

СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ОБЪЕМНО-МОДУЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

В данной статье рассмотрен вопрос сейсмической устойчивости одноэтажного объемно-модульного здания. Описаны конструктивные особенности модульных зданий и основные этапы работы по исследованию их сейсмостойкости. Произведен анализ поведения модуля при сейсмическом воздействии и произведен расчет на опрокидывание одноэтажного модульного здания. По результатам расчета система, состоящая из одного модуля, является устойчивой.

Модульные здания, сейсмостойкость, опрокидывание.

The paper considers the issue of seismic stability of one-story modular building. Design features of the modular buildings and the main stages of studying their seismic stability are described in the paper. The analysis of the module behavior under the seismic impact and calculation of overturning of one-story modular building are made. As a result, the system consisting of a single module is considered to be stable.

Modular buildings, seismic stability, rollover.

Строительство объемно-модульных зданий является относительно новым и прогрессивным направлением, динамично развивающимся во всем мире. Суть модульного строительства заключается в оптимизации этапов работы за счет изготовления в закрытых заводских условиях стандартных трехмерных элементов (модулей), из которых собирается здание.

Модули для каждого проекта выполняются по индивидуальному заказу и для каждого здания изготавливаются несколько их типоразмеров по ширине, длине и высоте. Ширина модулей от 2,5 до 5,0 м. Длина от 6,0 до 24,0 м. Высота 3,6 м. Вес модулей может достигать 40 т. Количество этажей в зданиях из модульных конструкций от одного до четырех этажей.

Фундаменты модульных зданий проектируются в виде железобетонных фундаментных плит толщиной 500 мм с монолитными подколонниками. Опираемые вышележащих конструкций на фундамент происходит через доборные пластины из оцинкованной стали, расположенных с шагом 800 мм. При соединении лестничных модульных блоков, лифтовых шахт, вентиляционных шахт с цокольной стеной производится сварка к закладным деталям доборных пластин.

Регулярная структура стального пространственного каркаса модульных зданий образована объемными ячейками в виде модульных блоков, монтируемых вплотную друг к другу по ширине и высоте здания. Длина каждого модуля в основном совпадает с шириной здания. Каркасы модулей выполнены из стальных стержней по балочно-стоечной схеме. Геометрическая неизменяемость каждого модуля обеспечивается диагональными гибкими связями по граням каждого блока, а также жесткими узлами сопряжения стержней. В отсутствие значительных горизонтальных нагрузок конструкция модуля позволяет монтировать здание без соединений модулей друг с другом. Передача усилий в каркасе выполняется через опорные поверхности обвязочных балок моду-

лей. Восприятие ветровых горизонтальных усилий обеспечивается силами трения.

При наличии в районе строительства значительных горизонтальных нагрузок (в том числе и сейсмических) производится соединение модулей между собой при помощи сварки на доборных пластинах толщиной 5 мм. Сварка производится не менее чем в трех местах по длине при соединении верхней рамы нижнего блока с нижней рамой верхнего блока и не менее чем в трех местах по высоте с наружной и внутренней стороны при соединении стоек стен смежных блоков. Соединения модулей между собой не рассчитывались на сейсмическое воздействие и были приняты из конструктивных соображений.

Исследование сейсмической устойчивости штабеля из объемных модулей будет производиться в три этапа:

1. Расчет штабеля из отдельных модулей. Цель – проверка устойчивости штабеля при разных значениях высоты, размеров фундаментной плиты и интенсивности воздействия. На этом этапе производится вывод дифференциальных уравнений движения модулей и их численное решение.

2. Расчет соединенных модулей с целью проверки прочности самих модулей и соединительных узлов. Цель – определение возможных размеров зданий по высоте и в плане в зависимости от интенсивности воздействия без изменения конструкции модулей.

3. Определение действующих нагрузок на обшивку, установленную в здании.

Далее приводится расчет одного модуля на устойчивость против опрокидывания при действии сейсмической нагрузки.

В качестве сейсмических нагрузок применялись поэтажные спектры ответа, приведенные на рис. 1, 2, 3. При расчете были использованы спектры, соответствующие демпфированию в модуле, равному 4 % от критического значения. Принятое значение характерно для сварных металлических конструкций [5].

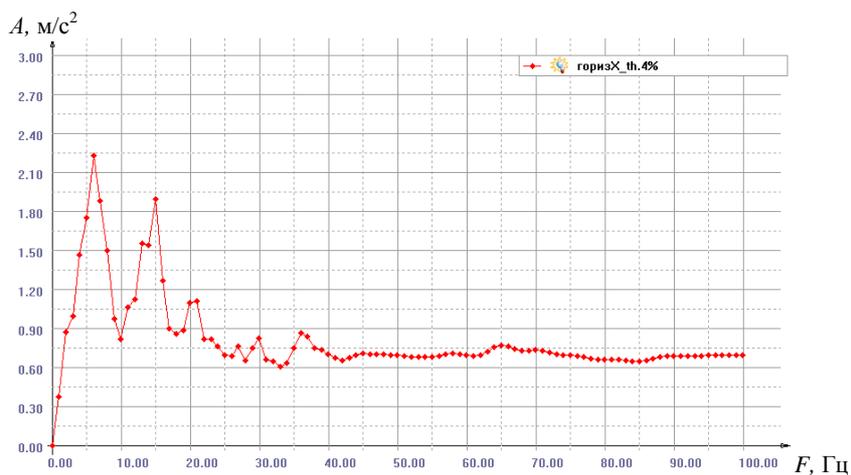


Рис. 1. Горизонтальная X-компонента

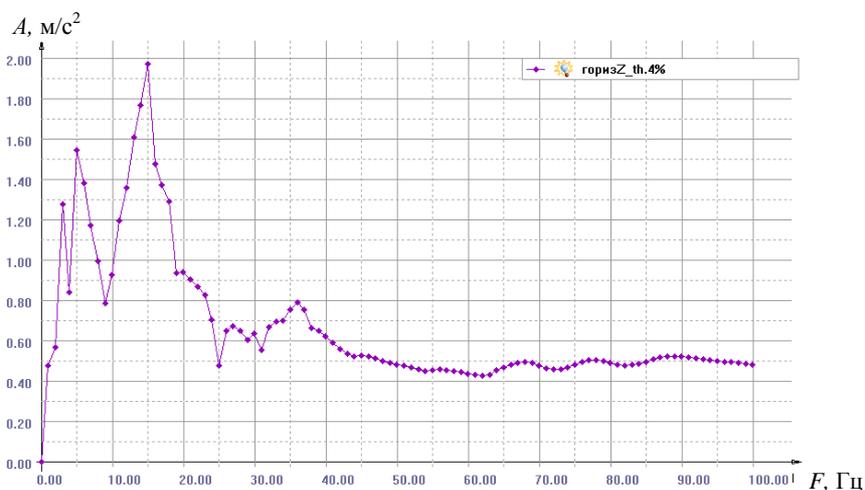


Рис. 2. Горизонтальная Z-компонента

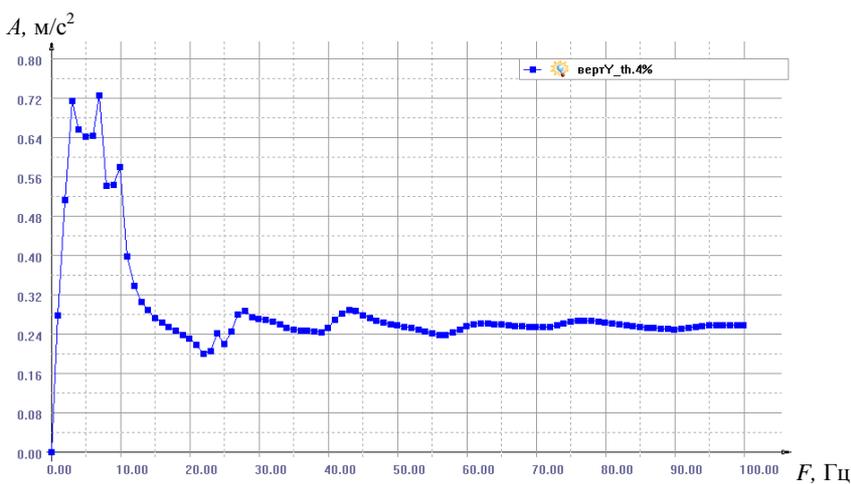


Рис. 3. вертикальная Y-компонента

Для определения нагрузок на модуль в рамках линейно-спектральной теории необходимо найти частоты собственных колебаний модуля. При сейсмическом воздействии возможны два варианта поведения модуля: при сравнительно небольших воздействиях напряжения в основании модуля остаются

сжимающими по всей площади основания, с ростом интенсивности воздействия происходит отрыв нижней части модуля от нижележащих конструкций, его можно представить в виде системы с одной степенью свободы, совершающей колебания около положения равновесия.

Условие отрыва нижней части модуля можно записать по формуле:

$$\sigma = -\frac{m(g - a_v)}{A} + \frac{ma_h l}{2W} \geq 0, \quad (1)$$

где m – масса модуля; l – высота модуля; g – ускорение свободного падения; a_h и a_v – значения спектров горизонтальных и вертикальных сейсмических ускорений; $A = 2,5 \cdot 24 = 60 \text{ м}^2$ – площадь основания модуля; $W = 24 \cdot 2,5^2/6 = 25 \text{ м}^3$ – момент сопротивления сечения, соответствующий основанию модуля.

Если отрыва нижней части модуля не происходит, то первая собственная частота равна $\omega = 1,597$ Гц. Если при увеличении интенсивности воздействия происходит отрыв нижней части модуля от нижележащих конструкций, его можно представить в виде системы с одной степенью свободы, совершающей колебания около положения равновесия.

Дифференциальное уравнение для системы с одной степенью свободы (рис. 4) имеет вид:

$$\ddot{\varphi} (J + mc^2) + mg \left(\frac{b}{2} \cos \varphi - \frac{l}{2} \sin \varphi \right) \text{sign}(\varphi) = 0, \quad (2)$$

где b – ширина модуля; l – высота модуля; m – масса модуля; J – момент инерции модуля относительно центра вращения; φ – угол поворота модуля;

$$c = 0,5\sqrt{l^2 + b^2}.$$

Движение системы описываемой нелинейным уравнением вида $J\ddot{\varphi} + F(\varphi) = 0$ носит периодический, но негармонический характер. Частота свободных колебаний таких систем зависит от начальных условий и амплитуды колебаний.

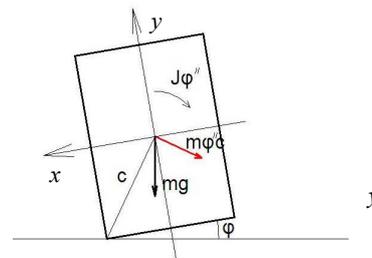


Рис. 4. Система с одной степенью свободы

По результатам численного решения уравнения при различных начальных условиях получаем зависимость частоты и амплитуды свободных колебаний в зависимости от величины начальных отклонений и угловой скорости (см. рис. 5 – 8).

Значения спектров горизонтальных и вертикальных ускорений, соответствующих первой собственной частоте: $a_h = 0,735 \text{ м/с}^2$; $a_v = 0,38 \text{ м/с}^2$. Следовательно, по формуле [1]:

$$\begin{aligned} \sigma &= -\frac{m(g - a_v)}{A} + \frac{ma_h l}{2W} = \\ &= \frac{40000(9,81 - 0,38)}{24 \cdot 2,5} + \frac{40000 \cdot 0,735 \cdot 3,6 \cdot 6}{2 \cdot 24 \cdot 2,5^2} = \\ &= 1958 - 6367 = -4169 < 0. \end{aligned}$$

Следовательно, при сейсмическом воздействии отрыва нижней части модуля от основания не происходит, система является устойчивой.

В данный момент производится численное решение систем дифференциальных уравнений для анализа движения штабелей из двух и трех модулей.

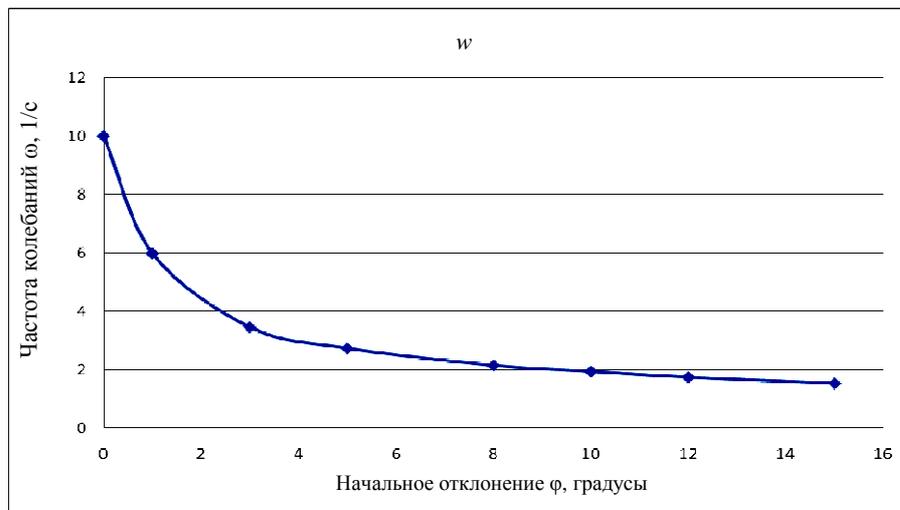


Рис. 5. Зависимость между частотой колебаний модуля и начальным углом его отклонения при нулевом значении начальной угловой скорости

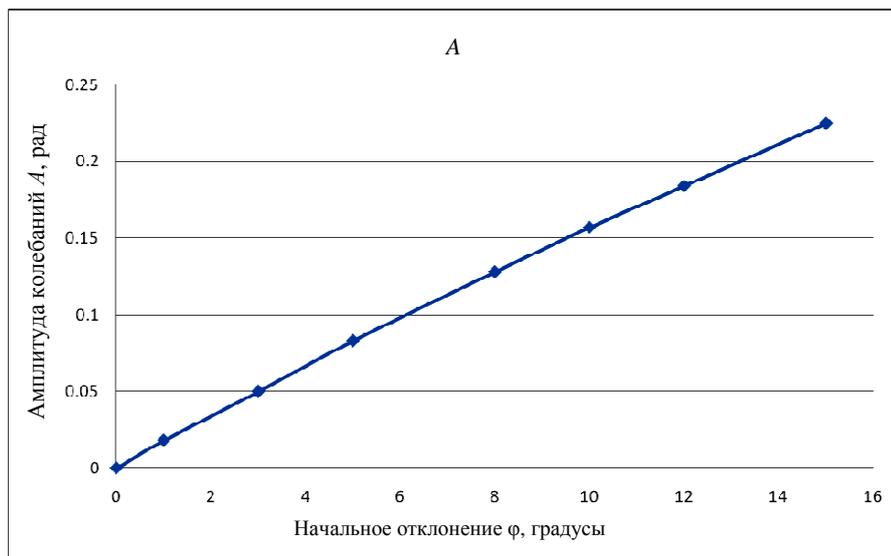


Рис. 6. Зависимость между амплитудой колебаний модуля и начальным углом его отклонения при нулевом значении начальной угловой скорости



Рис. 7. Зависимость между частотой колебаний модуля и начальной угловой скоростью при различных значениях начального отклонения



Рис. 8. Зависимость между амплитудой колебаний модуля и начальной угловой скоростью при различных значениях начального отклонения

Литература

1. Бирбраер, А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость / А.Н. Бирбраер. – СПб., 1998.
2. Пановко, Я.Г. Введение в теорию механических колебаний / Я.Г. Пановко. – М., 1989.
3. Уздин, А.М. Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений / А.М.

Уздин, Т.А. Сандович, Аль-Насер-Махомед Самих Амин. – СПб., 1993.

4. Шульман, Г.С. Анализ сейсмостойкости штабеля из контейнеров / Г.С. Шульман // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – № 1 (26). – С. 62 – 66.

5. Damping Values for Seismic Design of Nuclear Power Plants. Regulatory Guide 1.61 // U.S. Atomic Energy Commission. – 1973. – Oct.

УДК 621.771, 62-83: 621.313.2

А.В. Кожевников

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ РАБОТЫ**

Материалы данной статьи посвящены анализу и разработке технических решений по снижению потерь электроэнергии при работе автоматизированных приводов прокатных станов с помощью совместного моделирования механической и электрической частей привода и усовершенствованию существующих способов управления, реализуя алгоритмы импульсного управления электродвигателем.

Прокатный стан, автоматизированный электропривод, энергосбережение, энергоэффективность, потери электроэнергии, импульсное управление.

The article is devoted to the analysis and development of technical solutions to reduce the electric power losses when automated drives of rolling mills work with the help of simulation of the mechanical and electrical parts of the drive and improvement of the existing methods of control, implementing the algorithms of pulse motor control.

Rolling mill, automated electric drive, energy conservation, energy efficiency, electric power losses, pulse control.

Любой технологический процесс нестабилен и выражен в колебаниях основных технологических параметров, в работе автоматизированных электроприводов технических систем. Это токи якоря, скорости вращения, моменты и т.д. В процессе работы электроприводы сложных технических систем подвергаются различным нагрузкам. Наличие колебаний в технологическом процессе и различный характер (систематический, случайный и т.д.) нагрузок приводит к техническим проблемам, выражающимся, как правило, в повышенных колебаниях параметров технологического процесса и соответственно росту потерь электроэнергии [3]. Данный факт существенно влияет на энергоэффективность технологии, надежность и к.п.д. электротехнического оборудования, качество и себестоимость выпускаемой продукции.

Прокатный стан представляет собой крупный агрегат со сложным нагружением, где упругие свойства линий передачи в сочетании с большой кинетической энергией вращающихся масс могут приводить к возникновению недопустимо больших колебательных процессов. Моменты упругих колебаний, возникающие в элементах механической части привода, передаются электродвигателю, вызывая при этом колебания тока якоря, скорости валков, натяжения в межклетевом промежутке. Указанные колебания, входя в опасную резонансную фазу, могут вызывать явления, называемые в мировой практике металлургического прокатного производства как «chatter» («дребезжание, гудение»). «Chatter» вводят прокатные агрегаты по сути в аварийный режим работы,

препятствуя освоению высоких скоростей прокатки, и приводят к возникновению дефектов прокатных полос («ребристость», «полосы нагартовки»).

В качестве примера приведены диаграммы значений токов якоря, угловой скорости двигателя нижней валка первой клетки и натяжения полосы в межклетевом промежутке (между первой и второй клетями), снятые при работе пятиклетевого стана холодной прокатки «1700» ЧерМК ОАО «Северсталь» (см. рис. 1).

Как видно из рисунка, колебания тока якоря в установленном режиме работы привода рассматриваемого прокатного стана могут достигать до 200 А. При работе станом горячей прокатки, где нагрузки на приводы еще больше, эти колебания достигают в установленном процессе 400 – 600 А, а в переходных процессах разгона и торможения могут достигать 1000 – 1500 А. Все это приводит к возникновению существенных потерь электроэнергии и снижению эффективности работы оборудования.

Исследованиям, посвященным устранению нежелательных колебательных процессов посвящено немало научных работ в России и за рубежом [2], [4], [5], однако до настоящего времени отсутствует теория, убедительно объясняющая причины возникновения нестационарностей при производстве проката, и методы снижения (устранения) колебательных процессов при прокатке полос и повышения энергоэффективности технологического процесса прокатки.