

где  $T_u$  – продольная сила в диафрагменном подкосе, Н;  
 $f_{yd}$  – расчетное сопротивление арматуры, МПа.

В том случае, когда поперечный шов выполняет функции обвязочного бруса расчет площади поперечного сечения арматуры рекомендуется вести по следующей зависимости:

$$A_s = \frac{M_u}{0,8h \cdot f_{yd}}, \quad (5)$$

где  $h$  – высота диафрагмы, мм;

$M_u$  – изгибающий момент в обвязочном бруссе, Н·мм.

При этом рабочая высота сечения шва ограничена до 0,8 от высоты поперечного сечения диафрагмы.

В связи с тем, что поведение горизонтальных диафрагм под нагрузкой подобно поведению арки с затяжкой, нежели свободно опертой балки, необходимо осуществлять анкерку продольной арматуры обвязочного бруса у опор.

По первой зависимости может вычислено относительное сдвиговое усилие и, на основании этого, вычисляется требуемая площадь армирования швов. Арматура распределяется по длине шва в соответствии с эпюрой поперечных сил. В результате расчета сдвигового усилия по второй зависимости получаем сдвиговое усилие, на основании которого армирование шва следует распределять равномерно по длине от сечения с нулевым изгибающим моментом до сечения с максимальным изгибающим моментом.

**Заключение.** В настоящей статье приведены без дополнительного анализа базовые положения, относящиеся к проектированию перекрытий из сборных плит безопалубочного формования в соответствии с требованиями EN 1168 [2] и ACI 318 [1]. Как следует из представленных положений, применение плит безопалубочного формования при проектировании горизонтальных дисков перекрытий, требует от инженера более тщательного подхода к выбору конструктивного решения диска перекрытия, выполнения ряда дополнительных проверок, подтверждающих адекватное поведение как отдельного элемента в составе системы, так и конструктивной системы в целом при действии расчетной системы вертикальных и горизонтальных нагрузок. На первый взгляд это покажется более трудно-

емким по сравнению с проектированием перекрытий из традиционных плит пустотного настила. Вместе с тем, применение приведенных в статье требований к расчету и конструированию узлов горизонтального диска перекрытия позволяет создавать конструктивные системы с высоким уровнем надежности при рациональных экономических затратах, обеспечить требуемые эксплуатационные качества строительного объекта при проектных условиях и его живучесть в особых расчетных ситуациях.

Следует отметить, что приведенные положения в полной мере применимы и при проектировании дисков перекрытий из традиционных пустотных плит, изготовленных по агрегатно-поточной технологии. Как показывает опыт обследования существующих строительных объектов, многих дефектов и повреждений, вызванных температурными деформациями, неравномерными осадками опор и т.д. удалось бы избежать, если бы конструктивные системы проектировались с учетом приведенных выше требований.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. PCI Manual for the Design of Hollow Core Slabs. D.R. Buettner, J. Becker, 1998.
2. EN 1168. Precast concrete products - Hollow core slabs. UCS, 2004.
3. Указания по проектированию дисков перекрытий с применением плит безопалубочного формования / НИПТИС им. С.С. Атаева – Минск, 2009.
4. Тур, В.В. О нормировании величины втягивания канатов при изготовлении плит безопалубочного формования // Сб. трудов «Проблемы современного бетона и железобетона». – Ч.1 / В.В. Тур, Т.М. Пецольд – Минск, 2009.
5. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-2002.
6. Конструкции бетонные. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1992-1-1. – Минск, 2009.
7. Quality Assurance and Recommended Connections of Prestressed Hollow Core Slabs – London: BSI, 1998.
8. ACI Manual 318R-86 art. 129 – Interim, 1990 – USA.
9. ТКП EN 1992-1-7 «Общие воздействия. Особые воздействия».
10. British Standard BS8110: Part 1: 1997, Section Four, art. 4.10 – London: BSI, 1997.

04.02.10

#### TUR V.V., SHERBACH A.V. Feature of designing of modular overlappings from a hollow flooring minussheathing formations. The account diaphragm effect

In clause the base positions concerning designing of overlappings from modular plates безопалубочного of formation according to requirements EN 1168 and ACI 318 are resulted. Principles of designing of a horizontal diaphragm (a disk of overlapping) with use afore-mentioned plates are considered. Actions on maintenance of teamwork of elements of a horizontal disk of overlapping are described at action of vertical and horizontal loadings.

[69.008.6:692.426]:534.1

“

”

-

«

»

**Введение.** Любая конструкция может быть представлена в виде системы пружин, масс и демпферов. Демпферы поглощают энергию, а массы и пружины – нет. Масса и пружина образуют систему, которая имеет резонанс на характерной для нее собственной частоте. Если подобной системе сообщить энергию (например, ударить по ней), то она начнет колебаться с собственной частотой, а амплитуда вибрации будет зависеть от мощности источника энергии и от поглощения этой энергии, т.е. демпфирования, присущего самой системе. Собственная частота идеальной системы масса-пружина без демпфирования дается соотношением:

$$\omega = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент упругости (жесткость) пружины;

$m$  – масса.

Для призматических тел конечной жесткости, к которым относят стержни строительной конструкции, собственная частота колебаний приводится соотношением:

$$\omega = \frac{i \cdot \pi^2}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{\rho \cdot F}}, \quad (2)$$

**Мигель Александр Вадимович**, ассистент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

где  $l$  – длина элемента;

$EI$  – жесткость элемента;

– плотность материала элемента;

$F$  – площадь поперечного сечения;

$i=1,2,3...$  – номер формы колебания.

Из зависимости видны следующие аналогии:  $EI$  – жесткость элемента, а  $F$  – масса элемента на 1 м длины.

Отсюда следует, что с увеличением жесткости увеличивается и собственная частота, а с увеличением массы собственная частота падает. Если система обладает демпфированием, а это так для всех реальных физических систем, то собственная частота будет несколько ниже рассчитанного по приведенной выше формуле значения и будет зависеть от величины демпфирования.

Из теории колебаний [1] известно о взаимосвязи собственной частоты колебаний от приложенного продольного усилия (сжимающего или растягивающего). Эта зависимость имеет следующий вид:

- для растянутых элементов

$$\omega = \frac{i \cdot \pi^2}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{\rho \cdot F} + \left(1 + \frac{s \cdot l^2}{i^2 \cdot EI \cdot \pi^2}\right)}; \quad (3)$$

- для сжатых элементов

$$\omega = \frac{i \cdot \pi^2}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{\rho \cdot F} + \left(1 - \frac{s \cdot l^2}{i^2 \cdot EI \cdot \pi^2}\right)}; \quad (4)$$

$S$  – осевое усилие.

Из этой зависимости видно, что приложение растягивающего усилия вызывает увеличение значения собственной частоты, а сжимающего – снижение. Данная зависимость применима только для свободно опертого стержня конечной жесткости (идеальный шарнир). В случае структурной конструкции БрГУ данная зависимость будет давать погрешность определения усилий в стержнях вследствие следующих основных факторов:

1. Нет идеального шарнирного закрепления стержней в узловых элементах конструкций, с точки зрения свободы колебательных движений.
2. Перемещения узловых элементов структурной конструкции и, как следствие упругая податливость закрепления.

Полученные расхождения собственных частот колебаний с использованием зависимости теории колебаний и лабораторными испытаниями составляют 20–25 %.

**1. Методика определения собственной частоты колебания стержней конструкции.** Для определения собственной частоты колебаний использовалась компьютерная измерительная система анализа характеристик вибрации ВИКМА-1.

Структурная схема этой измерительной системы приведена на рис. 1. Она включает в себя следующие основные модули:

- модуль измерения вибрации МИВ;
- модуль управления, синхронизации и интерфейса МУСИ;
- модуль питания и развязки МПР.

Модуль измерения вибрации МИВ включает в себя два идентичных канала для измерения вибрации КИВ 1 и КИВ 2, каждый из которых состоит из датчика вибрации ДВ, приемного усилителя ПУ, генератора тока ГТ и аналого-цифрового преобразователя АЦП. Вибрация исследуемого объекта с помощью датчика вибрации ДВ, представляющего собой пьезоэлектрический акселерометр с интерфейсом ICP (тип AP98-100-01), преобразуется в электрический сигнал, который поступает на приемный ICP-усилитель ПУ, обеспечивающий требуемое смещение входа и усиление поступающего сигнала, после чего сигнал с выхода ПУ поступает на вход АЦП, выполненного на микросхеме AD1871 фирмы Analog Devices, где преобразуется в цифровую форму и далее передается в МУСИ. Частота дискретизации АЦП – около 47 кГц.

Модуль управления, синхронизации и интерфейса МУСИ включает в себя центральное устройство управления ЦУУ, буферную

память ББП, интерфейсный контроллер КИ и вспомогательный контроллер КВ. Центральное устройство управления ЦУУ выполнено на СБИС программируемой логики фирмы Altera семейства Cyclone. Оно осуществляет общее управление процессом измерений, выработку управляющих сигналов, буферизацию поступающих с АЦП данных в блоке буферной памяти ББП, выполненной на основе микросхемы динамической памяти фирмы Hitachi, а также выполняет дополнительные служебные функции. Интерфейсный контроллер КИ, выполненный на микросхеме CY7C 68013 фирмы Cypress, обеспечивает связь измерительного блока с управляющим компьютером посредством высокоскоростного стандартного интерфейса USB 2.0. Вспомогательный контроллер КВ, реализованный на микросхеме АТмега 8535 фирмы Atmel, обеспечивает выработку служебных сигналов управления для инициализации АЦП, а также синхронизирует поступление данных от АЦП в модуль управления, синхронизации и интерфейса МУСИ.

Модуль питания и развязки МПР включает в себя блок гальванической развязки БГР и блок преобразователей напряжения БПН. Блок гальванической развязки БГР обеспечивает электрическую изоляцию входных измерительных модулей устройства от цифрового модуля управления, синхронизации и интерфейса МУСИ, электрически связанного с управляющим компьютером через интерфейс USB. Блок преобразователей напряжения БПН обеспечивает выработку всех напряжений, необходимых для питания измерительных модулей и МУСИ. Реализован БПН на DC-DC преобразователях фирмы Aimtec. Питание измерительного блока осуществляется путем подключения от AC-DC адаптера, преобразующего переменное сетевое напряжение 220 В в постоянное напряжение 7,5 В.

Модуль управления, синхронизации и интерфейса МУСИ под управлением ЭВМ производит обработку полученных от модуля измерения вибраций МИВ данных программными средствами.

Принцип действия устройства следующий: при возбуждении поперечных колебаний в образце модуль измерения вибраций МИВ передает сигнал на модуль управления, синхронизации и интерфейса МУСИ в течение заданного промежутка времени. ЭВМ считывает данные и по окончании измерения строит график колебательного движения, где по оси абсцисс откладывается время измерения, а по оси ординат виброускорение (см. рис. 3а, 3б). Далее программными средствами производится анализ полученных данных (графика колебательного движения), например, построение спектра частот.

Исходя из вышесказанного, предложена методика по определению осевого усилия в элементе:

1. Вибрационный датчик ВД с магнитом крепится к стержню конструкции в средней части по длине.
2. На ЭВМ запускается процесс считывания результатов (порядка 20–25 с.), одновременно производится возбуждение поперечных колебаний, путем удара по элементу конструкции в направлении, параллельном расположению датчика на расстоянии 20–30 см от него.
3. По истечению времени считывания результатов программным средством, поставляемым с устройством, строится график колебательного процесса.
4. На основе полученного графика колебательного движения строится спектр частот, по которому определяется собственная частота колебаний элемента конструкции.
5. Исходя из ранее полученных зависимостей (тарировочных графиков или теоретических формул), определяется осевое усилие в элементе конструкции.

Анализ колебательного движения может производиться во временной области (графика колебательного движения) и в частотной области (спектр частот). График колебательного движения не дает четкого представления о частотных составляющих. Обычно на практике применяют частотный, или спектральный, анализ вибрационного сигнала, который позволяет определить собственную частоту колебаний элемента. Частота и время связаны друг с другом обратно-пропорциональной зависимостью.

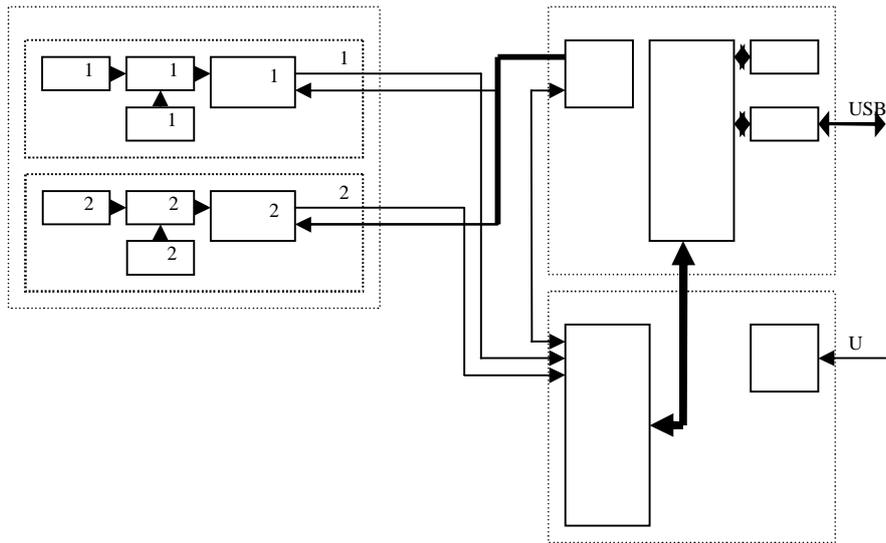
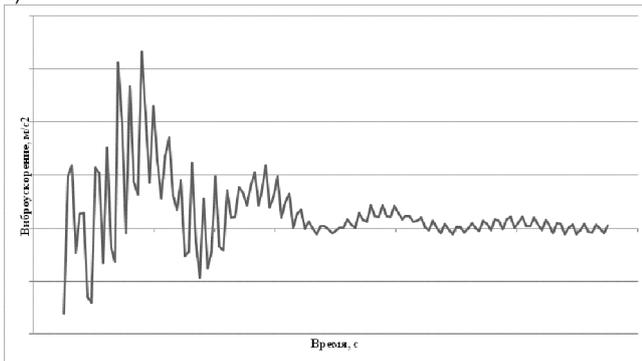


Рис. 1. Схема компьютерной измерительной системы анализа характеристик вибрации ВИКМА-1

Обратите внимание, что на рис. 2 частотные составляющие сигнала отделены друг от друга и явно выражены в спектре, а их уровни легко идентифицировать. Эту информацию было бы очень просто выделить из временной реализации.

а)



б)

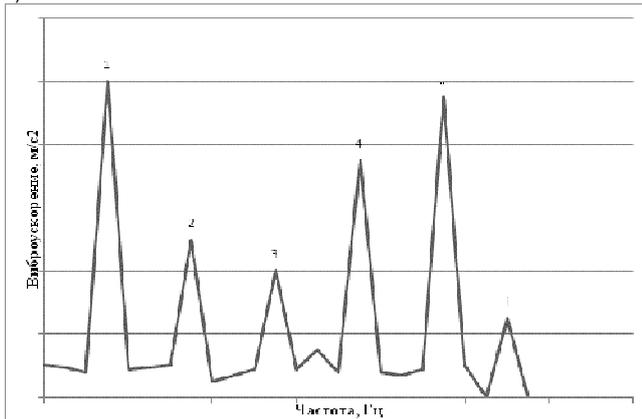


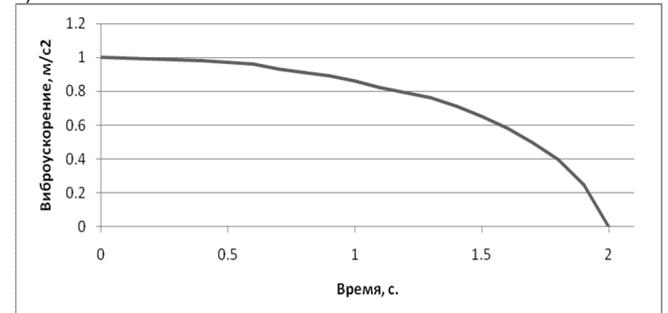
Рис. 2. График колебательного процесса: а) во временной области; б) в частотной  
1,2,3...i – форма колебания

Ниже приведен пример временной реализации и спектра, иллюстрирующий важнейшие понятия частотного анализа и использующийся для возбуждения свободных поперечных колебаний в стержне структуры при проведении натурных измерений и лабораторных экспериментов.

Единичный импульс (удар) используется специально для возбуждения колебаний. Хотя его вибрационный отклик не будет такой

классически гладкой кривой, какая приведена ниже, но тем не менее он будет непрерывным в широком частотном диапазоне и иметь пики на собственных частотах конструкции. Это означает, что удар является очень хорошим типом возбуждения для выявления собственных частот, так как его энергия распределена непрерывно в широком частотном диапазоне. Применительно к нашей методике единичный импульс используется для определения собственной частоты колебания испытуемых элементов.

а)



б)

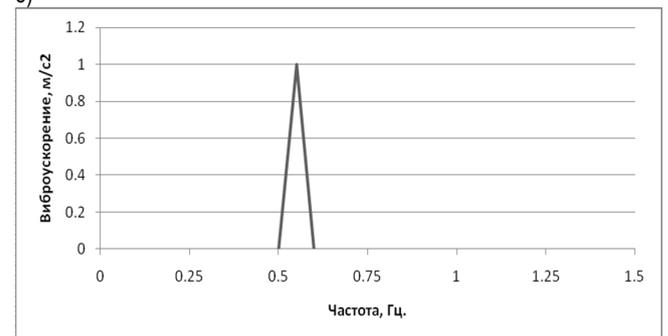


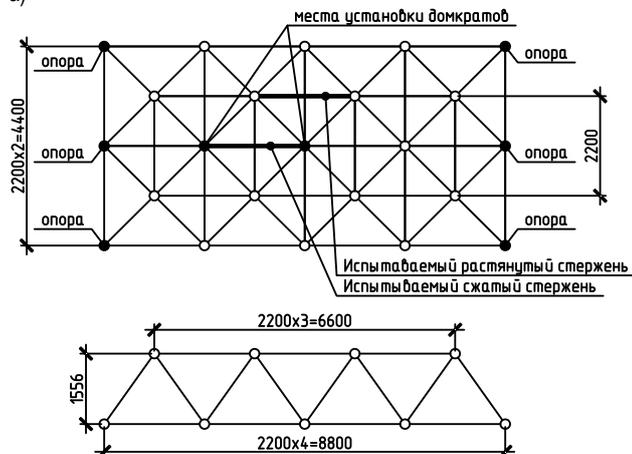
Рис. 3. График короткого импульса: а) во временной области; б) в частотной

Спектр короткого импульса (рис. 3) очень широкий, не дискретный, а непрерывный. Энергия сигнала распределена по всему частотному диапазону, а не сосредоточена на нескольких отдельных частотах. Это характерно для недетерминированных сигналов, таких как случайный шум и переходные процессы. Заметьте, что, начиная с определенной частоты, уровень равен нулю. Эта частота обратно пропорциональна длительности импульса, поэтому чем короче импульс, тем шире его частотный состав.

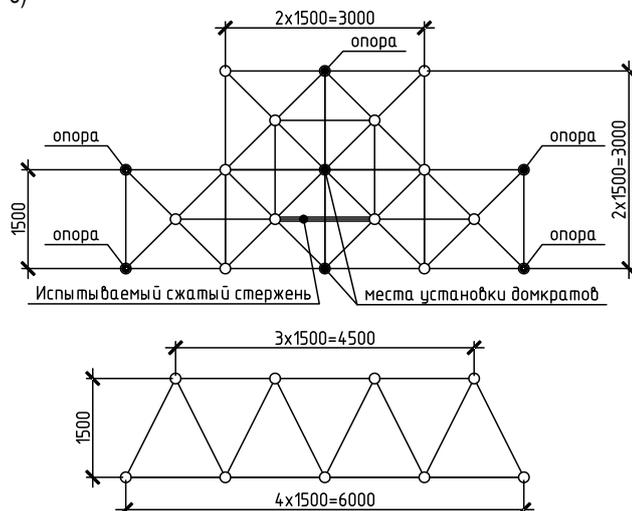
**2. Исследование работы стержней структурной конструкции БРГУ методом динамического анализа их собственной частоты колебания.** Для исследования работы стержней использовались два фрагмента структурной конструкции системы БРГУ:

- размеры ячейки 2,2x2,2 м, высота 1,56 м (см. рис. 4а);
- размеры ячейки 1,5x1,5 м, высота 1,5 м (см. рис. 4б).

а)



б)



**Рис. 4.** Схемы фрагментов испытываемых фрагментов структурной конструкции: а) с ячейкой 2,2x2,2 м, б) с ячейкой 1,5x1,5

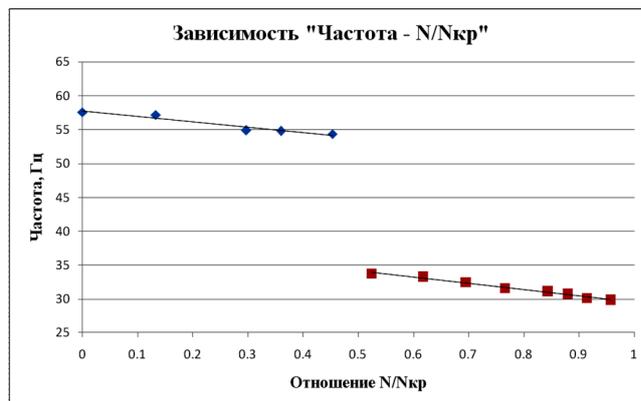
В фрагменте с размерами 2,2x2,2 м анализировалось два сечения стержней: для сжатых элементов труба  $\varnothing 60 \times 4$  с расстоянием между узлами 2,2 м (гибкость  $\lambda=110$ ), для растянутых элементов труба  $\varnothing 55 \times 1,5$  с расстоянием между узлами 2,2 м (гибкость  $\lambda=118$ ). Для фрагмента 1,5x1,5 м анализ проводился для одного сжатого сечения стержня – труба  $\varnothing 60 \times 4$  с расстоянием между узлами 1,5 м (гибкость  $\lambda=75$ ). В итоге анализировались три типоразмера стержней, отличающихся гибкостью и напряженным состоянием (сжатие-растяжение).

Испытания фрагментов проводились в лабораторных условиях, нагружение проводилось поэтапно и контролировалось динамометром. Собственная частота колебания стержней определялась согласно разработанной методики (см. п. 2). Усилие в стержнях определено посредством тензометрии, с использованием станции ТИССА-1.

По результатам испытаний получены графики «Частота –  $N/N_{кр}$ » для сжатых стержней и «Частота –  $N/N_T$ » для растянутых (рис. 5–7). Отношение  $N/N_{кр}$  ( $N/N_T$ ) характеризует предел достижения стержнем предельного состояния, где  $N$  – осевое усилие в стержне, определенное по средством тензометрии. В качестве предельного усилия принято: для сжатых стержней  $N_{кр}$  – осевое усилие, при котором происходит потеря устойчивости стержня (согласно лабораторным испытаниям); для растянутых стержней  $N_T$  – усилие, при котором напряжения в

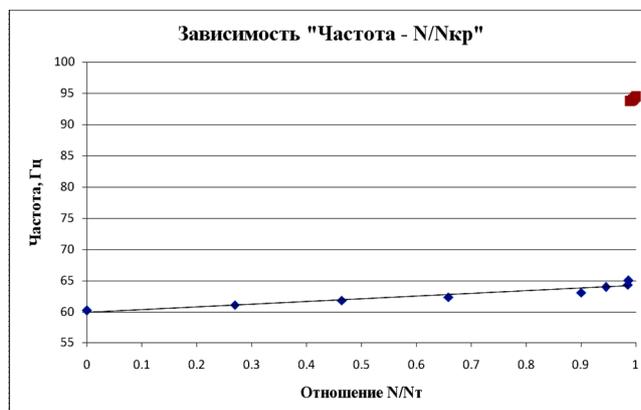
стержне достигают величины, равной пределу текучести стали трубы при ее растяжении (согласно лабораторным испытаниям).

Для фрагмента 2,2x2,2 м графики «Частота –  $N/N_{кр}$ » представлены на рис. 5, 6.



**Рис. 5.** Зависимость «Частота –  $N/N_{кр}$ » для сжатого стержня с гибкостью  $\lambda=110$

Из зависимости «Частота –  $N/N_{кр}$ » на рис. 5 видно, что в пределах значений отношения  $N/N_{кр}$  от 0 до 0,45 происходит уменьшение собственной частоты колебания, связанное с увеличением сжимающего усилия в стержне. Это вполне согласуется с проведенными ранее испытаниями стержней, поэтому зависимость «Частота –  $N/N_{кр}$ » может быть аппроксимирована линейной функцией. При достижении стержнем усилия, в пределах отношения  $N/N_{кр}$  от 0,45 до 0,5, происходит резкое падение значения собственной частоты, связанное с развитием прогибов и, как следствие, изменением геометрии стержня. Этот этап характеризуется началом развития пластических деформаций, которые впоследствии приводят к потере устойчивости стержня. В диапазоне значений  $N/N_{кр}$  от 0,5 до 1 зависимость «Частота –  $N/N_{кр}$ » носит также линейный характер, а уменьшение собственной частоты колебания на данном этапе связано как с увеличением сжимающего усилия, так и с накоплением пластических деформаций и прогибов.



**Рис. 6.** Зависимость «Частота –  $N/N_T$ » для растянутого стержня с гибкостью  $\lambda=118$

На рис. 6 из зависимости «Частота –  $N/N_T$ » для растянутого стержня видно, что происходит линейное увеличение собственной частоты колебания стержня при увеличении растягивающего усилия. По достижении стержнем усилия соответствующего значению  $N/N_T=0,99$  и, как следствие, пределу текучести стали трубы происходит резкое увеличение значения собственной частоты, связанное с изменением продольной жесткости стержня, вследствие накопления пластических деформаций. Дальнейшее нагружение фрагмента привело к развитию пластических деформаций стержня по длине без увеличения собственной частоты.

Для фрагмента 1,5x1,5 м график «Частота –  $N/N_{кр}$ » для сжатого стержня представлен на рис. 7.

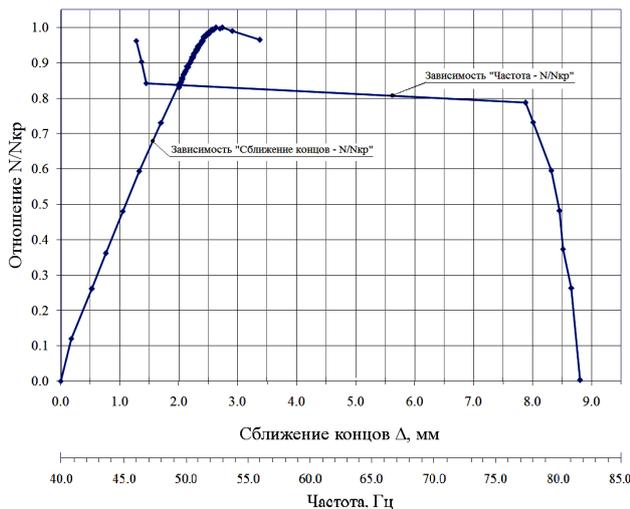


Рис. 7. Совмещенный график зависимостей «Частота –  $N/N_{кр}$ » и «Сближение концов –  $N/N_{кр}$ » для сжатого стержня с гибкостью  $\lambda=75$

Зависимость «Частота –  $N/N_{кр}$ » для сжатого стержня с гибкостью  $\lambda=75$  (рис. 7) схожа с зависимостью для такого стержня с гибкостью  $\lambda=110$  (рис. 5). В данном случае мы наблюдаем схожий физический эффект, связанный с резким уменьшением собственной частоты колебания, только происходит он при усилии в стержне, соответствующем значению отношения  $N/N_{кр}$  в пределах от 0,8 до 0,85. Это связано с меньшей гибкостью стержня и, как следствие, с большей жесткостью. Накопление пластических деформаций для этого стержня происходит быстрее по отношению к моменту скачка собственной частоты, и он теряет устойчивость быстрее. Из совмещенного графика (рис. 7) наглядно видно, что резкое изменение собствен-

ной частоты колебания примерно совпадает с переходом стержня в упругопластическую стадию работы. Эта закономерность подтверждает ранее сделанные выводы.

В ходе проведенных лабораторных испытаний фрагментов структурной конструкции было установлено, что при достижении определенного этапа загрузки происходит упругопластическое деформирование стержня и наблюдается скачок собственной частоты колебания (для растянутого стержня в сторону повышения, для сжатого в сторону уменьшения). Данный эффект имеет практический интерес и позволяет оценивать эксплуатационную пригодность элемента конструкции в реальных условиях.

#### Заключение

1. Подтверждена качественная и количественная зависимость осевого усилия в стержневом элементе конструкции от собственной частоты колебаний.
2. Опробована методика определения собственной частоты колебания элемента конструкции в лабораторных условиях.
3. Выявлен физический эффект, связанный с резким изменением собственной частоты колебания стержня, при достижении определенного осевого усилия, характеризующийся изменением геометрии стержня и накоплением пластических деформаций.
4. Предложено использовать данный эффект для оценки эксплуатационной пригодности и надежности элемента конструкции.

#### СПИСОК ЦИТИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тимошенко, С.П. Колебания в инженерном деле: пер. с англ. Л.Г. Корнейчука; под ред. Э.И. Григольюка / С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Уивер. – Москва: Машиностроение, 1985. – 472 с.
2. Мониторинг за поведением металлических конструкций покрытия Летнего амфитеатра «Славянский базар» в г. Витебске при их эксплуатации: отчет о НИР/ Брестский государственный технический университет; рук. темы В.И. Драган. – Брест, 2008. – 154 с. – № 08/72.

02.02.10

#### DRAGAN V.I., MIGEL A.V. Research of the is intense-deformed condition of a metal structural design of system "BSTU" methods of the theory of fluctuations

In clause are considered dependence of axial effort on own frequency of fluctuation of a core, the technique of definition of own frequency of fluctuation of a core of structural design BSTU is stated, is analysed laboratory researches of fragments of a design with use of the offered technique. The physical effect connected with sharp change of own frequency of fluctuation of an element of a design, owing to change of a condition of a core is revealed. As a result of clause: it is offered to use obtained data for an estimation of operational suitability and reliability of designs.

624.014:621.792

· · ·

**Введение.** В ограждениях зданий и сооружений из металлических трехслойных панелей с утеплителем необходимо обеспечить надежную фиксацию панелей в проектном положении. Как правило, для этого применяются самосверлящие (самонарезающие) винты, которыми панели крепятся к несущим стальным конструкциям (колоннам, прогонам, ветровым ригелям).

Сверло-наконечник винта выполняется из закаленной стали, основная рабочая часть – из нержавеющей или оцинкованной стали. Винты используются с шайбами с герметизирующими прокладками.

При проектировании ограждений необходимое для крепления панелей к опорам количество винтов определяется расчетом с учетом действующих нагрузок и несущей способности винтов.

Эта работа посвящена экспериментальному определению несущей способности винтов в узлах крепления трехслойных металлических панелей к стальным конструкциям.

**Экспериментальные исследования.** Было проведено две серии испытаний, при которых моделировалась работа винтов в соединениях на сдвиг и растяжение. Первый случай, в реальных условиях, наблюдается при действии на винты постоянной нагрузки от веса панелей в стеновом ограждении; второй – при отрицательном ветровом воздействии на ограждения или при температурном воздействии с нагревом наружных обшивок многопролетных панелей. При испытаниях использовались панели покрытия и стеновые с мелкопрофильными стальными обшивками толщиной 0,5 мм трех различных производителей.

Для определения несущей способности винтов крепления на сдвиг испытания проводились по приведенной на рис. 1 схеме.

При испытаниях образцы панелей крепились в вертикальном положении к моделирующим несущие конструкции стальным гнутосварным профилям квадратного сечения  $120 \times 120 \times 5$  тремя

*Драган Вячеслав Игнатьевич, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.*

*Левчук Александра Александровна, аспирантка кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.*

*Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*