

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.

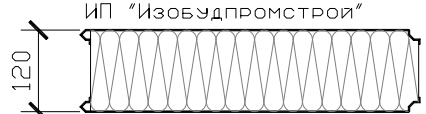
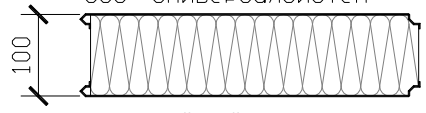



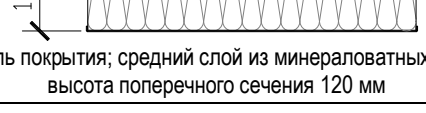
При испытаниях образцы панелей крепились в вертикальном положении к моделирующим несущие конструкции стальным гнутосварным профилям квадратного сечения  $120 \times 120 \times 5$  тремя

*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.*

Таблица 1. Результаты испытаний креплений панелей на сдвиг

Описание испытываемых образцов панелей	Усилие на один винт при разрушении крепления $R_{b,v,u,h}$ кН
 <p>ИП "ИзобудПромСтрой" панель стеновая; средний слой из минераловатных плит; высота поперечного сечения 120 мм</p>	1,76
 <p>ООО "УниверсалСистем" панель стеновая; средний слой из минераловатных плит; высота поперечного сечения 100 мм</p>	2,10
 <p>УМП "Компо" панель стеновая; средний слой из пенополистирольных плит; высота поперечного сечения 100 мм</p>	1,81
 <p>ООО "УниверсалСистем" панель покрытия; средний слой из пенополистирольных плит; высота поперечного сечения 120 мм</p>	1,70
 <p>ООО "УниверсалСистем" панель покрытия; средний слой из минераловатных плит; высота поперечного сечения 120 мм</p>	1,77
 <p>УМП "Компо" панель покрытия; средний слой из минераловатных плит; высота поперечного сечения 120 мм</p>	1,63

самосверлящими винтами SDT 5-A19-5.5×137 или SDT 5-A19-5.5×162, в зависимости от толщины панелей. Уплотнительная лента между металлическим профилем и образцом панели не укладывалась.

Загружение образцов производилось металлическими грузами массой 20 кг ступенями по 40 кг (по два груза на ступень). После каждой ступени нагружения двумя индикаторами часовыми ИЧ-10 ( $I_1$  и  $I_2$ ) измерялись деформации (смещения образцов панелей относительно модели опорной конструкции). Характерная диаграмма нагружения узла при испытаниях на сдвиг (зависимость "нагрузка на один винт – деформация") показана на рис. 2.

Испытания велись до разрушения соединения с фиксацией разрушающей нагрузки  $F_u$ . Исчерпание несущей способности крепления образца панели к стальной конструкции наступало при срезе внутренней обшивки в местах ее контакта с крепежными винтами. Повреждение наружной обшивки в момент исчерпания несущей способности крепления не происходит, что объясняется значительной гибкостью винтов. Результаты испытаний сведены в таблицу 1.

Среднее арифметическое по результатам шести испытаний креплений  $R_{b,v,u}=1,80$  кН. Нижнее нормативное значение допустимой нагрузки на крепежный винт  $R_{b,v,k}=1,42$  кН (определено статистически по [1]). Допускаемая расчетная нагрузка на один крепежный винт из условия работы на сдвиг  $R_{b,v,d}=R_{b,v,k}/m=1,42/1,33=1,07$  кН ( $m=1,33$  принято по [2]). Полученный результат хорошо согласуется с зарубежными рекомендациями по креплению панелей винтами ( $R_{b,v,d}=1,0$  кН).

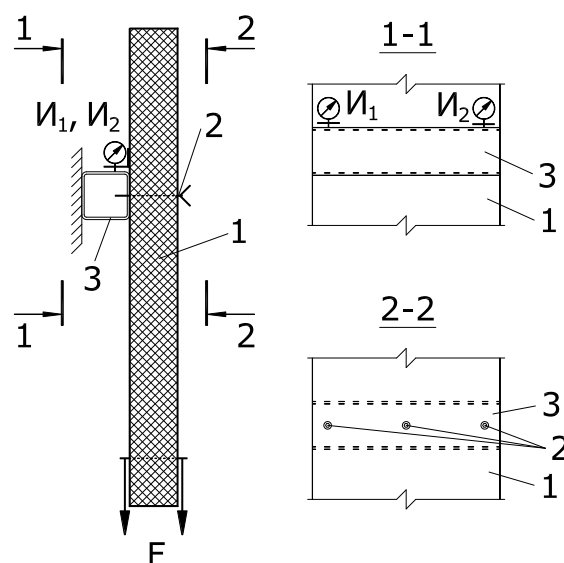


Рис. 1. Схема испытаний винтов крепления на сдвиг: 1 – панель; 2 – крепежные винты; 3 – металлический профиль;  $I_1, I_2$  – индикаторы часовые

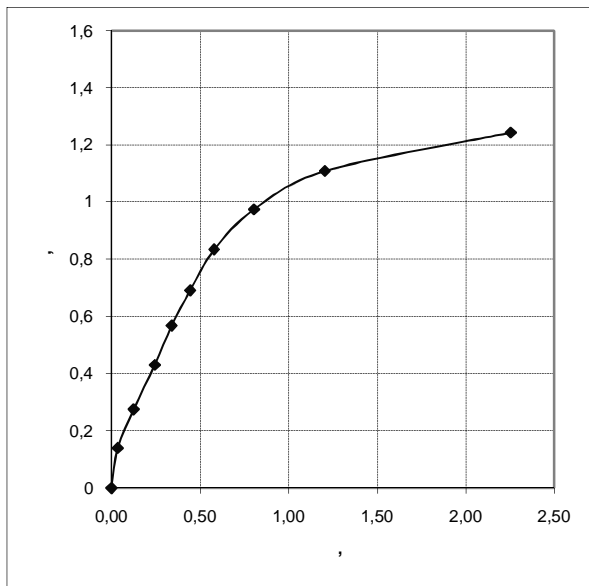


Рис. 2. Диаграмма нагружения винта при испытании на сдвиг

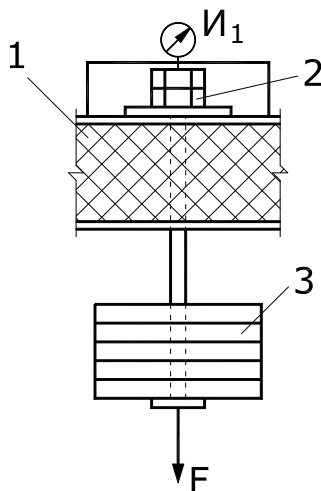


Рис. 3. Схема испытаний крепления на растяжение: 1 – панель; 2 – тяз с гайками и шайбой; 3 – грузы;  $I_1$  – индикатор часовой

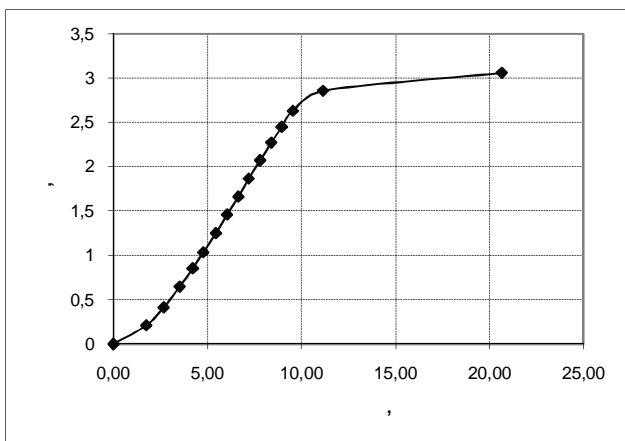


Рис. 4. Диаграмма нагружения узла при испытании на растяжение

Для определения несущей способности крепежных винтов на растяжение (отрыв панели от несущей конструкции) испытания проводились по приведенной на рис. 3 схеме.

Фрагмент панели устанавливался на горизонтальные опоры. Крепежный винт моделировался стальным тязом диаметром 6 мм. В верхней части тязя была нарезана резьба для гайки и контргайки,

под которыми размещались стандартные шайбы диаметром 19 мм от самосверлящих винтов. Величина деформаций верхней обшивки в месте передачи на нее усилия с тязя (локальное обмятие обшивки) измерялась по вертикальным перемещениям оголовка тязя при помощи индикатора часового типа  $I_1$ .

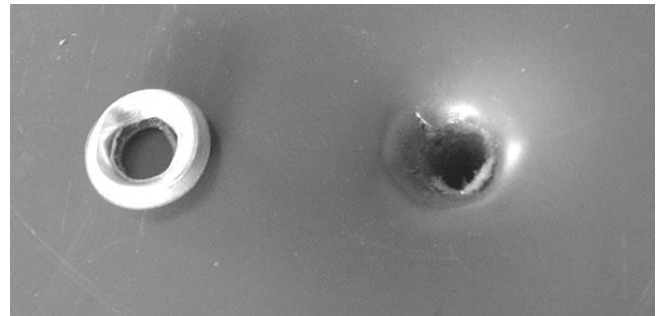


Рис. 5. Локальное разрушение наружной обшивки панели и характер повреждения шайбы

Загружение производилось металлическими грузами массой 20 кг ступенями по 20 кг (по одному грузу на ступень). Характерная диаграмма нагружения узла при испытаниях на растяжение (зависимость «нагрузка на винт – деформация») показана на рис. 4.

Испытания велись до разрушения с фиксацией разрушающей нагрузки  $F_u$ . На каждом образце панели проводилось по пять испытаний. Истощение несущей способности узла наступало при локальном прорыве обшивки под шайбой. Характер разрушения показан на рис. 5. Результаты испытаний сведены в таблицу 2.

Полученные при испытаниях величины разрушающих усилий  $F_u$  меньше приводимых в справочниках значений ( $F_{u, \text{сп}} = 4,1$  кН) и усилий вырыва винтов из стальных элементов толщиной 2 мм ( $F_{z, \text{сп}} = 3,4$  кН).

Нижнее нормативное значение допустимой нагрузки на крепежный винт из условия локального разрушения наружной обшивки под головкой винта  $R_{b, t, k} = 2,78$  кН (определено статистически по [1]). Допускаемая расчетная нагрузка на один крепежный винт из условия работы на растяжение  $R_{b, t, d} = R_{b, t, k} / m = 2,78 / 1,33 = 2,09$  кН.

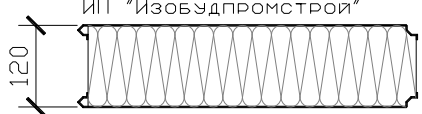

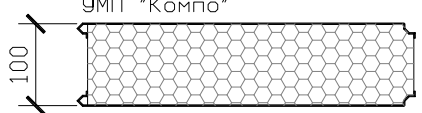

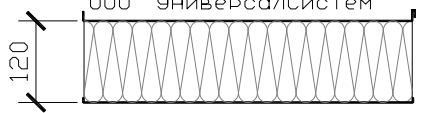
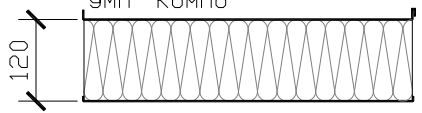
При  $R_{b, t, d} = 2,09$  кН локальные деформации обшивки панели составляют 7–8 мм (см. рис. 8) и носят необратимый характер (см. рис. 9). Внешние воздействия на стеновые и кровельные панели и их крепления к несущим конструкциям являются знакопеременными, поэтому возможно нарушение герметичности стыков даже при однократном нагружении крепежных винтов растягивающим усилием  $R_{b, t, d} = 2,09$  кН. В связи с этим представляется необходимым назначить величину  $R_{b, t, d}$  из условия недопущения разгерметизации стыков. Это требование обеспечивается ограничением величины необратимых (пластических) деформаций обшивок панелей под головками крепежных винтов и отсутствием видимых повреждений шайб.

Были проведены дополнительные испытания по приведенной на рис. 6 схеме. Нагружение образцов панелей велось до четырех фиксированных величин испытательной нагрузки  $F$  (1; 1,2; 1,4; 1,6 кН) с последующим разгрузением и измерением остаточных деформаций обшивок панелей и осмотром шайб. Полученные при испытаниях результаты сведены в таблицу 3.

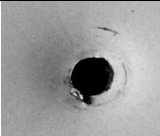

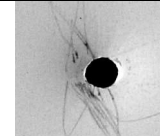
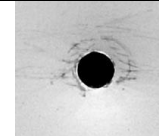
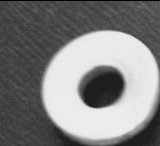
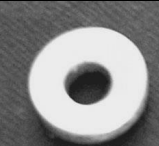
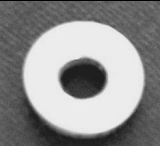
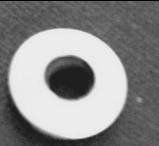
#### Заключение

1. Допускаемая расчетная нагрузка на один самосверлящий винт  $\varnothing 5,5$  мм в креплениях панелей к несущим конструкциям из условия работы на сдвиг  $R_{b, v, d} = 1,07$  кН.
2. Допускаемая расчетная нагрузка на самосверлящие винты в креплениях панелей к несущим конструкциям из условия работы на растяжение (отрыв панелей от несущих конструкций) назначается по конструктивным соображениям –  $R_{b, t, d} = 1,0$  кН при диаметрах шайб 16 и 19 мм;  $R_{b, t, d} = 1,1$  кН при диаметре шайб 29 мм. При таких нагрузках не повреждаются шайбы, а остаточные деформации наружных обшивок значительно меньше толщины герметизирующих прокладок.

**Таблица 2.** Результаты испытаний креплений панелей на отрыв (растяжение крепежных винтов)

Образец	Разрушающая нагрузка для испытаний в серии $F_{u,i}$ , кН					Среднее значение $F_u$ по серии, кН
	1	2	3	4	5	
 ИП "Изобудпромстрой" панель стеновая; средний слой из минераловатных плит; высота поперечного сечения 120 мм	2,85	3,46	2,85	2,85	2,85	<b>2,97</b>
 ООО "УниверсалСистем" панель стеновая; средний слой из минераловатных плит; высота поперечного сечения 100 мм	2,63	3,26	3,06	3,26	3,26	<b>3,09</b>
 УМП "Компо" панель стеновая; средний слой из пенополистирольных плит; высота поперечного сечения 100 мм	3,06	2,85	2,85	2,63	3,06	<b>2,89</b>
 ООО "УниверсалСистем" панель покрытия; средний слой из пенополистирольных плит; высота поперечного сечения 120 мм	3,26	3,06	2,15	2,63	3,26	<b>2,87</b>
 ООО "УниверсалСистем" панель покрытия; средний слой из минераловатных плит; высота поперечного сечения 120 мм	3,06	3,26	2,63	2,85	3,26	<b>3,01</b>
 УМП "Компо" панель покрытия; средний слой из минераловатных плит; высота поперечного сечения 120 мм	3,06	2,85	3,46	2,85	2,85	<b>3,01</b>

**Таблица 3.** Результаты дополнительных испытаний креплений панелей на отрыв (растяжение крепежных винтов)

№ образца	1	2	3	4
Испытательная нагрузка $F$ , кН	1,6	1,4	1,2	1,0
Остаточная деформация обшивки, мм	3,0	2,9	1,9	1,4
Состояние обшивки				
Состояние шайб				

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Надежность строительных конструкций. Общие принципы: СТБ ISO 2394-2007.

2. EN 14509. SELF-SUPPORTING DOUBLE SKIN METAL FACED INSULATING PANELS – FACTORY MADE PRODUCTS - SPECIFICATIONS / CEN. – BRUSSELS: 2006. – 145 P.

28.01.10

**DRAGAN V.I., LEVCHUK A.A. Fastening of double skinned metal faced panels and steel constructions with screws**  
 Experimental researches of screws' bearing capacity in attachment points were made. Researches' results are included.