

**ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
РАБОТЫ ПОПЕРЕЧНИКА СВЯЗЕВОГО КАРКАСА  
МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ ПОВОРОТА  
ФУНДАМЕНТОВ ПО ДЕФОРМИРУЕМОЙ СХЕМЕ**

**Конюхов А.В., соискатель**

*Харьковский национальный университет  
строительства и архитектуры, Украина*

В 70-х годах прошлого столетия бывшими и нынешними институтами: ЦНИИпромзданий, ПИ №1, НИИЖБом и Белорусским политехническим институтом прорабатывалась возможность применения связевой схемы для каркаса одноэтажного промздания [1]. По сравнению с рамной схемой экономия материалов составляет 10-20%, трудозатрат 5-15%, сметной стоимости до 25%. Одной из перспективных разработок в этой области остается схема расположения связевого каркаса в виде «креста жесткости» [1], при котором колонны усиленного сечения (жесткие опоры) работают в двух взаимоперпендикулярных осях здания. Каждая продольная и поперечная рама представлена набором рядовых колонн и включает одну усиленную колонну, которая, благодаря повышенной жесткости, воспринимает основную часть горизонтальных нагрузок, но вследствие своего положения не подвержена влиянию температурных деформаций (см. рис. 1). Данное решение связевого каркаса приобретает особую актуальность при реконструкции промпредприятий, когда при повышении горизонтальных нагрузок необходимо усиление только одной опоры и ее фундамента.

Одним из основных критериев оценки эффективности конструктивного решения является соотношение эквивалентных изгибных жесткостей опоры и рядовой колонны:  $\lambda = \frac{B_2^*}{B_1}$ . Как показано в работах [1, 2]

для каркасов одноэтажных промзданий этот параметр может меняться в зависимости от объективных факторов в широких пределах – от 10 до 100.

В работе [3] нами получено аналитическое решение для перемещения верха колонн поперечника связевого каркаса одноэтажного промздания с учетом податливости фундаментов при воздействии горизонтальных  $W$  и вертикальных усилий  $N$  (см. рис. 1), а в статье [2] результаты проведенных теоретических исследования показали, что

самым рациональным решением каркаса является то, при котором вся горизонтальная сила  $W$  передается на жесткую опору.

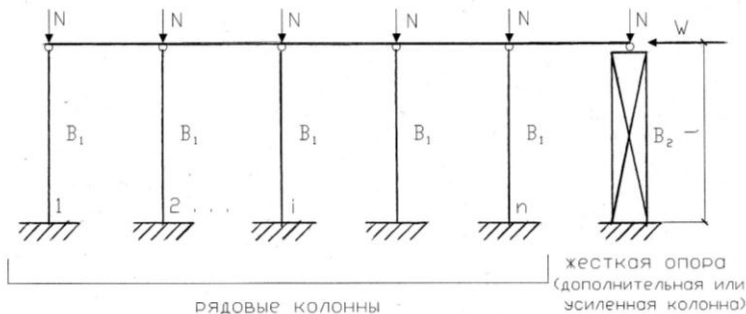


Рис. 1. Расчетная схема поперечника связевого каркаса

Для анализа полученного теоретического решения выполнено моделирование расчетной схемы, показанной на рис. 1, а исходные данные приняты следующие:

$l=6\text{м}$ ;  $n=5$  шт. рядовых колонн;  $N=100\text{тс}$ ;  $W=10\text{тс}$ ,

**параметры рядовых колонн и их фундаментов:**

ширина поперечного сечения колонны  $b_1=0,3\text{м}$ ;

высота поперечного сечения колонны  $h_1=0,45\text{м}$ ;

модуль упругости материала колонны  $E_1=30 \cdot 10^6 \text{тс/м}^2$ ;

глубина заложения фундамента  $d_1=2,0\text{м}$ ;

длина подошвы фундамента  $B_f=2,4\text{м}$ ;

ширина подошвы фундамента  $L_f=1,6\text{м}$ ;

изгибная жесткость рядовой колонны

$$B_1^* = I_1 E_1 = \frac{b_1^3 \cdot h_1}{12} E_1 = 6834 \text{тс} \cdot \text{м}^2,$$

**параметры жесткой опоры и ее фундамента:**

ширина поперечного сечения колонны  $b_2=0,3\text{м}$ ;

высота поперечного сечения колонны  $h_2=1,0(2,1)\text{м}$ ;

модуль упругости материала колонны  $E_2=30 \cdot 10^6 \text{тс/м}^2$ ;

глубина заложения фундамента  $d_2=2,0\text{м}$ ;

изгибная жесткость жесткой опоры

$$B_2^* = I_2 E_2 = \frac{b_2^3 \cdot h_2}{12} E_2 = 75000(694575) \text{тс} \cdot \text{м}^2;$$

для жесткой опоры используется оптимальный фундамент с центральным вырезом по подошве [4], который эффективно воспринимает

значительные моментные усилия от горизонтально нагруженной жесткой опоры и представлен на рис. 2:

размеры фундамента с вырезом:  $B_2=4,2\text{м}$ ;  $a=B_1=2,4\text{м}$ ;  $L_2=2,1\text{м}$ ;

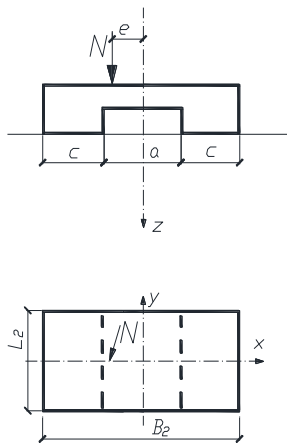


Рис. 2. Внецентренно нагруженный фундамент жесткой опоры с вырезом по подошве

**Параметры грунтового основания фундаментов:**

усредненный объемный вес грунта над подошвой фундаментов  $\gamma=1,6\text{тс/м}^3$ ;

характеристики песчаного грунта под подошвой фундаментов:  $\gamma=1,8\text{тс/м}^3$ ;  $\varphi=30^\circ$ ; сцепление  $c=0\text{тс/м}^2$ ,

а для определения расчетного сопротивления приняты нормативные коэффициенты:  $\gamma_{c1}=1,3$ ;  $\gamma_{c2}=1,1$ ;  $k=1$ ;

коэффициент постели основания  $C_0=5000\text{тс/м}^3$ .

С помощью современных программных комплексов ANSYS и SCAD методом конечных элементов выполнены численные исследования работы поперечника связевого каркаса при учете геометрической нелинейности системы, т.е. по деформированной схеме, а также выполнены расчеты по нашему аналитическому решению [3] для данного случая. Причем, как видно из исходных данных, меняется только величина высота поперечного сечения колонны  $h_2=1,0(2,1)\text{м}$ , что позволяет рассмотреть два варианта соотношений изгибных жесткостей стоек:  $\lambda=11$  и  $\lambda=102$ .

По результатам расчетов выявлено распределение горизонтальных усилий в уровне верха стоек, действующих на жесткую опору  $P_2$  и рядовые колонны  $P_1$  и соответственно моментные усилия по подошве фундаментов жесткой опоры  $M_2$  и рядовых колонн  $M_1$ . Также определены равные перемещения верха всех стоек поперечника  $f_2=f_1$  и крен

фундамента с вырезом по подошве жесткой опоры  $i_2$ . Следует отметить, что для всех расчетов удовлетворяются проверки по давлениям на грунтовое основание при принятых размерах подошв фундаментов в зависимости от расчетного сопротивления грунта  $R$  [5]:  $p \leq R$ ;  $p_{\max} \leq 1,2R$ ;  $p_{\min} \geq 0$ .

Для наглядности некоторые результаты расчета представлены на рис. 3-6, а основные результаты численных расчетов сведены в табл. 1, при этом следует учесть, что в расчетных схемах ригель и условные фундаменты имеют практически абсолютную жесткость.

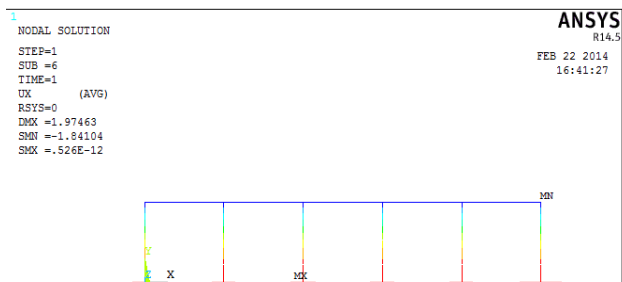


Рис. 3. Изополя горизонтальных перемещений [см] при жестком защемлении стоек по подошве фундамента (результаты расчета по программе ANSYS при  $\lambda=11$ )

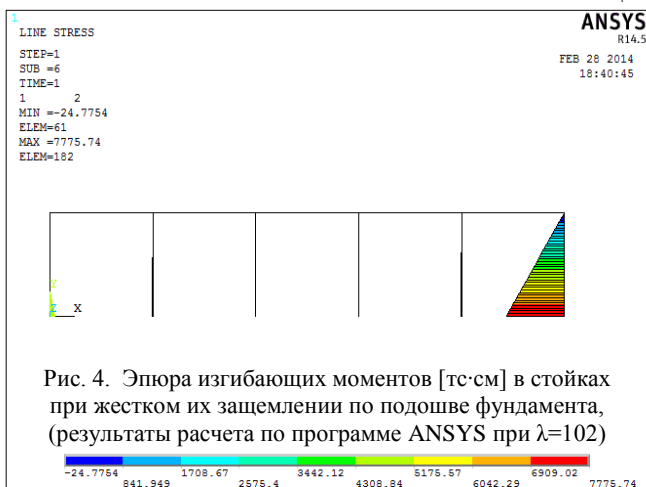


Рис. 4. Эпюра изгибающих моментов [тс·см] в стойках при жестком их защемлении по подошве фундамента, (результаты расчета по программе ANSYS при  $\lambda=102$ )

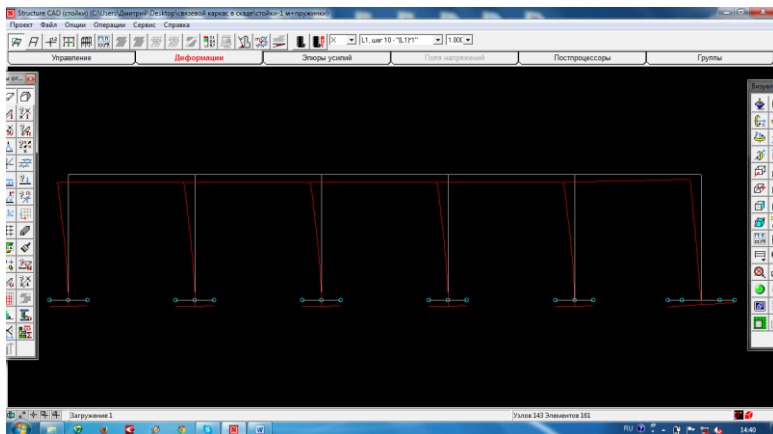


Рис. 5. Деформированная схема поперечника связевого каркаса с учетом поворота фундаментов (результаты расчета по программе SCAD при  $\lambda=11$ )

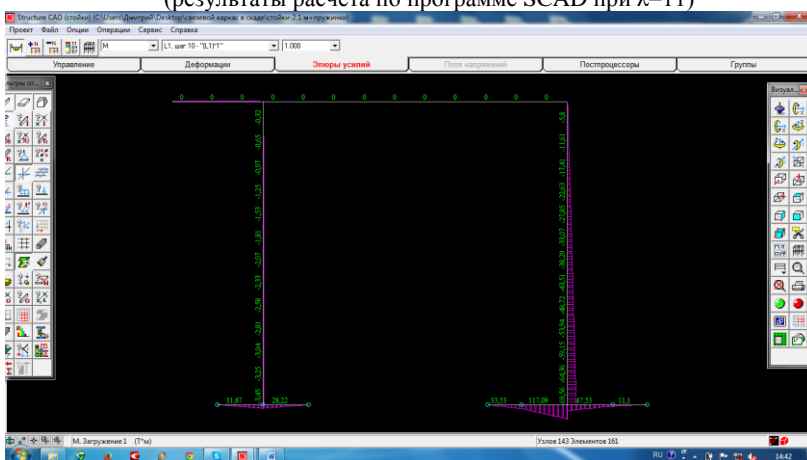


Рис. 6. Эпюры изгибающих моментов [тс·м] в рядовой колонне и жесткой опоре с учетом поворота фундаментов (результаты расчета по программе SCAD при  $\lambda=102$ )

Из табл. 1 видно, что аналитические и численные результаты расчета в случае «упрощенной» жесткой заделки стоек по подошве фундаментов имеют практически равные величины, дающие расхождение не более 5%, и в большинстве случаев расхождение составляет не более 10%. Хотя отмечаем, что численный расчет завышает перемещения верха стоек  $f$ , что не характерно при таких малых величинах до 2,5см.

Таблица 1. Сравнение результатов расчета

|  |  | Соотношение жесткостей стоек $\lambda = B_2^*/B_1^*$ |                        |                          |                          |  |                         |                        |                        |                          |                          |  |                         |
|--|--|--|------------------------|--------------------------|--------------------------|--|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--|-------------------------|
|  |  | 11   |                        |                          |                          |  | 102                     |                        |                        |                          |                          |  |                         |
|  |  | P <sub>2</sub> ,<br>тс                               | P <sub>1</sub> ,<br>тс | M <sub>2</sub> ,<br>тс·м | M <sub>1</sub> ,<br>тс·м | f <sub>2</sub> =f <sub>1</sub> ,<br>см | i <sub>2</sub> ,<br>ед. | P <sub>2</sub> ,<br>тс | P <sub>1</sub> ,<br>тс | M <sub>2</sub> ,<br>тс·м | M <sub>1</sub> ,<br>тс·м | f <sub>2</sub> =f <sub>1</sub> ,<br>см | i <sub>2</sub> ,<br>ед. |
| Без учета поворота фундаментов стоек (зашемление по подошве) |  |  |                        |                          |                          |  |                         |                        |                        |                          |                          |  |                         |
| Аналит. реш.   |  | 7,76   | 0,45                   | 63,94                    | 5,41                     | 1,83                                   | 0                       | 9,71                   | 0,06                   | 77,90                    | 0,71                     | 0,24                                   | 0                       |
| ANSYS  |  | 7,72   | 0,456                  | 63,6                     | 5,47                     | 1,84                                   | 0                       | 9,69                   | 0,062                  | 77,76                    | 0,75                     | 0,25                                   | 0                       |
| Расх-ние, %  |  | 0,5  | 1                      | 0,5                      | 1                        | 0,5                                    | -                       | 0                      | 3                      | 0                        | 5                        | 4                                      | -                       |
| С учетом поворота фундаментов стоек                          |  |  |                        |                          |                          |  |                         |                        |                        |                          |                          |  |                         |
| Аналит. реш.   |  | 6,81   | 0,64                   | 56,03                    | 6,63                     | 1,53                                   | 1,067×10 <sup>-3</sup>  | 7,81                   | 0,44                   | 63,56                    | 4,55                     | 1,05                                   | 1,21×10 <sup>-3</sup>   |
| SCAD   |  | 7,06   | 0,59                   | 58,72                    | 6,97                     | 2,50                                   | 1,059×10 <sup>-3</sup>  | 8,57                   | 0,29                   | 69,56                    | 3,45                     | 1,22                                   | 1,26×10 <sup>-3</sup>   |
| Расх-ние, %  |  | 3,5  | 8                      | 4,5                      | 5                        | 39                                     | 1                       | 9                      | 52                     | 9                        | 32                       | 14                                     | 4                       |

Также на данном примере показано, что повышение соотношения жесткостей стоек и учет поворота фундаментов, являющегося следствием податливости основания, не позволяет в реальных условиях полностью сконцентрировать горизонтальное усилие  $P_2$  на жесткой опоре, как в случае расчетной схемы без учета поворота фундаментов.

### **Выводы**

1. На конкретном примере с помощью программных комплексов ANSYS и SCAD проведены численные исследования методом конечных элементов по деформированной схеме работы поперечника связевого каркаса.

2. Численные и аналитические исследования показывают удовлетворительное совпадение результатов расчета и указывают на то, что расчет поперечника связевого каркаса должен вестись только по деформируемой схеме с учетом податливости основания фундаментов для оценки реальной концентрации горизонтального усилия на жесткой опоре.

### **Summary**

**The paper presents numerical research results using finite element method of the width braced frame floor industrial buildings and a comparison with the analytical solution.**

### **Литература**

1. Гершанок Р.А. и др. Каркасы с элементами жесткости для одноэтажных промзданий. «Бетон и железобетон», 1989, №5.
2. Лучковский И.Я., Самородов А.В., Конюхов А.В. Эффективность концентрации материала в жестких опорах промзданий// Науковий вісник будівництва. – Вип. 63. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2011. – С. 160-165.
3. Лучковский И.Я., Самородов А.В., Конюхов А.В. Перемещение верха колон каркаса одноэтажного промздания с учетом податливости фундаментов при воздействии горизонтальных усилий// Збірник наукових праць НУВГП. – Рівне: 2012. – Вип. 23. – С. 697-706.
4. Самородов А.В., Лучковский И.Я., Конюхов А.В. Фундаменты с асимметричными вырезами по подошве при действии превалирующих односторонних моментных нагрузок // Науковий вісник будівництва. – Вип. 61. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2010. – С. 140-145.
5. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. - Київ: Мінрегіон-буд України, 2009. – 104 с.