

**Савенков Андрей Иванович,**

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: savenkov\_andrey@mail.ru

**Бессонова Алена Олеговна,**

учебный мастер, ассистент, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: ploskonosova96@mail.ru

**Прокопьев Виктор Андреевич,**

магистрант, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: v.prokopev@bk.ru

## **ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТОЙ СТОЙКИ ЗАМКНУТОГО СЕЧЕНИЯ В СРЕДЕ ПЕНОБЕТОНА**

Savenkov A.I., Bessonova A.O., Prokopiev V.A.

## **ASSESSMENT OF THE LOAD-BEARING CAPACITY OF AN OFF-CENTER COMPRESSED CLOSED-SECTION RACK IN A FOAM CONCRETE ENVIRONMENT**

**Аннотация.** Предлагается техническое решение стоек каркаса при возведении монолитно-каркасных сооружений с применением пенобетона. Принцип возведения монолитно-каркасных сооружений с применением пенобетона заключается в формировании металлической конструкции, замоноличенных пенобетоном, который связывает все элементы каркаса в единый прочный остов здания.

**Ключевые слова:** пенобетон, облегченные конструкции, каркас зданий.

**Abstract.** A technical solution for frame racks is proposed for the construction of monolithic frame structures using foam concrete. The principle of the construction of monolithic frame structures using foam concrete consists in the formation of a metal structure, reinforced with foam concrete, which binds all the elements of the frame into a single solid skeleton of the building.

**Keywords:** foam concrete, lightweight structures, the frame of buildings.

При строительстве в сейсмически активных районах одним из необходимых требований к возводимым объектам является снижение собственного веса конструкций и вместе с тем, стоимости строительного производства. Такая задача может быть решена только с применением современных передовых технических решений. В данной работе исследуется технология, которая включает в себя методику каркасно-щитового строительства с использованием наружной и внутренней несъемной щитовой опалубки в сочетании с облегченными металлоконструкциями совместно с технологией получения на стройплощадке теплоизоляционного, звукоизоляционного монолитного неавтоклавного пенобетона, который используется для заполнения каркаса. Принцип возведения монолитно-каркасных сооружений с применением пенобетона заключается в формировании металлической конструкции, замоноличенных пенобетоном, который связывает все элементы каркаса в единый прочный остов здания [1].

Предлагается техническое решение стоек каркаса трубчатого сечения, поскольку сжатые элементы замкнутого сечения работают оптимально (рис. 1).

Известно, что стойки каркаса реальных зданий, как правило, работают внецентренно, поэтому испытываемая стойка нагружалась с эксцентриситетом (рис. 2).

Для определения влияния пенобетона на устойчивость данного элемента стойка замоноличивалась в обойму на всю длину и размерами сечения 210x210 мм.

Нагружение производилось ступенчато с шагом 10кН с замером деформаций в продольном и поперечном направлениях.

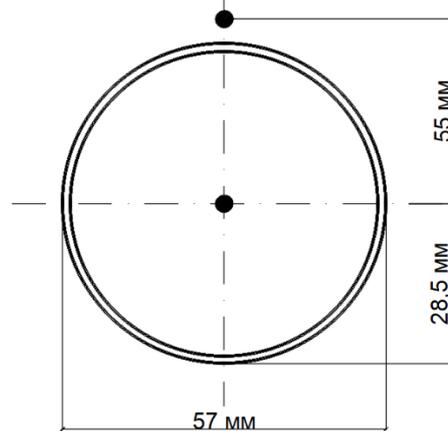


Рисунок 1 - Сечение испытываемой стойки С5 с указанным эксцентриситетом.

Нагруженная стойка закреплена шарнирно в обеих опорах и загружается центрально (рис. 2). Коэффициент расчетной длины принимается за единицу [2].

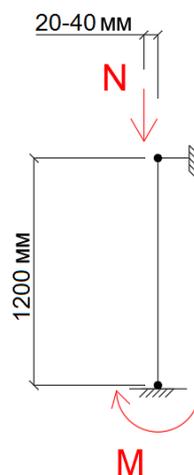


Рисунок 2 - Расчетная схема испытания внецентренно нагруженной свободной стойки.

Для численного сравнения несущей способности стойки в свободном и стесненном состоянии в обоих случаях проводится испытание стойки С5 до потери общей устойчивости. Также приводится теоретический расчет для определения несущей способности.

В нормативной литературе отсутствует расчет внецентренно-сжатых элементов при стесненной работе [3]. Поэтому теоретически можно рассчитать только свободную стойку.

Расчет несущей способности производится согласно СП16.13330.2017.

**Стойка С5 - Тр $\circ$ 50х2**

$$R_y = 24,5$$

$$W_x = W_y = 4,59 \text{ см}^3;$$

$$A = 3,46 \text{ см}^2;$$

$$i_x = i_y = 1,95 \text{ см.}$$

$$J_x = J_y = 13,08 \text{ см}^4;$$

Внецентренное сжатие при  $e=2$  см.

п.9.2.2 формула 109  $\frac{N}{\varphi_e A R_y \gamma_c} \leq 1;$

$$m = \frac{eA}{W_c} = \frac{2 \cdot 3,46}{4,59} = 1,5$$

Тип сечения 4, таблица Д.2

$$\eta = (1,35 - 0,05m) - 0,01(5 - m)\lambda = (1,35 - 0,05 \cdot 1,5) - 0,01(5 - 1,5)2,12 = 1,2$$

$$m_{ef} = m \cdot \eta = 1,5 \cdot 1,2 = 1,8$$

По таблице Д.3  $\varphi_e = 0,425$

$$N_2 = \varphi_e A R_y = 0,425 \cdot 3,46 \cdot 24,5 = 36 \text{ кН}$$

При  $e=3$  см.

п.9.2.2 формула 109  $\frac{N}{\varphi_e A R_y \gamma_c} \leq 1;$

$$m = \frac{eA}{W_c} = \frac{3 \cdot 3,46}{4,59} = 2,26$$

Тип сечения 4, таблица Д.2

$$\eta = (1,35 - 0,05m) - 0,01(5 - m)\lambda = (1,35 - 0,05 \cdot 2,26) - 0,01(5 - 2,26)2,12 = 1,18$$

$$m_{ef} = m \cdot \eta = 2,26 \cdot 1,18 = 2,67$$

По таблице Д.3  $\varphi_e = 0,328$

$$N_3 = \varphi_e A R_y = 0,328 \cdot 3,46 \cdot 24,5 = 27,8 \text{ кН}$$

При  $e=4$  см.

п.9.2.2 формула 109  $\frac{N}{\varphi_e A R_y \gamma_c} \leq 1;$

$$m = \frac{eA}{W_c} = \frac{4 \cdot 3,46}{4,59} = 3$$

Тип сечения 4, таблица Д.2

$$\eta = (1,35 - 0,05m) - 0,01(5 - m)\lambda = (1,35 - 0,05 \cdot 3) - 0,01(5 - 3)2,12 = 1,16$$

$$m_{ef} = m \cdot \eta = 3 \cdot 1,16 = 3,48$$

По таблице Д.3  $\varphi_e = 0,281$

$$N_4 = \varphi_e A R_y = 0,281 \cdot 3,46 \cdot 24,5 = 23,8 \text{ кН}$$

При  $e=5,5$  см.

п.9.2.2 формула 109  $\frac{N}{\varphi_e A R_y \gamma_c} \leq 1;$

$$m = \frac{eA}{W_c} = \frac{5,5 \cdot 3,46}{4,59} = 4,15$$

Тип сечения 4, таблица Д.2

$$\eta = (1,35 - 0,05m) - 0,01(5 - m)\lambda = (1,35 - 0,05 \cdot 4,15) - 0,01(5 - 4,15)2,12 = 1,12$$

$$m_{ef} = m \cdot \eta = 4,15 \cdot 1,12 = 4,65$$

По таблице Д.3  $\varphi_e = 0,231$

$$N_{5,5} = \varphi_e A R_y = 0,231 \cdot 3,46 \cdot 24,5 = 19,6 \text{ кН}$$

По рассчитанным значениям строится график теоретической несущей способности стойки от эксцентриситета (рис. 3).

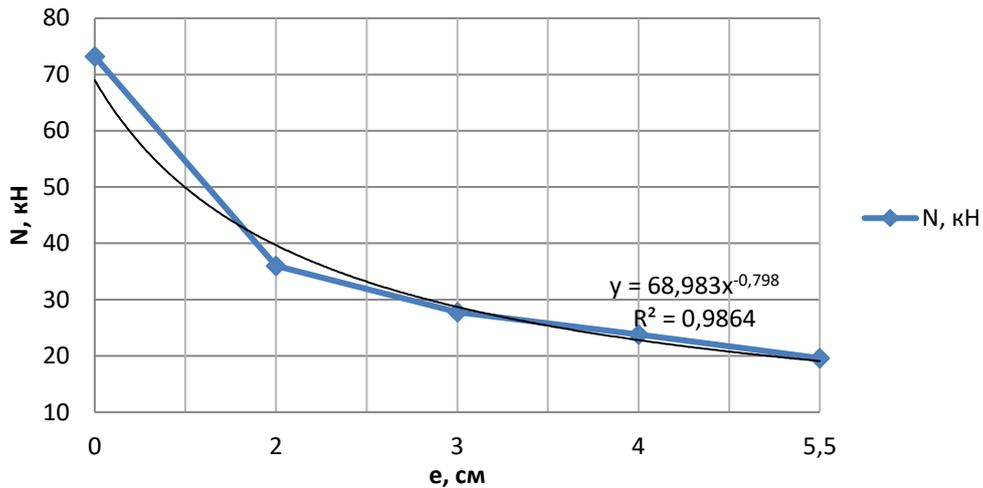


Рисунок 3 – Несущая способность стойки С5 в зависимости от эксцентриситета e.

По данным, полученным при испытании свободной и стесненной внецентренно нагруженной стойки с эксцентриситетом e=5,5см., построены графики перемещений точек (рис. 4).

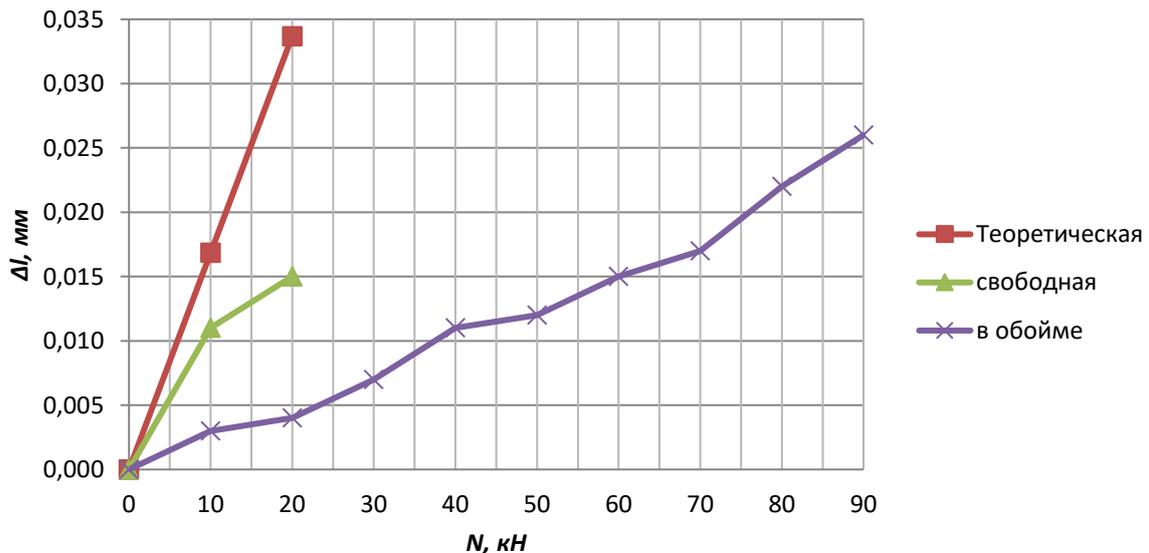


Рисунок 4 - Продольные перемещения точек на крайнем волокне стоек.

На графике (рис. 5) показано, что потеря устойчивости стойки в обойме была при 40кН, а свободной стойки при 20кН, что соответствует расчетному значению.

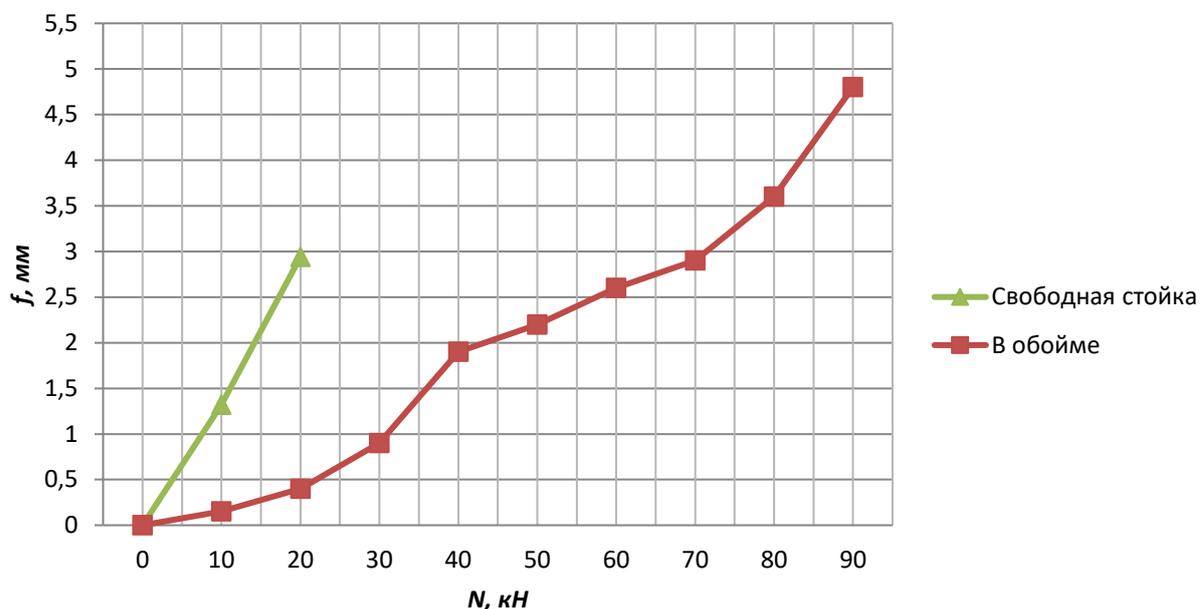


Рисунок 5 – Поперечный изгиб внецентренно нагруженных стоек.

Испытанием стоек выявлено, что в стесненном состоянии несущая способность внецентренно-сжатой стойки повысилась вдвое по сравнению с расчетным и фактическим значением.

Возможно, расчет следует производить по формуле  $\frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} \leq R_y \gamma_c$  как для элемента малой гибкости. И это является задачей дальнейших исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Савенков А.И., Бессонова А.О., Шустов П.А. Сравнение несущей способности и выгиба центрально сжатых стоек в пенобетонной обойме. // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 4 (47). с. 666-676.
2. Савенков А.И., Заенец Е.О., Кетнер А.В. Деформации внецентренно-сжатой стойки в пенобетонной обойме. // Сборник научных трудов АнГТУ. 2021. Т. 1. №18. с. 130-133.
3. Морозов Н.Ф., Товстик П.Е. Устойчивость сжатого стержня при наличии ограничения на перемещение. // Доклады Академии наук. 2007. Т. 412. №2. с. 196-200.