

УДК 69.07

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСЧЕТНОЙ ДЛИНЫ СТАЛЬНЫХ КОЛОНН В ПК ЛИРА САПР 2016R5

К.В. Парасюк¹, С.Ф. Дьяков²

¹Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка (Российская Федерация)

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)

Аннотация. В данной статье производится исследование возможности и корректности вычисления коэффициентов расчетной длины (привидения длины) в программе-сателлите Scad Office «Кристалл» и в ПК Лира САПР 2016R5, сопоставление их со значениями, вычисленными согласно указаниям СП 16.13330.2017, в связи с особенной важностью верного учета расчетных длин стальных конструкций при расчете на устойчивость. Для оценки коэффициентов расчетной длины в ПК Лира САПР 2016R5 производится сбор нагрузок на поперечную трехэтажную трехпролетную раму, производится расчет на устойчивость и создание условий «неустойчивости» стержней, путем исключения элементов из расчета. В статье рассмотрено вычисление коэффициентов расчетной длины для трехэтажной трехпролетной рамы, для средних и крайних колонн нижнего, среднего и верхнего этажей. Определено соответствие расчетов в программе «Кристалл» требованиям действующих норм, и указаны недостатки и сложности в расчете коэффициентов при помощи ПК Лира САПР 2016R5. Определены величины отклонений значений расчетных длин, полученных в программных комплексах от значений, вычисленных вручную.

Ключевые слова: устойчивость, расчетная длина, формы потери устойчивости, стальной каркас, колонна, программный комплекс, чувствительность.

Ссылка для цитирования: Парасюк К.В., Дьяков С.Ф. Определение коэффициентов расчетной длины стальных колонн в ПК ЛИРА САПР 2016R5 // Инженерные исследования. 2023. №4 (14). С. 21-33. EDN: NEMBQL.

DETERMINATION OF THE COEFFICIENTS OF THE CALCULATED LENGTH OF STEEL COLUMNS IN PC LIRA CAD 2016R5

K.V. Parasyuk¹, S.F. Dyakov²

¹Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeevka (Russian Federation)

²Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. This article investigates the possibility and correctness of calculating the coefficients of the calculated length (ghost length) in the satellite program Scad Office "Crystal" and in the PC Lira CAD 2016R5, comparing them with the values calculated according to the instructions of SP 16.13330.2017, due to the particular importance of the correct accounting of the calculated lengths of steel structures when calculating for stability. To estimate the coefficients of the calculated length in the Lira CAD 2016R5 PC, loads are collected on a transverse three-storey three-span frame, stability calculations are performed and conditions for "instability" of the rods are created by excluding elements from the calculation. The article considers the calculation of the coefficients of the calculated length for a three-story three-span frame, for the middle and extreme columns of the lower, middle and upper floors. The compliance of the calculations in the "Crystal" program with the requirements of the current norms is determined, and the disadvantages and difficulties in calculating the coefficients using the Lira CAD 2016R5 PC are indicated. The values of deviations of the calculated lengths obtained in software complexes from the values calculated manually are determined.

Keywords: stability, estimated length, forms of loss of stability, steel frame, column, software package, sensitivity.

For citation: Parasyuk K.V., Dyakov S.F. Determination of the coefficients of the calculated length of steel columns in PC LIRA CAD 2016R5 // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2023. No.4 (14). Pp. 21-33. EDN: NEMBQL.

ВВЕДЕНИЕ

С начала появления строительных компьютерных программ, инженеры и программисты стараются использовать их максимальный потенциал, с целью ускорения и снижения трудоемкости расчетов строительных конструкций. В настоящее время особой популярностью пользуются программы систем автоматизированного проектирования (САПР) и программы информационного моделирования (BIM). Основной целью которых на данный момент считается обеспечение возможности создания проектной документации и расчета конструкций в рамках одного программного комплекса. В связи с чем, многие проектировщики и исследователи задаются вопросами корректности заложенных алгоритмов и возможности определения некоторых важных и сложных параметров строительных конструкций. К примеру, одним из таких параметров для стальных конструкций являются расчетные длины элементов стальных конструкций, от которых зависит устойчивость, и гибкости конструкций.

Споры о верности и различности методик, в определении расчетных длин ведутся с конца 40-х годов 20го века, с появлением фундаментальных работ Корноухова Н.В. [1] и Лейтеса С.Д. [2].

В своей монографии Перельмутер А.В. [3] описывает широкую распространенность методики, изложенной в СП 16.13330.2017 отсутствием достойной и точной альтернативы.

Многие ученые до сих пор производят исследования в области устойчивости сжатых стержней. В статьях [4-6] авторы производят исследование устойчивости ветви стальной колонны, с уточнением коэффициента расчетной длины. В работе Плотникова Н.А. [7] описана проблема широкого разнообразия конструктивных схем зданий и отсутствие для них конкретных методик для определения расчетных длин стальных колонн, с учетом множества факторов, что ведет в одних случаях к удорожанию конструкций, в иных ситуациях к уменьшению запаса устойчивости.

В статье [8] показано многообразие различных подходов к определению коэффициентов расчетной длины для стальных колонн, произведен анализ характеристик устойчивости.

В работах [9,10] производилось численное исследование и анализ коэффициентов расчетных длин одноступенчатых колонн промзданий.

Люфт Н.А., Никольский А.В. и Себешев В.Г. в работе [11] исследовали корректность поэлементной проверки устойчивости сжатых стержней в расчетах ферм с жесткими узлами, и выявили ситуации, в которых поэлементный расчет по нормам может давать ошибки не в запас устойчивости.

Исследование [12] посвящено экспериментальным испытаниям трубобетонных образцов различных длин и условий опирания на центральное сжатие. Была выполнена оценка расчетной длины при условиях опирания «защемление-шарнир» для частично податливой заделки.

Работа Пешковой Е.В. [13] продолжила тему исследования [10] в области уточнения коэффициента расчетной длины колонн из плоскости рамы для сквозных сечений колонн.

В статье Горохова Е.В. и Мущанова А.В. [14] представлены результаты исследования конструктивных решений узлов структурных конструкций на величину критической силы и формы потери устойчивости центрально-сжатым элементом покрытия.

Работа [15] посвящена обсуждению парадоксов, причине их появления и роли в оценке корректности расчетных моделей. На примерах из строительной механики показано, что появление некоторых парадоксов связано с выбором расчетной модели, которая не полностью учитывает особенности реального объекта.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТЕ, ОБЩИЙ ВИД РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ

В качестве исследования было произведено моделирование плоской трехэтажной трехпролетной поперечной рамы, имеющей жесткое сопряжение колонн с фундаментом, жесткое сопряжение ригелей с колоннами. Общий вид рамы приведен на рис. 1. Пролет был принят одинаковым для каждого ригеля, со значением $l = 6\text{м}$. Высота каждого этажа была принята также одинаковой, со значением $l_c = 3,3\text{м}$. В качестве поперечных сечений для элементов были выбраны:

- для колонн двутавр №30К1 по СТО АСЧМ 20-93 с осевым моментом инерции $I_c = 18850\text{см}^4$ (тип жесткости 1);

- для ригелей двутавр №25Б1 по СТО АСЧМ 20-93 с осевым моментом инерции $I_s = 3537\text{см}^4$ (тип жесткости 2).

Трехпролётная трехэтажная поперечная рама была выбрана с целью охвата и рассмотрения определения коэффициентов расчетной длины для колонн нижнего, среднего и верхнего этажей.

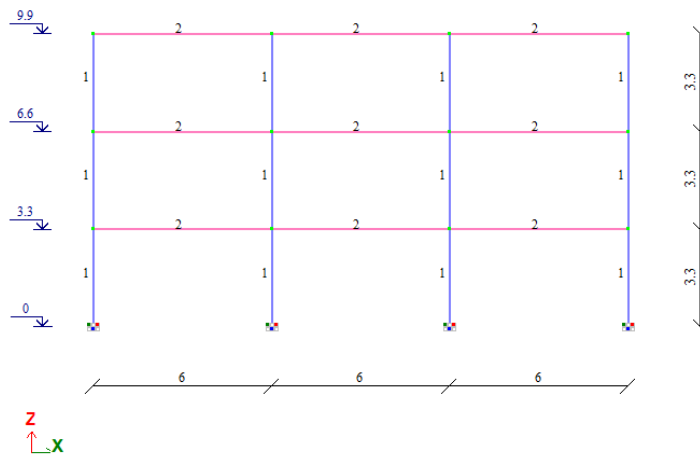


Рис. 1. Общий вид поперечной рамы
Fig. 1. General view of the transverse frame

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСЧЕТНОЙ ДЛИНЫ СОГЛАСНО ТАБЛИЦЕ 31 СП 16.13330.2017

Согласно п.10.3.2 СП 16.13330.2017 рассматриваемая поперечная рама относится к свободной (нераскрепленной), так как не имеет связей с другими конструкциями, препятствующими перемещению узлов колонн в плоскости рамы.

Рассмотрим колонны нижнего этажа:

Согласно таблице 31 СП 16.13330.2017, расчетная формула для определения коэффициента приведения длины зависит от параметров p и n , отражающих степень препятствования повороту нижнего и верхнего узлов колонны, соответственно.

Для колонн нижнего этажа параметры определяют по формулам (1) и (2):

$$p = \frac{2 \cdot k \cdot (p_1 + p_2)}{k + 1} \quad (1)$$

где k – число пролётов ригелей;

p_1, p_2 – параметры, отражающие степень препятствования повороту нижнего узла колонны, для элемента рассматриваемой и соседней ячеек.

$$n = \frac{k \cdot (n_1 + n_2)}{k + 1} \quad (2)$$

где n_1, n_2 - параметры, отражающие степень препятствования повороту верхнего узла колонны, для элемента рассматриваемой и соседней ячеек.

Определим неизвестные параметры:

$$p_1 = p_2 = \frac{I_i \cdot l_c}{I_c \cdot l} = \frac{\infty \cdot 3,3}{18850 \cdot 6} = \infty$$

где I_i - момент инерции сечения ригелей, примыкающих к нижнему концу проверяемой колонны; $l=6\text{м}$ – пролеты ригелей рамы.

$$n_1 = n_2 = \frac{I_s \cdot l_c}{I_c \cdot l} = \frac{3537 \cdot 3,3}{18850 \cdot 6} = 0,103$$

где I_s - момент инерции сечения ригелей, примыкающих к верхнему концу проверяемой колонны;

Определим параметры p и n для колонны нижнего этажа:

$$p = \frac{2 \cdot 3 \cdot (\infty + \infty)}{3 + 1} = \infty$$

$$n = \frac{3 \cdot (0,103 + 0,103)}{3 + 1} = 0,1545$$

Данная колонна нижнего этажа попадает в частный случай, и коэффициент расчетной длины для нее определяется по формуле (3) (т.к. $n=0,1545$ находится в пределах от 0,03 до 0,2):

$$\mu = 1,21 \cdot \sqrt{\frac{n+0,22}{n+0,08}} = 1,21 \cdot \sqrt{\frac{0,1545+0,22}{0,1545+0,08}} = 1,53 \quad (3)$$

Рассмотрим колонны среднего этажа:

Для колонн среднего этажа параметры определяют по формулам (4) и (5):

$$p = \frac{k \cdot (p_1 + p_2)}{k + 1} \quad (4)$$

$$n = \frac{k \cdot (n_1 + n_2)}{k + 1} \quad (5)$$

Определим неизвестные параметры:

$$p_1 = p_2 = \frac{I_i \cdot l_c}{I_c \cdot l} = \frac{3537 \cdot 3,3}{18850 \cdot 6} = 0,103$$

$$n_1 = n_2 = \frac{I_s \cdot l_c}{I_c \cdot l} = \frac{3537 \cdot 3,3}{18850 \cdot 6} = 0,103$$

Определим параметры p и n для колонны среднего этажа:

$$p = \frac{3 \cdot (0,103 + 0,103)}{3 + 1} = 0,1545$$

$$n = \frac{3 \cdot (0,103 + 0,103)}{3 + 1} = 0,1545$$

Для данной колонны коэффициент расчетной длины определяется по формуле (6) (т.к. $n=0,1545 < 0,2$):

$$\mu = \frac{(p+0,68) \cdot \sqrt{n+0,22}}{\sqrt{0,68 \cdot p \cdot (p+0,9) \cdot (n+0,08) + 0,1 \cdot n}} = 2,51 \quad (6)$$

Рассмотрим колонны верхнего этажа:

Для колонн верхнего этажа параметры определяют по формулам (7) и (8):

$$p = \frac{k \cdot (p_1 + p_2)}{k + 1} \quad (7)$$

$$n = \frac{2 \cdot k \cdot (n_1 + n_2)}{k + 1} \quad (8)$$

Определим неизвестные параметры:

$$p_1 = p_2 = \frac{I_i \cdot l_c}{I_c \cdot l} = \frac{3537 \cdot 3,3}{18850 \cdot 6} = 0,103$$

$$n_1 = n_2 = \frac{I_s \cdot l_c}{I_c \cdot l} = \frac{3537 \cdot 3,3}{18850 \cdot 6} = 0,103$$

Определим параметры p и n для колонны среднего этажа:

$$p = \frac{3 \cdot (0,103 + 0,103)}{3 + 1} = 0,1545$$

$$n = \frac{2 \cdot 3 \cdot (0,103 + 0,103)}{3 + 1} = 0,309$$

Для данной колонны коэффициент расчетной длины определяется по формуле (9) (т.к. $n=0,309 > 0,2$):

$$\mu = \frac{(p+0,63) \cdot \sqrt{n+0,28}}{\sqrt{p \cdot n \cdot (p+0,9) + 0,1 \cdot n}} = 2,11 \quad (9)$$

Учтем наличие разнонагруженности колонн, по формуле 146 СП 16.13330.2017, уменьшением коэффициента расчетной длины для средней колонны нижнего этажа:

$$\mu_{ef} = \mu \cdot \sqrt{\frac{I_c \cdot \sum N}{N_c \cdot \sum I}} = 1,53 \cdot \sqrt{\frac{18850 \cdot 2625,92}{876,96 \cdot 75400}} = 1,32$$

где $\sum N$ – сумма продольных сил во всех колоннах нижнего этажа рамы;

N_c – усилие в средней колонне нижнего этажа;
 $\sum I$ – сумма моментов инерции всех колонн нижнего этажа рамы.
 Для средней колонны среднего этажа:

$$\mu_{ef} = \mu \cdot \sqrt{\frac{I_c \cdot \sum N}{N_c \cdot \sum I}} = 2,51 \cdot \sqrt{\frac{18850 \cdot 1750,34}{585,04 \cdot 75400}} = 2,17$$

Для средней колонны верхнего этажа:

$$\mu_{ef} = \mu \cdot \sqrt{\frac{I_c \cdot \sum N}{N_c \cdot \sum I}} = 2,11 \cdot \sqrt{\frac{18850 \cdot 875,16}{293,79 \cdot 75400}} = 1,82$$

Учтем влияние поддерживающего эффекта и увеличение коэффициента расчетной длины для крайних колонн по формуле 146 СП 16.13330.2017:

Для крайней колонны нижнего этажа:

$$\mu_{ef} = \mu \cdot \sqrt{\frac{I_c \cdot \sum N}{N_c \cdot \sum I}} = 1,53 \cdot \sqrt{\frac{18850 \cdot 2625,92}{435,8 \cdot 75400}} = 1,88$$

Для крайней колонны среднего этажа:

$$\mu_{ef} = \mu \cdot \sqrt{\frac{I_c \cdot \sum N}{N_c \cdot \sum I}} = 2,51 \cdot \sqrt{\frac{18850 \cdot 1750,34}{290,13 \cdot 75400}} = 3,0$$

Для крайней колонны верхнего этажа:

$$\mu_{ef} = \mu \cdot \sqrt{\frac{I_c \cdot \sum N}{N_c \cdot \sum I}} = 2,11 \cdot \sqrt{\frac{18850 \cdot 875,16}{143,79 \cdot 75400}} = 2,6$$

Корректность вычисленных коэффициентов расчетной длины проверим при помощи программы-сателлита Scad Office «Кристалл». Вычисленные значения и параметры программы представлены на рисунках 2-4.

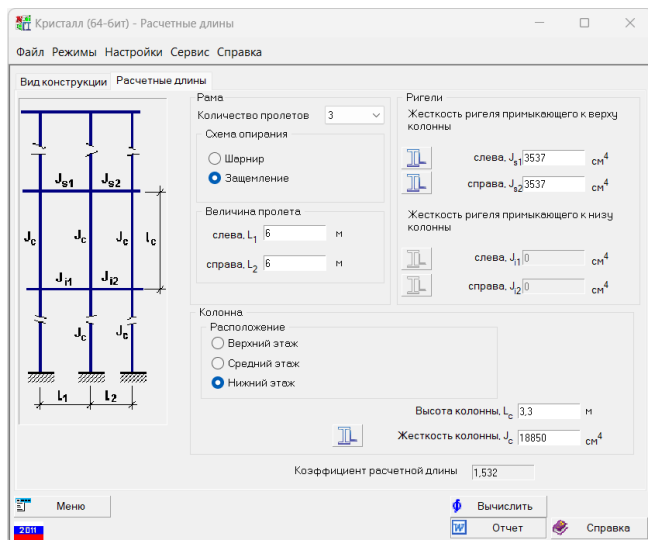


Рис. 2. Результат расчета программы «Кристалл» для колонны нижнего этажа

Fig. 2. The result of the calculation of the program "Crystal" for the column of the lower floor

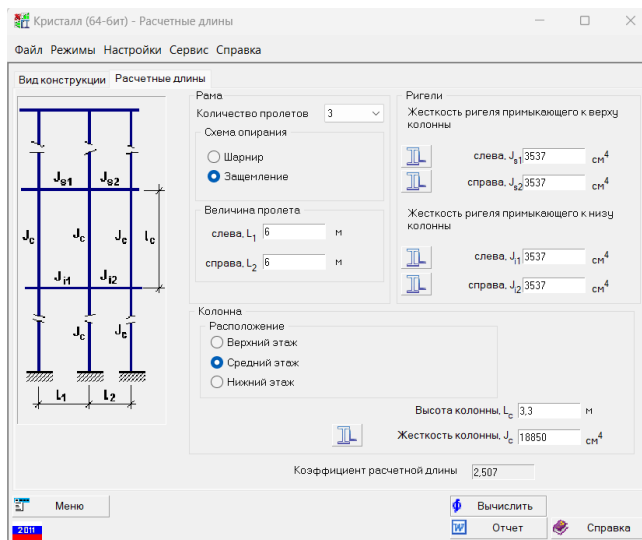


Рис. 3. Результат расчета программы «Кристалл» для колонны среднего этажа

Fig. 3. The result of the calculation of the "Crystal" program for the middle floor column

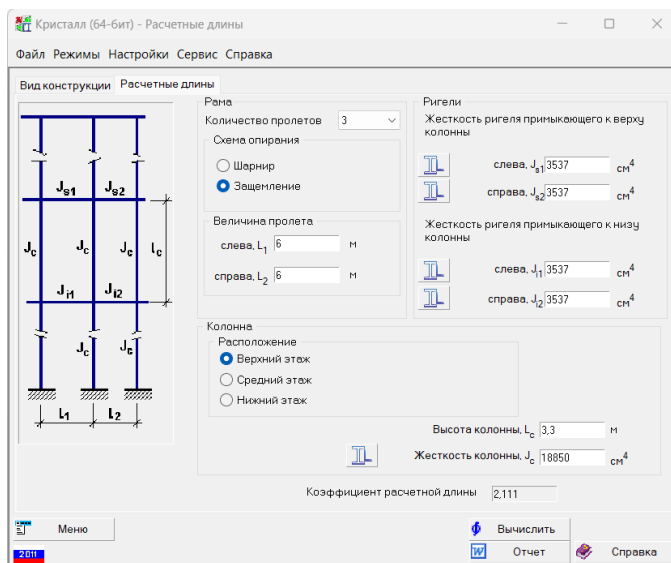


Рис. 4. Результат расчета программы «Кристалл» для колонны верхнего этажа
 Fig. 4. The result of the calculation of the "Crystal" program for the upper floor column

Как можно увидеть, из результатов расчета вручную и результатов сертифицированной программы «Кристалл», результаты определения коэффициентов расчетной длины, без учета разнагруженности, выполнены корректно согласно требованиям СП 16.13330.2017. Параметр учета разнагруженности колонн в программе «Кристалл» отсутствует, однако, его отсутствие можно учесть благодаря формуле 146 СП 16.13330.2017 и ручному расчету согласно её положениям.

РАСЧЕТ ПОПЕРЕЧНОЙ РАМЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ В ПК ЛИРА САПР 2016R5

Для корректного расчета на устойчивость, с учетом множества форм возможной потери устойчивости, произвели разбивку стержневых элементов колонн на 10 штук, в границах каждого этажа, длиной по $l_{ст} = 0,33$ м. Создали 3 различных нагружения, включающих постоянную нагрузку от собственного веса, постоянную нагрузку от веса конструкций полов и временную кратковременную полезную нагрузку. При этом, постоянная нагрузка от собственного веса принималась автоматически, в ПК Лира САПР 2016R5, с учетом коэффициента надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,05$.

Постоянная нагрузка от пола принималась: $q = 36$ кН/м. Временная кратковременная полезная нагрузка принималась: $q = 11,7$ кН/м. Данные значения были приняты при величине грузовой площади для рамы $b = 6$ м и значениях площадных нагрузок 6 кПа и 1,95 кПа соответственно.

Для расчета на устойчивость создали расчетное сочетание нагрузок (РСН), с коэффициентами сочетаний $\psi = 1,0$.

Согласно справочной информации, предоставляемой разработчиками ПК Лира САПР, и представленной на рисунке 5, различают «неустойчивые» стержни, теряющие устойчивость из-за действующих на него нагрузок, и стержни, теряющие устойчивость вынужденно, из-за потери устойчивости «неустойчивыми» стержнями.

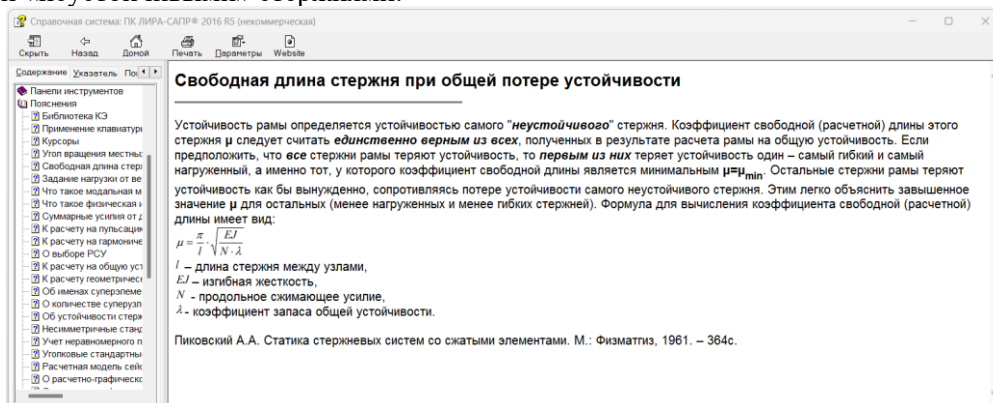


Рис. 5. Справочная информация ПК Лира САПР о свободной длине
 Fig. 5. Reference information of PC Lira CAD about free length

Стержни, теряющие устойчивость первыми, можно определить при помощи инструмента «параметр чувствительности», который присваивает значение от 1 до 0, в зависимости от степени ответственности стержня за потерю устойчивости системы. Таким образом, коэффициент расчетной длины будет корректным только для стержней, с параметром чувствительности равным или близким к единице. Параметры расчетной длины остальных стержней не являются корректными.

Согласно изложенным данным, выполняем расчет на устойчивость, и ищем формы потери устойчивости, при которых значения параметров чувствительности для интересующих нас стержней будут близки или равны единице.

В результате расчета на устойчивость рамы в целом, получили параметр чувствительности равный 1, для крайних колонн нижнего этажа по второй форме потери устойчивости (рис. 6). При этом, коэффициент расчетной длины в ПК Лира САПР определяется по формуле (10):

$$\mu = \frac{L_y \cdot l_{cm}}{l_{geom}} \quad (10)$$

где L_y – коэффициент свободной длины в ПК Лира САПР;

l_{cm} – длина разбиения стержня колонны;

l_{geom} – геометрическая длины колонны между точками закрепления.

Для крайних колонн нижнего этажа получили коэффициент свободной длины в ПК Лира САПР $L_y=15,9$, представленный на рис. 7.

Таким образом, коэффициент расчетной длины для крайних колонн нижнего этажа равняется:

$$\mu = \frac{15,9 \cdot 0,33}{3,3} = 1,59$$

Данное значение близко, к полученному ранее значению $\mu = 1,53$

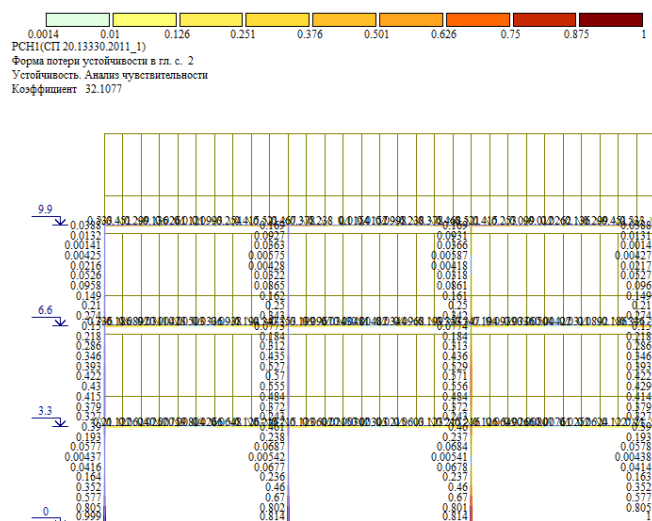


Рис. 6. Мозаика параметров чувствительности
 Fig. 6. Mosaic of sensitivity parameters

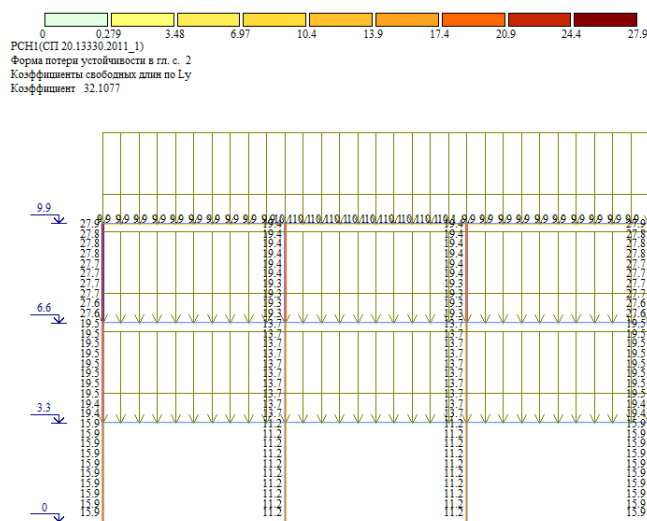


Рис. 7. Мозаика коэффициентов расчетной длины
 Fig. 7. Mosaic of calculated length coefficients

По 3й форме потери устойчивости получили параметр чувствительности для средних колонн нижнего этажа равным 1. (рис. 8), при этом, коэффициент свободной длины в ПК Лира САПР $L_y=8,03$, представленный на рис. 9.

Таким образом, коэффициент расчетной длины для средних колонн нижнего этажа равняется:

$$\mu = \frac{8,03 \cdot 0,33}{3,3} = 0,8$$

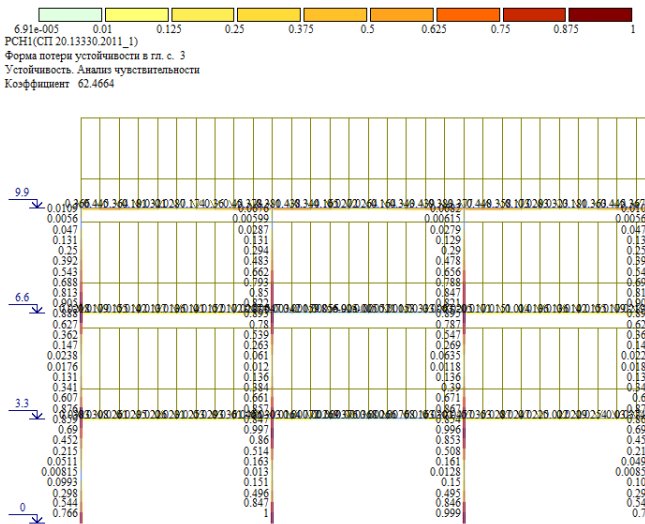


Рис. 8. Мозаика параметров чувствительности
 Fig. 8. Mosaic of sensitivity parameters

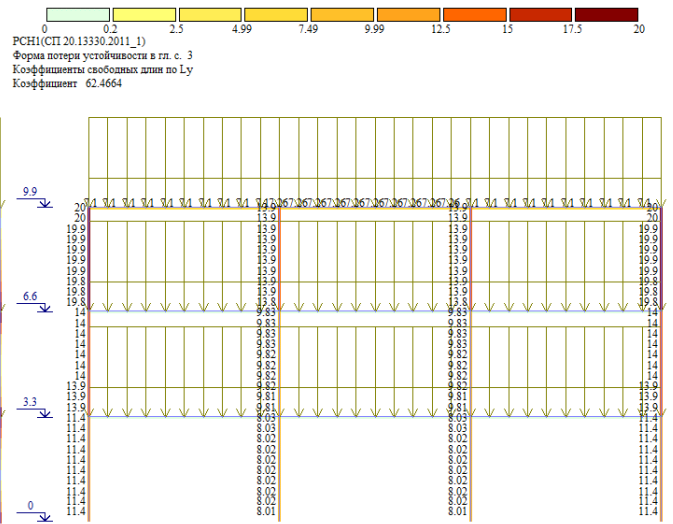


Рис. 9. Мозаика коэффициентов расчетной длины
 Fig. 9. Mosaic of calculated length coefficients

По 4й форме потери устойчивости получили параметр чувствительности для средних колонн среднего этажа равным 1. (рис. 10), при этом, коэффициент свободной длины в ПК Лири САПР $L_y=8,59$, представленный на рис. 11.

Таким образом, коэффициент расчетной длины для средних колонн среднего этажа равняется:

$$\mu = \frac{8,59 \cdot 0,33}{3,3} = 0,86$$

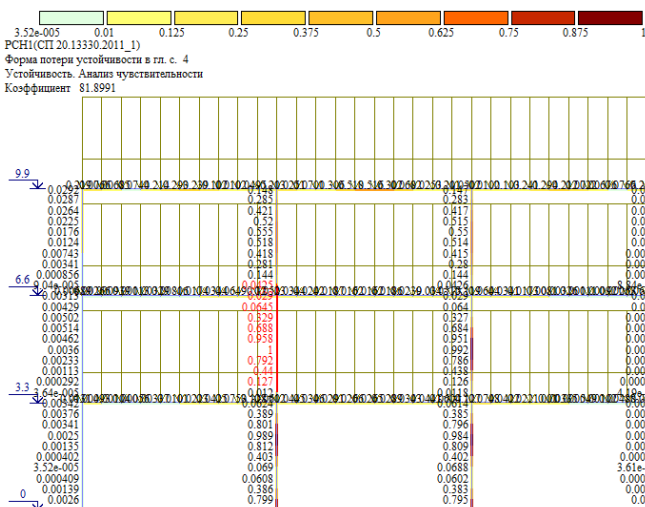


Рис. 10. Мозаика параметров чувствительности
 Fig. 10. Mosaic of sensitivity parameters

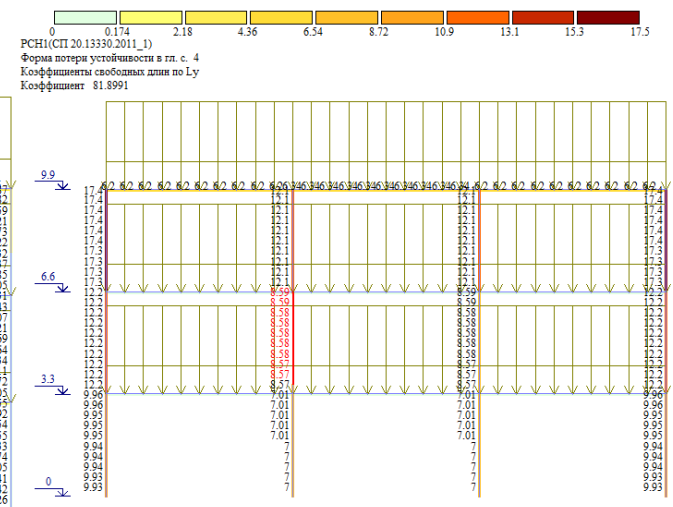


Рис. 11. Мозаика коэффициентов расчетной длины
 Fig. 11. Mosaic of calculated length coefficients

По остальным 10ти принятым формам, при расчете рамы в целом, значения параметра чувствительности для колонн равным или близким к единице не обнаружено.

Предположим, что для обнаружения параметра чувствительности равного или близкого по значению единице, для колонн других этажей, необходимо в расчете устойчивости исключить колонны нижнего этажа, так как при их учете, программа выдает значения, показывающие, что потеря устойчивости системы происходит в основном из-за потери устойчивости нижними колоннами.

В результате расчета схемы, без учета в модуле «Устойчивость» колонн нижнего этажа, по 2й форме потери устойчивости получили параметр чувствительности для крайних колонн верхнего этажа равным 1. (рис. 12), при этом, коэффициент свободной длины в ПК Лири САПР $L_y=22,2$, представленный на рис. 13.

Таким образом, коэффициент расчетной длины для крайних колонн верхнего этажа равняется:

$$\mu = \frac{22,2 \cdot 0,33}{3,3} = 2,22$$

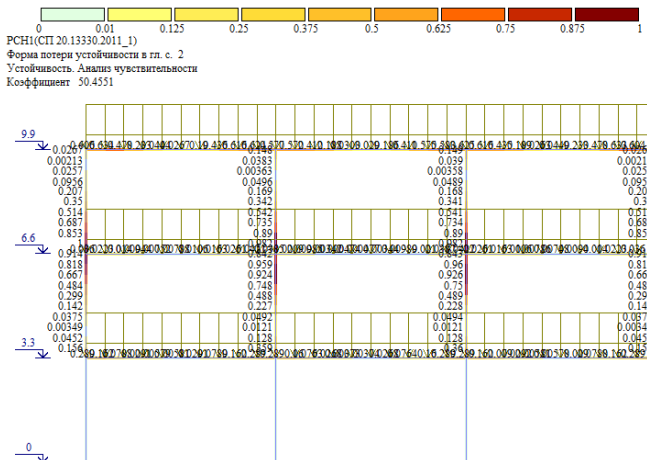


Рис. 12. Мозаика параметров чувствительности
 Fig. 12. Mosaic of sensitivity parameters

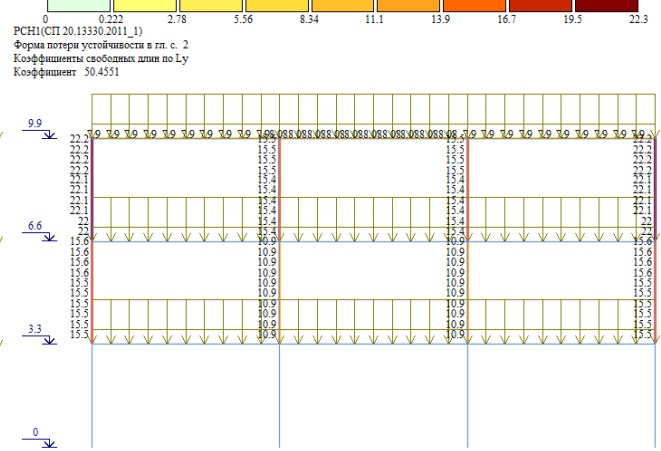


Рис. 13. Мозаика коэффициентов расчетной длины
 Fig. 13. Mosaic of calculated length coefficients

По остальным 10ти принятым формам, при расчете рамы без колонн нижнего этажа, значения параметра чувствительности для колонн равным или близким к единице не обнаружено, согласно данным программы, потеря устойчивости системы происходит из-за потери устойчивости ригелей верхнего этажа.

В результате расчета схемы, без учета в модуле «Устойчивость» колонн нижнего этажа и ригелей верхнего этажа, по 2й форме потери устойчивости получили параметр чувствительности для средних колонн среднего этажа равным 1. (рис. 14), при этом, коэффициент свободной длины в ПК Лира САПР $L_y=10,6$, представленный на рис. 15.

Таким образом, коэффициент расчетной длины для средних колонн среднего этажа равняется:

$$\mu = \frac{10,6 \cdot 0,33}{3,3} = 1,06$$

Однако важно заметить, что коэффициент расчетной длины для средних колонн среднего этажа уже был получен ранее, по более высокой форме потери устойчивости, со значением $\mu = 0,86$.

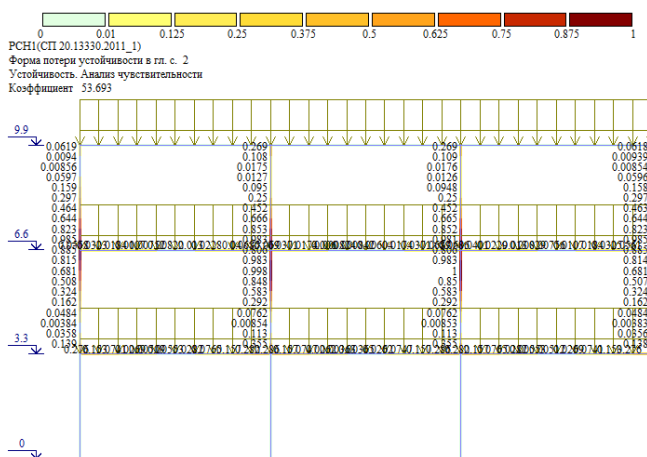


Рис. 14. Мозаика параметров чувствительности
 Fig. 14. Mosaic of sensitivity parameters

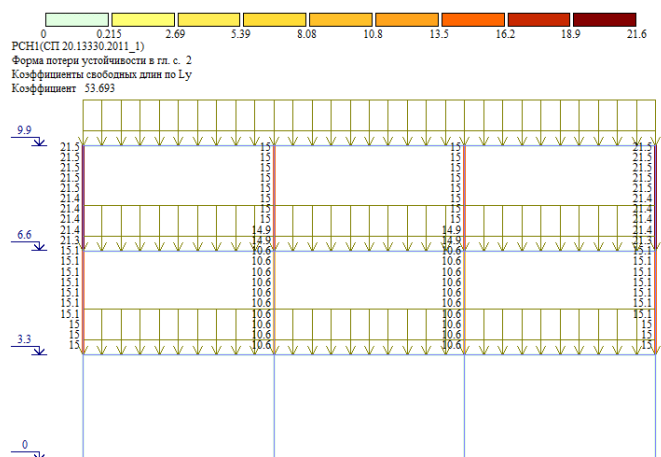


Рис. 15. Мозаика коэффициентов расчетной длины
 Fig. 15. Mosaic of calculated length coefficients

По остальным 10ти принятым формам, при расчете рамы без колонн нижнего этажа и ригелей верхнего этажа, значения параметра чувствительности для колонн равным или близким к единице не обнаружено. Исключим дополнительно средние колонны среднего этажа.

В результате расчета схемы, без учета в модуле «Устойчивость» колонн нижнего этажа, средних колонн среднего этажа и ригелей верхнего этажа, по 2й форме потери устойчивости получили параметр чувствительности для средних колонн верхнего этажа равным 1. (рис. 16), при этом, коэффициент свободной длины в ПК Лира САПР $L_y=11,2$, представленный на рис. 17.

Таким образом, коэффициент расчетной длины для средних колонн верхнего этажа равняется:

$$\mu = \frac{11,2 \cdot 0,33}{3,3} = 1,12$$

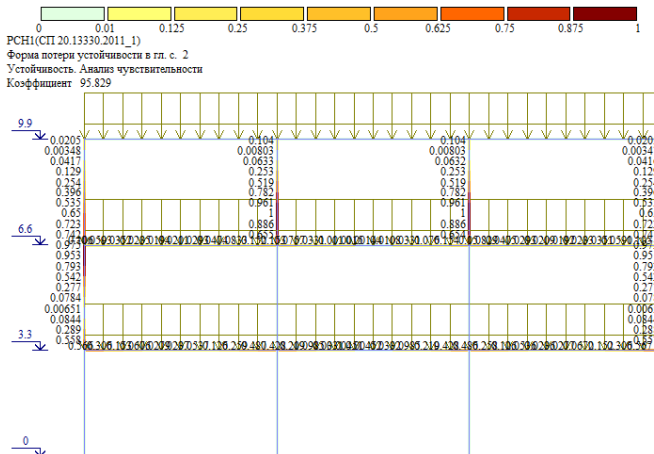


Рис. 16. Мозаика параметров чувствительности
 Fig. 16. Mosaic of sensitivity parameters

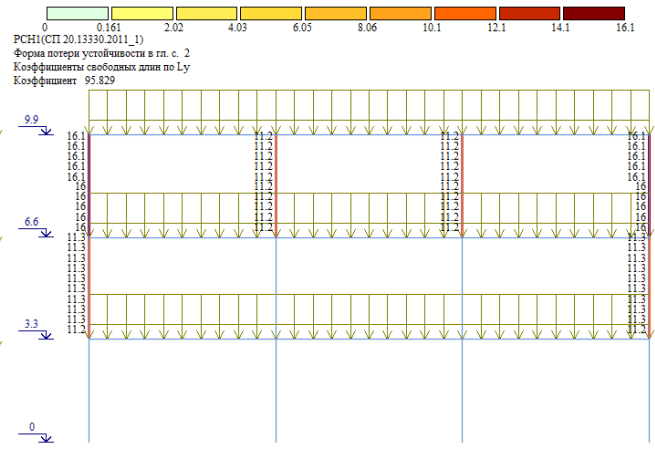


Рис. 17. Мозаика коэффициентов расчетной длины
 Fig. 17. Mosaic of calculated length coefficients

По 4й форме потери устойчивости получили параметр чувствительности для крайних колонн среднего этажа равным 1. (рис. 18), при этом, коэффициент свободной длины в ПК Лира САПР $L_y=7,65$, представленный на рис. 19.

Таким образом, коэффициент расчетной длины для крайних колонн среднего этажа равняется:

$$\mu = \frac{7,65 \cdot 0,33}{3,3} = 0,765$$

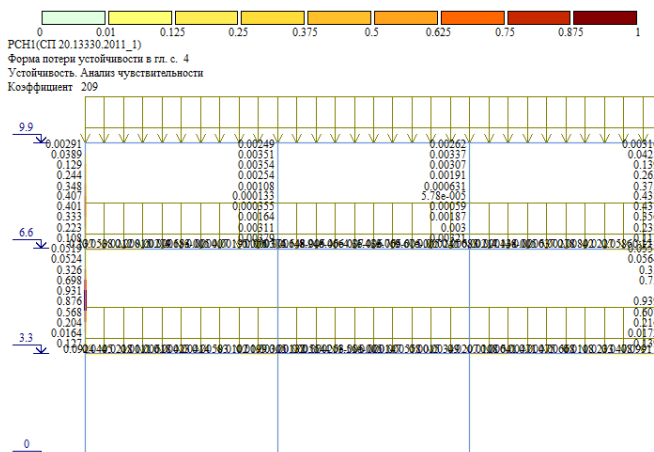


Рис. 18. Мозаика параметров чувствительности
 Fig. 18. Mosaic of sensitivity parameters

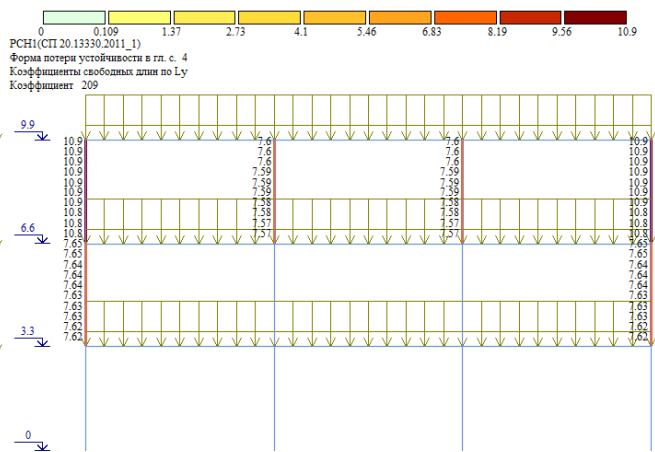


Рис. 19. Мозаика коэффициентов расчетной длины
 Fig. 19. Mosaic of calculated length coefficients

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты расчета коэффициентов расчетной длины вручную, и сравнительный анализ с результатами расчета в программе «Кристалл» представлен в табл. 1, сравнительный анализ с результатами расчета в ПК Лира САПР 2016R5 представлен в табл. 2.

Таблица 1. Сравнительный анализ расчета вручную и в программе «Кристалл»
Table 1. Comparative analysis of the calculation manually and in the "Crystal" program

Вид конструкции	Ручной расчет по СП 16.13330.2017 (без учета разнонагруженности)	Ручной расчет с учетом разнонагруженности	Расчет в программе «Кристалл»	Разница с ручным расчетом без учета разнонагруженности	Разница с ручным расчетом при учете разнонагруженности
Крайние колонны нижнего этажа	1,53	1,88	1,532	<1%	-18,5%
Средние колонны нижнего этажа	1,53	1,32	1,532	<1%	+13,9%
Крайние колонны среднего этажа	2,51	3,0	2,507	<1%	-16,4%
Средние колонны среднего этажа	2,51	2,17	2,507	<1%	+13,4%
Крайние колонны верхнего этажа	2,11	2,6	2,111	<1%	-18,8%
Средние колонны верхнего этажа	2,11	1,82	2,111	<1%	+13,8%

Таблица 2. Сравнительный анализ расчета вручную и в ПК Лира САПР 2016R5
Table 2. Comparative analysis of manual calculation and in PC Lira CAD 2016R5

Вид конструкции	Ручной расчет по СП 16.13330.2017 (без учета разнонагруженности)	Ручной расчет с учетом разнонагруженности	Расчет в ПК Лира САПР2016R5	Разница с ручным расчетом без учета разнонагруженности	Разница с ручным расчетом при учете разнонагруженности
Крайние колонны нижнего этажа	1,53	1,88	1,59	+3,8%	-15,4%
Средние колонны нижнего этажа	1,53	1,32	0,8	-47,7%	-39,4%
Крайние колонны среднего этажа	2,51	3,0	0,765	-69,5%	-74,5%
Средние колонны среднего этажа	2,51	2,17	0,86/1,06	-65,7%/-57,8%	-60,4%/-51,2%
Крайние колонны верхнего этажа	2,11	2,6	2,22	+4,95%	-14,6%
Средние колонны верхнего этажа	2,11	1,82	1,12	-46,9%	-38,5%

Как можно заметить из табл. 1, значение результатов коэффициентов расчетной длины, вычисленное вручную, без учета разнонагруженности колонн, и в программе «Кристалл» отличается во всех случаях менее чем на 1%. С учетом разнонагруженности разница в результатах колеблется от -18,8% до +13,9%. Однако результаты расчета показывают высокую эффективность применения программы «Кристалл», с возможностью уточнения коэффициентов для разных типов колонн путем учета разнонагруженности вручную.

Как видно по результатам табл. 2, при определении коэффициентов расчетной длины в ПК Лира САПР имеются сложности: для некоторых элементов значение коэффициентов имеет высокую сходимость со значениями, вычисленными вручную с учетом и без учета разнонагруженности (различие от -15,4% до +4,95%), для остальных элементов различие составляет от -38,5% до -74,5%. Это можно объяснить тем, что в нормах коэффициенты рассчитываются по упрощенным в запас формулам, не учитывающим продольные силы в колоннах, а также, различной логике определения коэффициентов в программе и вручную. Так как программа ищет наиболее неустойчивый стержень, и выдает справедливую расчетную длину лишь для него, для остальных стержней уточнять расчетные длины необходимо поиском комбинаций, при которых устойчивость теряют остальные, рассматриваемые стержни что и повышает трудоемкость и снижает корректность результатов.

В целом можно утверждать о возможности применения ПК Лира САПР для определения коэффициентов расчетной длины, однако, весомое различие в значениях, невозможность использования одной расчетной схемы без исключения элементов, для определения расчетных длин, а также результаты, зачастую зависящие от удачливости исключения элементов заставляют задуматься о корректности применения данного метода. В противовес можно сказать, что применение данных из программы «Кристалл» дает сопоставимые результаты с ручным расчетом, соответствие нормам, что не вызывает вопросов у экспертизы, а также снижение трудоемкости в области определения первоначальных значений коэффициентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования был выполнен расчет коэффициентов расчетной длины вручную, по таблицам СП 16.13330.2017, расчет в программе-сателлите SCAD Office «Кристалл», создана расчетная схема и выполнен расчет на устойчивость и определены коэффициенты расчетной длины для неустойчивых стержней в ПК Лира САПР.

В результате исследования была определена точность вычисляемых коэффициентов в программе «Кристалл» и соответствие вычисленных значений СП 16.13330.2017. Значение результатов коэффициентов расчетной длины, вычисленное вручную, без учета разнонагруженности колонн, и в программе «Кристалл» отличается во всех случаях менее чем на 1%. С учетом разнонагруженности разница в результатах колеблется от -18,8% до +13,9%.

Также была рассмотрена возможность расчета коэффициентов в ПК Лира САПР и сделаны следующие выводы:

- для определения верного значения расчетной длины стержня необходимо искать форму, в которой устойчивость всей системы будет зависеть от устойчивости исследуемого стержня;

- для определения расчетной длины всех стержней недостаточно одной общей расчетной схемы, необходимо искать и исключать различные элементы, для создания условий неустойчивости исследуемого стержня;

- значение расчетной длины для наиболее нагруженных и рядовых стержней различается, что соответствует формуле 146 СП 16.13330.2017;

- общая сходимость результатов ручного расчета и расчета в ПК Лира САПР версий 2016R5 и менее, на не высоком уровне, несмотря на близкие значения отдельных результатов. Для некоторых элементов значение коэффициентов имеет высокую сходимость со значениями, вычисленными вручную с учетом и без учета разнонагруженности (различие от -15,4% до +4,95%), для остальных элементов различие составляет от -38,5% до -74,5%.

- трудоемкость выполнения расчетов на устойчивость, для определения коэффициентов расчетной длины для каждого отдельного стержня и сомнительность получаемых результатов заставляют использовать более надежные и простые формулы таблицы 31 СП 16.13330.2017 или программы простого расчета, к примеру, «Кристалл».

В целом, можно сказать, что имеющиеся на данный момент, в версиях ПК Лира САПР 2016R5 и ранее, инструменты для определения расчетных длин, дают неоднозначные результаты, и в ходе проведенного исследования, закономерность их появления выявлена не была.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корноухов Н.В. Прочность и устойчивость стержневых систем. Упругие рамы, фермы и комбинированные системы // Издательство литературы по строительству: Москва. 1949. 378с.
2. Лейтес С.Д. Справочник по определению свободных длин элементов стальных конструкций // Издательство литературы по строительству: Москва. 1963. 162с.
3. Перельмутер А. В., Сливкер В. И., Перельмутер А. В., Сливкер В. И. Устойчивость равновесия конструкций и родственные проблемы: в 3 т. / Москва: Изд-во СКАД СОФТ, 2010. 24 с. ISBN 978-5-903683-08-6. EDN QJWLFL.
4. Pahl P.J. Introduction to the Stability of Frames: Lecture Notes. Stellenbosch University, March 2010.
5. Duan L., Chen W.F. Effective Length Factors of Compression Members: Structural Engineering Handbook / Chen Wai-Fah (Ed.). Boca Raton: CRC Press LLC, 1999.
6. Пешкова Е. В. Исследование устойчивости ветви стальной колонны и уточнение коэффициента расчетной длины // Международная научно-техническая конференция молодых ученых, Белгород, 01–30 мая 2015. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. С. 2443-2446. EDN USRFGD.
7. Плотников Н. А. Оценка коэффициента расчетной длины стальных колонн в каркасных зданиях // Актуальные проблемы технического и технологического обеспечения инновационного развития: Сборник статей

по итогам Международной научно-практической конференции, Омск, 09 июля 2021. Стерлитамак: Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований", 2021. С. 22-30. EDN BMFDOZ.

8. Иващенко А. М. Вариационный метод определения коэффициентов расчетных длин для колонн каркасов зданий // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2006. № 6(570). С. 4-10. EDN HTUXXR.

9. Лапшин А.А. Численные исследования и анализ коэффициентов расчетных длин одноэтажных промзданий, оборудованных мостовыми кранами // Приволжский научный журнал. 2013. № 3(27). С. 55-61. EDN RBHKNL.

10. Солодов Н. В. Расчетная длина подкрановых ветвей сквозных стальных колонн из плоскости рамы // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 3. С. 13-16. EDN VNUVMR.

11. Люфт Н. А. Корректное определение коэффициентов приведения длины сжатых стержней в расчетах ферм с жесткими узлами // Интеллектуальный потенциал Сибири: Сборник научных трудов. 30-я Региональная научная студенческая конференция, Новосибирск, 23–27 мая 2022. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2022. С. 598-601. EDN JQNDHT.

12. Хазов П.А. Экспериментальное исследование расчетных длин и коэффициентов продольного изгиба композитных труботонных образцов // Приволжский научный журнал. 2022. № 4(64). С. 16-26. EDN GIHYOB.

13. Пешкова Е. В. Уточнение коэффициента расчетной длины из плоскости рамы для сквозных колонн // Образование, наука, производство, Белгород, 20–22 октября 2015. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. С. 2517-2521. EDN VNPIKR.

14. Горохов Е. В. Учет конструктивных особенностей узловых соединений в расчетах устойчивости центрально сжатых стержней структурных покрытий // Металлические конструкции. 2016. Т. 22, № 3. С. 125-137. EDN WXDIKD.

15. Ляхович Л. С. Роль парадоксов в оценке корректности расчетных моделей // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 2(39). С. 121-131. EDN QBVCCH.

ОБ АВТОРАХ

Кирилл Витальевич Парасюк – студент. Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (ДонНАСА), 286123, Россия, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2. E-mail: kir19072001@mail.ru

Станислав Федорович Дьяков – к.т.н., доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: dyakov_sf@spbstu.ru

ABOUT THE AUTHORS

Kirill V. Parasyuk – student. Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture (DonNASA). 286123, Russia, Donetsk People's Republic, Makeyevka, Derzhavina str. 2. E-mail: kir19072001@mail.ru

Stanislav F. Dyakov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Higher School of Industrial, Civil and Road Construction. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: dyakov_sf@spbstu.ru