

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2024, Том 16, № 3 / 2024, Vol. 16, Iss. 3 <https://esj.today/issue-3-2024.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/86SAVN324.pdf>

2.1.9. Строительная механика (технические науки)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Подрезов, А. А. Анализ моделирования ребра жесткости плоской железобетонной конструкции в программном комплексе Лира-САПР / А. А. Подрезов, Д. Г. Портнягин // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 3. — URL: <https://esj.today/PDF/86SAVN324.pdf>

**For citation:**

Podrezov A.A., Portnyagin D.G. Analysis of the modeling of a stiffener reinforced concrete structure in the Lira-CAD software package. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(3): 86SAVN324. Available at: <https://esj.today/PDF/86SAVN324.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 69.04

**Подрезов Артём Андреевич**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Абакан, Россия  
E-mail: 89134458214artem@mail.ru

**Портнягин Денис Геннадьевич**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Абакан, Россия  
Доцент кафедры «Строительство и экономика»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: my4455@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1209-1849>

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=655501](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=655501)

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57191529723>

## Анализ моделирования ребра жесткости плоской железобетонной конструкции в программном комплексе Лира-САПР

**Аннотация.** Цель данной работы заключается в анализе напряженно-деформированного состояния (НДС) плоской железобетонной конструкции с ребром жесткости при различных способах её моделирования в программном комплексе Лира-САПР; оценка результатов армирования и подбор оптимального решения при моделировании.

Авторами статьи представлено 4 варианта моделирования расчетных схем, одна из которых принята эталонной. Эталонная схема замоделирована стержневым конечным элементом таврового сечения. Остальные схемы — комбинированные и замоделированы с помощью пластинчатых и стержневых конечных элементов. Комбинированные схемы отличаются между собой способом сопряжения стержневых и пластинчатых конечных элементов, в чем и заключается исследование данной статьи. В комбинированных моделях реализовано три способа сопряжения:

- при помощи абсолютно жестких тел (АЖТ);
- при помощи жесткой вставки;
- соосное сопряжение элементов.

В связи с тем, что тавровый элемент в комбинированных расчетных моделях выполнен не единым сечением, а разбит на два простых элемента (стержень и пластина), то в данных элементах возникают мембранные и продольные усилия в следствие совместной работы.

Результаты деформаций, усилий, армирования сведены в отдельные сравнительные таблицы для удобства последующего анализа.

При анализе моделей был сделан вывод, что схемы, которые замоделированы при помощи жёстких вставок и при помощи абсолютно жестких тел (АЖТ), более приближены к эталонной модели. Но использовать инструмент подбора армирования в данных элементах не рекомендуется из-за появления мембранных и продольных усилий.

**Ключевые слова:** ребро жесткости; АЖТ; жесткая вставка; НДС; ПК Лира-САПР; мембранные усилия; продольные усилия; армирование; МКЭ

## Введение

С каждым годом проектирование строительных конструкций стремительно развивается. На смену аналитических методов расчета строительных конструкций, пришли современные численные методы расчета [1–3]. На данный момент существует множество программных комплексов (ПК), основанных на методе конечных элементов (МКЭ) [4–7].<sup>1</sup> Один из наиболее распространённых является ПК Лира-САПР. Данный расчетный инструмент позволяет проектировщику автоматически производить расчеты железобетонных конструкций на основании действующих норм, также в данном расчетном комплексе возможен метод расчета в нелинейной постановке.

При использовании автоматизированного метода расчета зачастую возникает множество вопросов, например: «Как правильно замоделировать плоские железобетонные конструкции с ребрами жесткости? Как правильно оценить результаты напряженно-деформированного состояния (НДС)? Как корректно подобрать армирование?» В данной статье проанализированы методы моделирования плоских конструкций с ребром жесткости на примере таврового сечения в упруго-линейной постановке.

На данный момент существуют несколько методов моделирования ребра жесткости<sup>2</sup>, на основании которых созданы данные расчетные схемы [8]. В реализации моделей для оценки результатов в программном комплексе используем стержневые и пластинчатые конечные элементы [9–17].

## Исходные данные для моделирования конструкции в Лира-САПР

Расчетная схема — двухпролетная неразрезная балка.

Сечение конструкции — балка таврового сечения (рис. 1).

Длина пролета  $L_1$  — 6,6 (м).

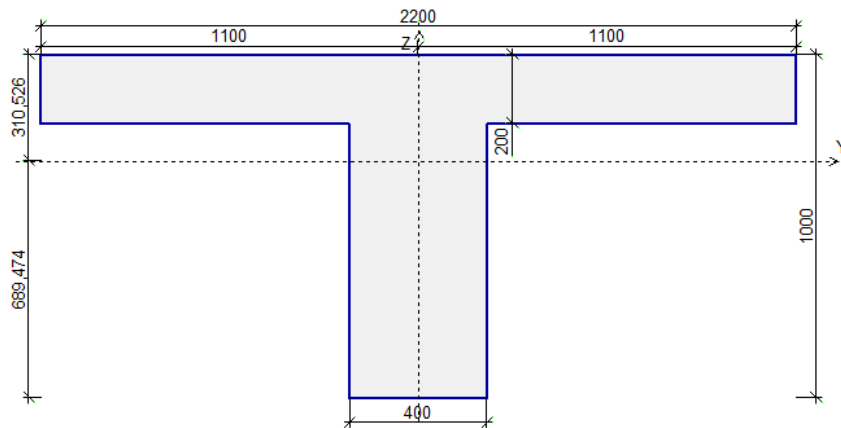
Длина пролета  $L_2$  — 6,6 (м).

Нагрузка — 13,2 (т/м).

<sup>1</sup> Копылов В.Н. Применение программного комплекса «Лира-Сапр» для оценки надежности и безопасности строительных конструкций: магистерская диссертация: дис. — б.и., 2020.

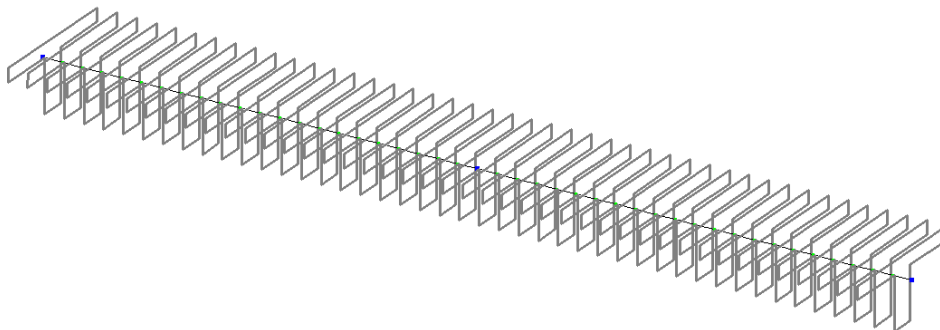
<sup>2</sup> Статья «Монолитное ребро плиты — вариант моделирования стержнем таврового сечения» // Лира сервис «база знаний» [Электронный ресурс] — URL: <https://liraserv.com/kb/108/990>.

Каманин А. Обучающие видео — LIRA SAPR Расчет монолитного ребристого перекрытия [Электронный ресурс] — URL: <https://www.youtube.com/watch?v=1NM0k5wX1DQ>.



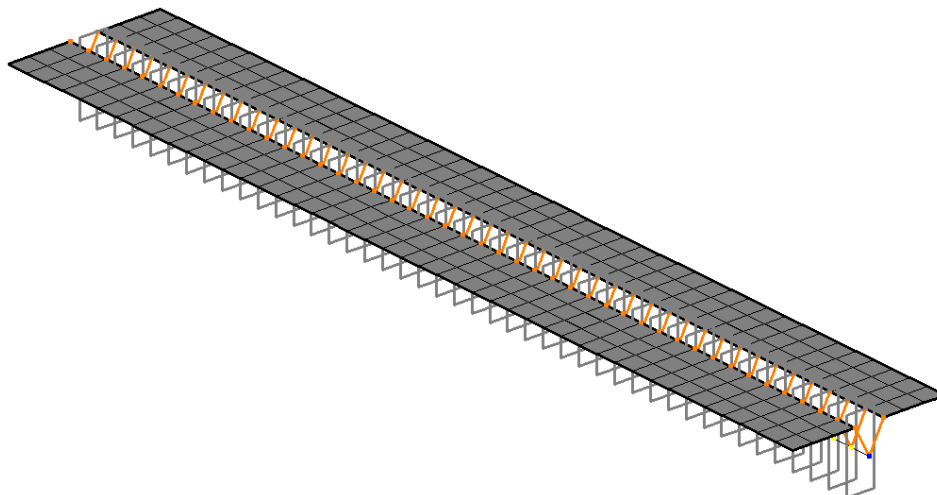
**Рисунок 1.** Геометрические характеристики (составлено автором)

Схема № 1 замоделирована стержневым элементом, разбитым на участки с шагом 0,3 м. (рис. 2). Данную схему будем считать эталоном.



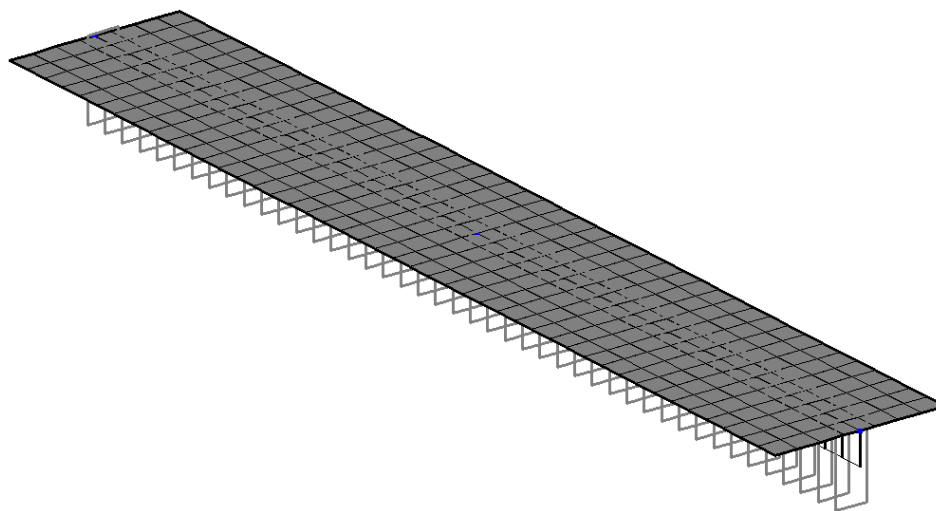
**Рисунок 2.** Схема № 1 (составлено автором)

Схема № 2 замоделирована стержневым элементом сечением 1 000(h)×400 мм и плоскими конечными элементами толщиной 200 мм. Стержневой элемент объединён с пластинами при помощи абсолютных жестких тел (АЖТ). Сам стержневой элемент имеет опуск вниз относительно пластинчатых элементов на величину 400 мм (рис. 3).



**Рисунок 3.** Схема № 2 (составлено автором)

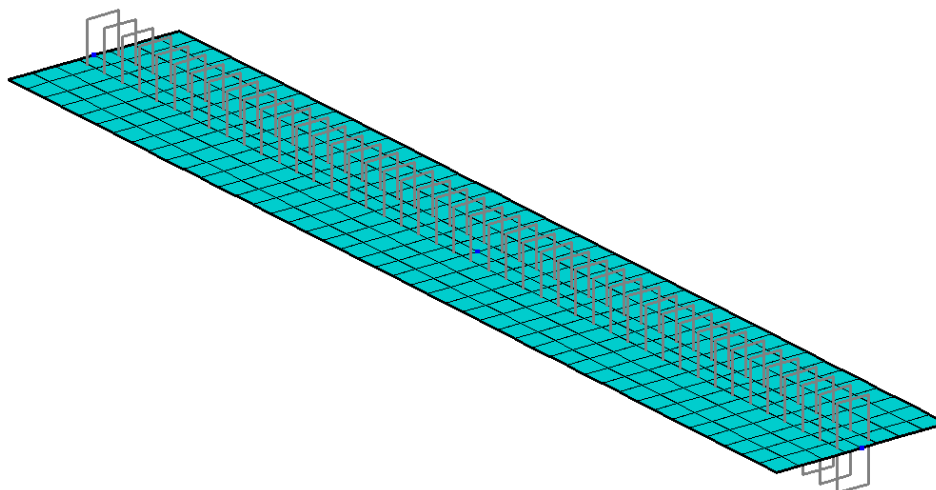
Схема № 3 замоделирована стержневым элементом сечением 1 000(h)×400 мм и плоскими конечными элементами толщиной 200 мм. Стержневой элемент объединён с пластинами при помощи общих узлов. Сам стержневой элемент имеет опуск при помощи жестких вставок высотой 400 мм (рис. 4).



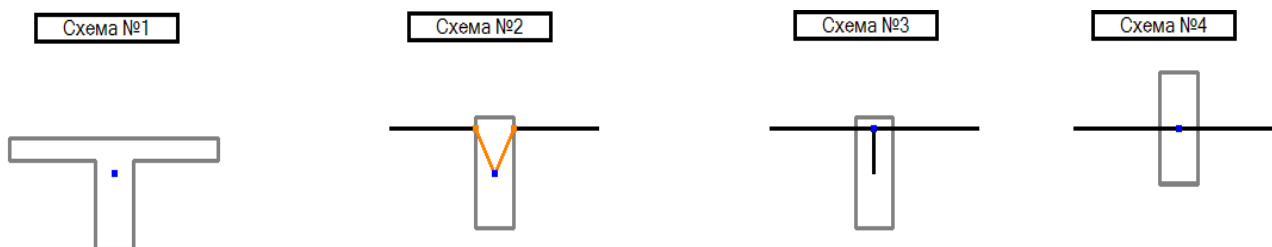
**Рисунок 4.** Схема № 3 (составлено автором)

Схема № 4 за моделирована стержневым элементом сечением  $1\,000(h) \times 400$  мм и плоскими конечными элементами толщиной 200 мм. Стержневой элемент объединён с пластинами при помощи общих узлов (рис. 5).

Общий вид сечений расчетных схем представлен на рисунке 6.



**Рисунок 5.** Схема № 4 (составлено автором)



**Рисунок 6.** Сечения расчетных схем (составлено автором)

### Анализ НДС

Результаты вертикальный перемещений сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Анализ перемещений

Номер схемы	Вертикальные перемещения в пролете (мм.)	Погрешность от эталонна
Схема № 1	0,76	Эталонная схема
Схема № 2	0,827	8,8 %
Схема № 3	0,81	6,6 %
Схема № 4	1,42	86,8 %

Составлено автором

Так как сечение в схемах 2–4 состоит из разных конечных элементов, то изгибающий момент находим по следующей формуле:

$$M_{np} = N_c * ЖВ + M_c + M_{пл},$$

где  $M_{np}$  — приведенный изгибающий момент (т\*м);  $N_c$  — мембранное усилие в стержне (т); ЖВ — высота жесткой вставки (м);  $M_c$  — изгибающий момент в стержне (т\*м);  $M_{пл}$  — изгибающий момент в пластине (т\*м).

Данные о результатах усилий на опоре, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Анализ усилий на опоре

Номер схемы	Вид конечного элемента	Изгибающий момент (т*м)	Мембранные усилия (т)	Приведенный изгибающий момент	Погрешность от эталона
Схема № 1	Стержень	-71,9	0	Эталонная схема	Эталонная схема
Схема № 2	Стержень	-46,9	-57,7	-71,53	0,5 %
	Пластина	-1,55	57,12		
Схема № 3	Стержень	-44,9	-62,3	-71,89	0,01 %
	Пластина	-2,07	59,12		
Схема № 4	Стержень	-69,5	0	-72,59	0,9 %
	Пластина	-3,09	0		

Составлено автором

$$\text{Схема № 2 — } M_{np} = (-57,7) * 0,4 + (-46,9) + (-1,55) = -71,53 (т * м).$$

$$\text{Схема № 3 — } M_{np} = (-62,3) * 0,4 + (-44,9) + (-2,07) = -71,89 (т * м).$$

$$\text{Схема № 4 — } M_{np} = (-69,5) + (-3,09) = -72,59 (т * м).$$

Данные о результатах усилий в пролёте, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Анализ усилий в пролете

Номер схемы	Вид конечного элемента	Изгибающий момент (т*м)	Мембранные усилия (т)	Приведенный изгибающий момент	Погрешность от эталона
Схема № 1	Стержень	40,4	0	Эталонная схема	Эталонная схема
Схема № 2	Стержень	22,2	44,5	40,52	0,3 %
	Пластина	0,52	44,52		
Схема № 3	Стержень	21,6	45,9	40,39	0,02 %
	Пластина	0,43	45,84		
Схема № 4	Стержень	39	0	40,21	0,5 %
	Пластина	1,21	0		

Составлено автором

Схема № 2 —  $M_{np} = 44,5 * 0,4 + 22,2 + 0,52 = 40,52 (m * m)$ .

Схема № 3 —  $M_{np} = 45,9 * 0,4 + 21,6 + 0,43 = 40,39 (m * m)$ .

Схема № 4 —  $M_{np} = 39 + 1,21 = 40,21 (m * m)$ .

При анализе таблицы 1, можно сделать вывод, что схема № 2 и № 3 достовернее отражает работу конструкции с погрешностью менее 9 % от эталонной схемы. В схеме № 4 чрезмерно завышены перемещения, практически в 2 раза.

При анализе таблицы 2 и 3 можно сделать вывод, что по результатам изгибающего момента у всех схем погрешность от эталонной схемы менее 1 %. Но в связи с тем, что у схемы 4 перемещения завышены почти в 2 раза, то в статически неопределимых системах, возможно некорректное перераспределение усилий.

При общем анализе можно сделать вывод, что схема № 2 и схема № 3 более приближенная к эталонной схеме по всем показателям.

### Анализ армирования конструкций с учетом трещиностойкости

Для эксперимента примем следующие параметры для балок:

- Бетон В25.
- Арматура А500.
- Расстояние до ц.т. арматуры 5 см.
- Учет трещиностойкости.

Данные по результатам армирования с учетом трещиностойкости сведены в таблице 4, 5.

Таблица 4

### Анализ требуемого армирования в пролете с учетом трещиностойкости

Номер схемы	Вид конечного элемента	У нижней грани (см <sup>2</sup> )	У верхней грани (см <sup>2</sup> )	У боковой грани (см <sup>2</sup> )	Суммарное армирование	Погрешность от эталонна
Схема № 1	Стержень	14,8	0	0	14,8	Эталонная схема
Схема № 2	Стержень	28,1	8,9	9,8	46,8	316 %
	Пластина	0	0	—		
Схема № 3	Стержень	28,1	9,2	10,4	47,7	322 %
	Пластина	0	0	—		
Схема № 4	Стержень	18	0	0	18	21,6 %
	Пластина	0	0	—		

Составлено автором

Таблица 5

### Анализ требуемого армирования на опоре с учетом трещиностойкости

Номер схемы	Вид конечного элемента	У нижней грани (см <sup>2</sup> )	У верхней грани (см <sup>2</sup> )	У боковой грани (см <sup>2</sup> )	Суммарное армирование	Погрешность от эталона
Схема № 1	Стержень	0	34,6	0	Эталонная схема	Эталонная схема
Схема № 2	Стержень	0	21,4	0	45,29	31 %
	Пластина	6,6	17,29	—		
Схема № 3	Стержень	0	21,2	0	43,99	27 %
	Пластина	5,24	17,55	—		
Схема № 4	Стержень	0	32,6	0	36,57	5,7 %
	Пластина	0	3,97	—		

Составлено автором

### Анализ армирования конструкций без учета трещиностойкости

Для эксперимента примем следующие параметры для балок:

- Бетон В25.
- Арматура А500.
- Расстояние до ц.г. арматуры 5 см.
- Без учета трещиностойкости.

Данные по результатам армирования без учета трещиностойкости сведены в таблице 6, 7.

**Таблица 6**

#### Анализ требуемого армирования в пролете без учета трещиностойкости

Номер схемы	Вид конечного элемента	У нижней грани (см <sup>2</sup> )	У верхней грани (см <sup>2</sup> )	У боковой грани (см <sup>2</sup> )	Суммарное армирование	Погрешность от эталона
Схема № 1	Стержень	9,88	0	0	9,88	Эталонная схема
Схема № 2	Стержень	11,2	0	0	11,2	13,3 %
	Пластина	0	0	—		
Схема № 3	Стержень	11,2	0	0	11,2	13,3 %
	Пластина	0	0	—		
Схема № 4	Стержень	9,8	0	0	9,8	0,8 %
	Пластина	0	0	—		

Составлено автором

**Таблица 7**

#### Анализ требуемого армирования на опоре без учета трещиностойкости

Номер схемы	Вид конечного элемента	У нижней грани (см <sup>2</sup> )	У верхней грани (см <sup>2</sup> )	У боковой грани (см <sup>2</sup> )	Суммарное армирование	Погрешность от эталона
Схема № 1	Стержень	0	18,6	0	18,6	Эталонная схема
Схема № 2	Стержень	0	11,6	0	30,13	62 %
	Пластина	6,6	11,93	—		
Схема № 3	Стержень	0	11,6	0	29,69	59,6 %
	Пластина	5,24	12,85	—		
Схема № 4	Стержень	0	18	0	21,92	17,8 %
	Пластина	0	3,92	—		

Составлено автором

При анализе таблиц 4–7 можно сделать следующий вывод, что наименьший процент погрешности по результатам армирования показала схема № 4.

В схемах № 2 и № 3 из-за продольных усилий результаты армирования сильно искажены и имеют очень высокую погрешность от эталонной расчетной схемы.

### Заключение

При анализе расчетных схем можно сделать вывод, что самое оптимальное решение — это моделирование конструкций при помощи жестких вставок (схема № 3) или моделирование с применением абсолютно жестких тел (схема № 2).

Так как метод конечных элементов основан на методе перемещений, то применять моделирование конструкций по схеме № 4 не рекомендуется.

Из-за меньшей жёсткости схема № 4 в статически неопределимых системах [5] покажет некорректное перераспределение усилий, что в следствие приведет к некорректному НДС конструкции, что в свою очередь приведет к не обосновано увеличенному армированию конструкций.

Но в схеме № 3 и № 4 нет возможности использовать встроенный модуль подбора армирования из-за появления продольных усилий в элементах.

Следовательно, подбор армирования специалист должен подбирать ручным счетом после вычисления приведенного изгибающего момента по примеру таблицы 2, 3.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов О.В., Шахмаева К.Е. Расчет строительных конструкций численными методами // Современные достижения университетских научных школ. — 2021. — С. 81–86.
2. Кузнецов Д.Н., Федосова Л.А. Анализ развития метода предельных состояний для расчета строительных конструкций // Строительная механика и конструкции. — 2020. — № 4. — С. 74–81.
3. Шабуров А.А., Шадрин А.Н. Современные технологии в строительстве. Теория и практика // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. Учредители: Пермский национальный исследовательский политехнический университет. — 2022. — Т. 1. — С. 142–147.
4. Серебрянский С.В. Обзор современных программных комплексов для расчета строительных конструкций и оценки их огнестойкости // Аллея науки. — 2020. — Т. 1. — № 9. — С. 164–168.
5. Пушкарев И.А., Евсягина В.А., Шанина Т.С. Использование программных комплексов конечно-элементного анализа и ВМ-технологий при расчете элементов строительных конструкций // ВМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры. — 2023. — С. 378–382.
6. Черных А.Г. и др. Проектирование и расчет строительных конструкций с применением технологий информационного моделирования // Вестник гражданских инженеров. — 2020. — № 3. — С. 72–78.
7. Казанцева Т.Ю. Расчет строительных конструкций многоэтажных домов в программных комплексах ЛИРА САПР 2018 и СТАТИКА ООО «ТЕХСОФТ» // Студенческий вестник. — 2020. — № 37-3. — С. 5–8.
8. Куликова О.Ю., Васильев А.С. Моделирование ребристых плит перекрытий в системе Лира-САПР // Вестник Приамурского государственного университета имени Шолом-Алейхема — 2018. — 6 с.
9. Алферов И.В. Определение линейного перемещения в раме методом Максвелла-Мора и методом конечных элементов // Инновации. Наука. Образование. — 2021. — № 26. — С. 1422–1426.
10. Римшин В.И. и др. Результаты расчета усиления строительных конструкций здания методом конечных элементов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. — 2020. — № 4. — С. 67–78.



11. Пьянков, М.В. Сравнение способов моделирования строительных конструкций методом конечных элементов в программах SCAD Office и ЛИРА-САПР / М.В. Пьянков // Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых — 2021: Сборник материалов конференции: в 2-х томах, Архангельск, 01–30 апреля 2021 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»; сост. Ю.С. Кузнецова. Том 2. — Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2021. — С. 469–473. — EDN CBFFGN.
12. Тихомиров С.А. Метод конечных элементов в расчетах инженерных конструкций // Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности. — 2023. — С. 349–352.
13. Гайджуров П.П., Володин В.А. Расчет на прочность зоны сопряжения плиты перекрытия и колонны монолитного железобетонного каркаса методом конечных элементов // Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). — 2022. — Т. 22. — № 4. — С. 306–314.
14. Алферов И.В. Сравнительный анализ при определении перемещений // Инновации. Наука. Образование. — 2021. — № 30. — С. 515–519.
15. Мозголов, М.В. О влиянии абсолютно жестких вставок на напряженно-деформированное состояние балок железобетонных кессонных перекрытий при расчете конструкций в вычислительном комплексе SCAD / М.В. Мозголов, Е.А. Белан // Наука, техника, педагогика высшей школы. Новые технологии = Science, Engineering, Higher Education Pedagogics. New Technologies, Москва, 01–04 марта 2022 года / Материалы Всероссийской научно-практической конференции. — Москва: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский политехнический университет", 2022. — С. 211–219. — EDN VCHNUG.
16. Канаков И.Д., Тарануха Н.Л., Ананин К.Ю. Анализ технологий каркасно-монолитного жилищного строительства в российской федерации: правила проектирования, особенности выполнения расчетов монолитных железобетонных конструкций // Вестник науки и образования Северо-Запада России. — 2024. — Т. 10. — № 1. — С. 2413–9858.
17. Никитин А.Н. Способы передачи расчетных моделей между системами прочностного анализа // Вестник науки. — 2024. — Т. 4. — № 6(75). — С. 1137–1140.

**Podrezov Artem Andreevich**

Siberian Federal University, Abakan, Russia  
E-mail: 89134458214artem@mail.ru

**Portnyagin Denis Gennadyevich**

Siberian Federal University, Abakan, Russia  
E-mail: my4455@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1209-1849>

RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=655501](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=655501)

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57191529723>

## **Analysis of the modeling of a stiffener reinforced concrete structure in the Lira-CAD software package**

**Abstract.** The purpose of this work is to analyze the stress-strain state (VAT) of a flat reinforced concrete structure with a stiffening rib, using various methods of modeling it in the Lira-CAD software package. Evaluation of reinforcement results and selection of the optimal solution for modeling.

The authors of the article present 4 options for modeling computational schemes, one of which is accepted as a reference. The reference circuit is modeled by a rod end element of the T-section. The remaining circuits are combined and modeled using plate and rod finite elements. The combined circuits differ from each other in the way of coupling rod and plate finite elements, which is the study of this article. There are three ways of coupling in combined models:

- with the help of absolutely rigid bodies (AJT);
- using a rigid insert;
- coaxial coupling of elements.

Due to the fact that the T-bar element, in combined calculation models, is not made in a single section, but is divided into two simple elements (rod and plate), membrane and longitudinal forces arise in these elements as a result of joint work.

The results of deformations, forces, and reinforcement are summarized in separate comparative tables for the convenience of subsequent analysis.

**Conclusion:** when analyzing the models, it was concluded that the circuits that are modeled using rigid inserts and using absolutely rigid bodies (AJT) are more close to the reference model. But it is not recommended to use a reinforcement selection tool in these elements due to the appearance of membrane and longitudinal forces.

**Keywords:** stiffening rib; AJT; rigid insert; VAT; Lira-CAD PC; membrane forces; longitudinal forces; reinforcement; FEM