП, 2005. – Вип. 12. – С. 296–303.
- [5] ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи / Мінбуд України. – К.: Вид-во «Сталь», 2006. – 60 с.
- [6] Лантух-Лященко А.И. ЛИРА. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. Учеб. пособие / А.И. Лантух-Лященко. – К.-М.: ФАКТ, 2001. – 312 с.
- [7] Городецкий А.С. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций. Учеб. пособие / А.С. Городецкий, В.С. Шмуклер, А.В. Бондарев. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 889 с.
- [8] Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. ЛИРА: <http://www.lira.com.ua>

Надійшла до редколегії 09.08.2012 р.