

**Исследование напряженно-деформированного состояния трехмерной стержневой конструкции остановочных комплексов**

Картавский Владислав Васильевич,

Гродников Дмитрий Вячеславович

Студент 1 курса,

Петрозаводский филиал

Санкт-Петербургский государственный университет

путей сообщения Императора Александра I

Петрозаводск, Россия

**Аннотация.** Статья посвящена актуальной проблеме возникновения избыточно больших деформаций элементов трехмерной стержневой конструкции остановочных комплексов в ходе их эксплуатации. В статье описывается экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния конструкции ряда реальных остановочных комплексов.

**Ключевые слова:** остановочный комплекс; напряженно-деформированное состояние; снеговая нагрузка; деформация.

**Investigation of the stress-strain state of the three-dimensional rod structure of bus stops**

Kartavskij Vladislav Vasilevich,

Grodnikov Dmitrii Viacheslavovich

Student, 1 course,

Petrozavodsk branch

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Petrozavodsk, Russia

Tel: (814-2) 78-41-96

E-mail: [555vek@bk.ru](mailto:555vek@bk.ru)

**Abstract.** The article is devoted to the actual problem of excessively large deformations of the three-dimensional rod structure elements of the bus stops during their operation. The article describes the experimental investigation of the stress-strain state of construction of several real bus stops.

**Keywords:** Bus Stop; Stress-Strain State; Snow Load; Deformation.

**Введение**

Остановочные комплексы – это сооружения некапитального типа, представляющие собой трехмерные стержневые конструкции, устанавливаемые на остановках общественного транспорта, с целью защиты пассажиров от атмосферных осадков и ветра. Соответственно, конструкции остановочных комплексов должны удовлетворять условиям надежности, экономичности и долговечности [1, 2]. Обеспечение данных условий невозможно без проведения прочностных расчетов на стадии проектирования конструкций остановочных комплексов с использованием современных машинных технологий реализации прочностных расчетов методом конечных элементов [3, 4].

В ходе эксплуатации остановочных комплексов нередко наблюдаются избыточно большие деформации элементов их конструкций, а также частичное или полное разрушение, ведущие к возникновению аварийного состояния остановочных комплексов, что является существенной проблемой, требующей решения.

Можно предположить, что одной из значимых причин этого является несоответствие прочностных характеристик конструкций остановочных комплексов требованиям прочности и жесткости. Эти нарушения являются следствием ошибок при проведении прочностных расчетов на этапе проектирования конструкций остановочных комплексов или даже отсутствием прочностных расчетов в принципе. В связи с чем целью настоящей работы является проверка выдвинутого предположения. Реализация поставленной цели осуществлена посредством экспериментального исследования ряда реальных остановочных комплексов, в ходе которого выполнены измерения вертикальных прогибов горизонтальных стержней. Величина вертикального прогиба характеризует прочность и жесткость конструкции. В соответствии со сводом правил «СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*» величина предельного вертикального прогиба должна быть не более  $1/200$  длины горизонтального стержня.

### Материалы и методы

Экспериментальное исследование проводилось в феврале 2017 года в городе Петрозаводске (Республика Карелия, Россия). В качестве объекта исследования выбрана конструкция остановочного комплекса, наиболее часто подверженная избыточно большим деформациям ее элементов и разрушению при снеговой нагрузке (рисунок 1). Данная конструкция представляет собой трехмерную стержневую систему, в которой основными несущими элементами являются четыре стойки 1, на которые опираются два горизонтальных стержня 2, на которые, в свою очередь, опираются четыре арки 3. Все стержни выполнены из стальных труб прямоугольного поперечного сечения: стойки  $50*50*2$  мм, горизонтальные стержни и арки  $40*20*1,5$  мм. Длина каждого горизонтального стержня 2 равнялась 4540 мм.



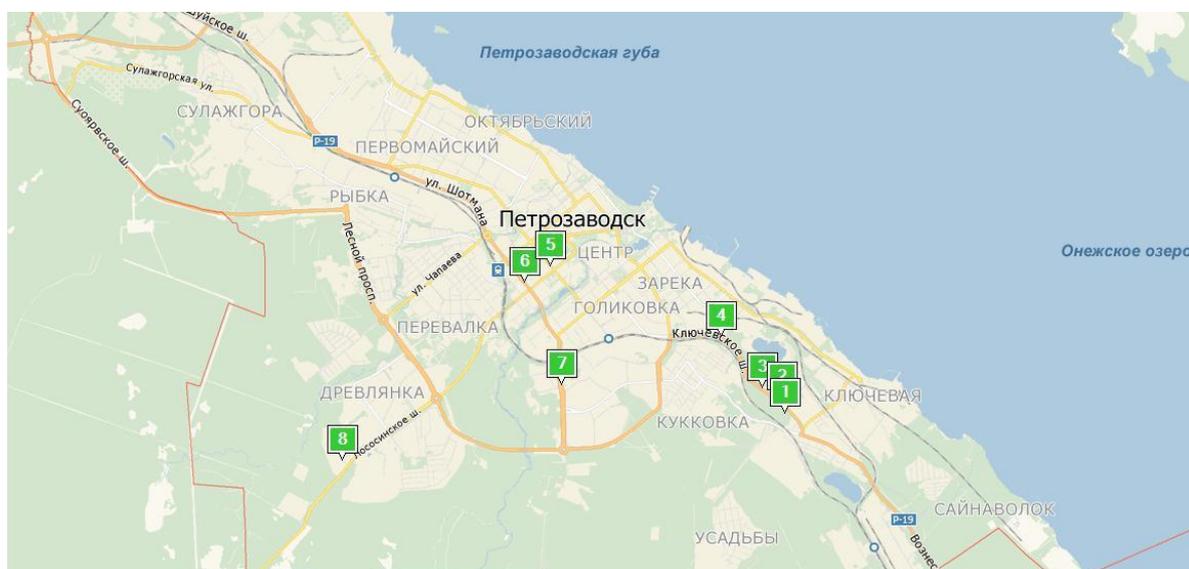
Рисунок 1. Исследуемая конструкция остановочного комплекса (ул. Щербакова).

Измерения величины вертикальных прогибов горизонтальных стержней 2 выполнены на восьми остановочных комплексах данной конструкции, расположенных в разных районах города Петрозаводска (рисунок 2 и рисунок 3). Среднее значение величины снежного покрова составляла 0,310 м, плотность снега – 350 кг/м<sup>3</sup>. Соответственно, вес снегового покрова на 1 м<sup>2</sup> составлял 1085 Н/м<sup>2</sup>.

Необходимо отметить, что при проведении прочностных расчетов на этапе проектирования стержневых конструкций вес снегового покрова на 1 м<sup>2</sup> в соответствии со сводом правил «СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*» принимается в зависимости от снегового района. Так, город Петрозаводск относится к V снеговому району и вес снегового покрова на 1 м<sup>2</sup> соответствует 3200 Н/м<sup>2</sup>.



**Рисунок 2.** Остановочные комплексы на ул. Репникова (слева) и ул. Антонова (справа).



**Рисунок 3.** Схема расположения исследуемых остановочных комплексов:  
1 - ул. Репникова, 2 - ул. Антонова, 3 - ул. Сегежская, 4 - ул. Щербакова, 5 - ул. Гоголя, 6 - ул. Красноармейская, 7 - пр. Комсомольский, 8 - ул. Чистая.

В ходе экспериментального исследования осуществлялась пятикратная повторность измерений.

## Результаты

По результатам исследований была получена выборка данных величины вертикальных прогибов горизонтальных стержней 2. Для полученных данных произведена статистическая обработка общепринятыми методами математической статистики с использованием программного пакета Microsoft Office Excel 2010 [5–8] для 5 %-го уровня значимости. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты измерения вертикальных прогибов горизонтальных стержней.

Показатели	Значения
Среднее значение вертикальных прогибов, мм	165,63
Среднеквадратичное отклонение, мм	11,48
Дисперсия выборки, мм <sup>2</sup>	131,70
Доверительный интервал, мм	30,00
Нижняя граница доверительного интервала, мм	150,00
Верхняя граница доверительного интервала, мм	180,00

## Обсуждение и заключение

Как видно из таблицы 1, среднее значение вертикальных прогибов горизонтальных стержней составило 165,63 мм, а величина предельного вертикального прогиба в соответствии со сводом правил «СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*» – 22,70 мм (4540/200). Соответственно, реальные значения вертикальных прогибов горизонтальных стержней превысили предельные в 7,3 раза. Кроме того, принимая во внимание величину доверительного интервала, необходимо отметить, что даже нижняя граница доверительного интервала реальных значения вертикальных прогибов превышает предельный в 6,6 раза, а верхняя граница в 7,9 раза. При этом, столь значительное превышение реальных значений над предельными наблюдались при снеговой нагрузке (1085 Н/м<sup>2</sup>) почти в три раза меньшей расчетной для города Петрозаводска (3200 Н/м<sup>2</sup>). Все это говорит о значительном несоответствии прочностных характеристик конструкции остановочных комплексов требованиям прочности и жесткости. Для того чтобы повысить прочностные характеристики исследуемой конструкции остановочных комплексов необходимо, в соответствии с законом Гука, увеличить площадь поперечного сечения горизонтальных стержней. Конкретные значения площади поперечного сечения должны быть определены в ходе прочностных расчетов методом конечных элементов (FEM) с использованием современных программных пакетов, например, таких как «КОМПАС-3D», «SOLIDWORKS» или «ANSYS» [9–10].

## Благодарности

Авторы выражают благодарность кандидату технических наук Т. А. Гаврилову, оказавшему большую помощь ценными консультациями и замечаниями.

### Список литературы:

1. Волошановская Ю. Э., Тихонова О. Н. Расчет стержневых конструкций с учетом пластических деформаций материала: монография. – Москва: Директ-Медиа. – 2014. – 152 с.
2. Левин В. Е., Пустовой Н. В. Механика деформирования криволинейных стержней: монография. – Новосибирск: Издательство НГТУ. – 2008. – 208 с.
3. Гаврилов Т. А. Информационные технологии в междисциплинарных исследованиях возможностей ресурсосбережения // Информационная среда ВУЗа XXI века: материалы VII Международной научно-практической конференции. – 2013. – С. 48-50.
4. Зайцева М. И., Девятникова Л. А., Никонова Ю. В., Колесников Г. Н. Информационные технологии в научно-исследовательской работе студентов технических факультетов // Информационная среда ВУЗа XXI века: материалы VII Международной научно-практической конференции. – 2013. – С. 86-89.
5. Gavrilov T. A., Stankevich T. B., Anpilogova O. A., Kolesnikov G. N., Chernyaev L. A. Debarking waste processing: a systematic review // Resources and Technology. – 2016. – Т. 13. – № 3. – С. 71-77.
6. Зайцева М. И., Колесников Г. Н., Робонен Е. В., Чернобровкина Н. П. Отходы переработки хвои сосны обыкновенной как материал для теплоизоляционных плит // Перспективное развитие науки, техники и технологий: материалы 3-й Международной научно-практической конференции: в 3-х томах. – 2013. – С. 27-30.
7. Гаврилов Т. А., Малинов Г. И., Карпин В. Ю., Кондрашов В. Ф. Исследование температурного режима в режущем механизме измельчителей мясного корма // Техника в сельском хозяйстве. – 2014. – № 1. – С. 29-31.
8. Гаврилов Т. А. Ресурсосберегающие технологии переработки отходов в виде биомассы древесины // Ресурсосберегающие технологии, материалы и конструкции. – 2014. – С. 20-24.
9. Малинов Г. И., Кондрашов В. Ф., Гаврилов Т. А. Определение углов скольжения лезвия в процессе опорного резания // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2012. – № 8-2 (129). – С. 40-42.
10. Stankevich T. B., Anpilogova O. A., Malinov G. I., Gavrilov T. A. The efficiency rise of the feeds grinding process by optimizing its parameters // Resources and Technology. – 2015. – Т. 12. – № 2. – С. 89-97.

### References:

1. Voloshanovskaya J. E., Tikhonov O. N. Calculation of beam structures with consideration of plastic deformation of material: monograph. – Moscow: Direct Media. – 2014. – 152 p.
2. Levin V. E., Pustovoy N. V. Mechanics of deformation of curved rods. – Novosibirsk: NGTU Publishing house. – 2008. – 208 p.
3. Gavrilov T. A. Information technology in interdisciplinary researches of resource saving opportunities // The information environment of the university of the XXI century. – 2013. – P. 48-50.
4. Zaitseva M. I., Devyatnikova L. A., Nikonova Yu. V., Kolesnikov G. N. Information technology in researches of engineering students // The information environment of the university of the XXI century. – 2013. – P. 86-89.
5. Gavrilov T. A., Stankevich T. B., Anpilogova O. A., Kolesnikov G. N., Chernyaev L. A. Debarking waste processing: a systematic review // Resources and Technology. – 2016. – V. 13. – № 3. – P. 71-77.

6. Zaitseva M. I., Kolesnikov G. N., Robonen E. V., Chernobrovkina N. P. Waste recycling needles of Scots pine as a material for insulation boards // Perspective development of science, engineering and technology: materials of 3rd International scientific-practical conference in 3 volumes. – 2013. – P. 27-30.
7. Gavrilov T. A., Malinov G. I., Karpin V. Yu., Kondrashov V. F. Study the temperature in the cutting mechanism of the chipper feed meat // Equipment in agriculture. – 2014. – № 1. – P. 29-31.
8. Gavrilov T. A. Waste recycling resource conserving technologies in the form of wood biomass // Resource-saving technologies, materials and designs. – 2014. – P. 20-24.
9. Malinov G. I., Kondrashov V. F., Gavrilov T. A. Determination of blade sliding angle in process of reference cutting // Proceedings of Petrozavodsk state university. – 2012. – № 8-2 (129). – P. 40-42.
10. Stankevich T. B., Anpilogova O. A., Malinov G. I., Gavrilov T. A. The efficiency rise of the feeds grinding process by optimizing its parameters // Resources and Technology. – 2015. – V. 12. – № 2. – P. 89-97.

© 2017 Картавский В. В., Гродников Д. В.