

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗКИ И НАПРЯЖЕНИЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ В ПРОГРАММНОМ МОДУЛЕ ЛИРА НА ПРИМЕРЕ КУСТА СВАЙНОГО РОСТВЕРКА

А.О. Уланов, магистрант
Братский государственный университет
(Россия, г. Братск)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-1-2-104-110

***Аннотация.** В статье приведены материалы моделирования свайного основания представленного кустом ростверка из трех конструктивных элементов для проектирования зданий и сооружений с без учета совместной работы основания и сооружения. Предлагается методика моделирования свайного основания при помощи программно-численных модулей таких как ЛИРА-САПР. Используемые методы в ЛИРА-САПР основаны на связи между тремя видами нелинейности элементов. На реальном примере проведено моделирование влияния нагрузки на свайный ростверк и выявлена взаимосвязь между нагрузкой и критическим напряжением работы конструктивного элемента. Разрушение модели произошло в установленном диапазоне при критической нагрузке 1000 т.*

***Ключевые слова:** свайное основание, свайный фундамент, куст ростверка, жесткость элемента, расчетная схема, напряжения, нагрузка, ЛИРА-САПР.*

Строительство играет важнейшую роль в экономическом развитии государства. Его эффективность во многом зависит от уровня проектирования, совершенства методов расчета и конструирования несущих элементов различных зданий и сооружений. Наиболее широко в строительстве используются свайные фундаменты. Как известно затраты на строительство фундамента могут достигать до 30% от общей стоимости всех работ по возведению зданий и сооружений, поэтому актуальными являются вопросы рационального проектирования свайных фундаментов. Для повышения технико-экономической эффективности свайных фундаментов совершенствуются методы их проектирования. Для фундаментостроения являются важными научно-технический прогресс и достижения, а также расширение технической базы строительства. Поиск оптимального проектного решения занимает существенное значение в связи с повышением экономической эффективности применения свайных фундаментов.

Ростверк представляет собой верхнюю часть столбчатого или свайного фундамента, распределяющую нагрузку от несущих элементов здания. Ростверки выполняют в виде балок или плит, которые

соединяют оголовки свай и выполняют функцию опорной конструкции для разных строящихся элементов сооружения. Главным достоинством ростверка является распределение нагрузки веса здания или сооружения на все сваи равномерно. Также ростверк фиксирует сваи, не давая им возможности смещения по различным направлениям. Ростверки свайных фундаментов относятся к малоизученным конструкциям. Действующие нормы в полной мере не содержат необходимых рекомендаций по расчету данных конструкций. Проектирование ростверков осуществляется на основе приближенных методов расчета, которые базируются на балочных аналогиях. Такой расчет даёт неудовлетворительные результаты [1-2].

В настоящее время существующие расчетные компьютерные программы с точки зрения возможности моделирования свайного основания большое разнообразие среди таких: Stark, SCAD, LIRA, и другие. Они имеют широкие возможности в оценке напряженно-деформированного состояния. Есть и такие узконаправленные геотехнические программы Plaxis 2D, Plaxis 3D, которые, напротив, имеют широкие возможности в оценке напряженно-деформированного состояния оснований.

А также программы ЛИРА-САПР, MicroFe, FemModels и другие позволяют моделировать расчетную схему в виде системы «фундаменты – надфундаментные конструкции» с различным набором особенностей: сваи в виде стержневых конечных элементов с ограничением допускаемой нагрузки [3-4].

Цель работы - рассмотреть способ моделирования куста ростверка методом шаговой «прогонки» в программе ЛИРА-САПР. В основе программного продукта лежит база нормативной литературы и теорий ученых, используемых при проектировании свайного фундамента на территории нашей стране, а также решение осуществляется шаговоитерационным методом, где шаг и количество итераций задается оператором программы. Необходимо выполнить пример расчета модели Лира-САПР и сделать выводы по процессу моделирования картины разрушения конструктивного элемента фундамента.

Ростверк является элементом свайного фундамента, опирающимся на куст свай. Современные программные комплексы и модули позволяют выполнять моделирование объемного основания с включением стержневых элементов (арматуры). Программные обеспечения в области строительства позволяют учитывать физическую нелинейность материалов совместно с линейным расчётом, что позволяет не пересчитывать целую задачу два раза. [1, 2, 5].

Процессор программы осуществляет пошаговое нагружение исследуемой конструкции и обеспечивает решение внутреннего модуля системы уравнений. На каждом шаге производится оценка напряженно-деформированного состояния. Моделирование физической нелинейности материалов конструкций производится с помощью специальных физически нелинейных конечных элементов, для которых реализована нелинейная зависимость $\sigma - \varepsilon$. Учёт физической, геометрической и конструктивной нелинейностей позволяет

приблизить модель к реальной работе конструкции. Критериями разрушения конструкций служит геометрическая изменчивость системы на определенном шаге: согласно диаграмме деформирования лавинообразный рост деформаций и перемещений системы. При достижении критических показателей конструкции выдается сообщение «разрушение конструкции» и дальнейший процесс расчета прекращается [5-6].

Для решения поставленной задачи необходимо задать геометрические параметры и данные материалов ЖБК исследуемого элемента:

Железобетонный ростверк с опертой на него колонной и тремя сваями имеет следующие характеристики, взятые из [1, 5-6]: Бетон В25; Коэффициент Пуассона $\nu=0,2$; Расчетное сопротивление бетона класса В25 по прочности на осевое сжатие $R_b=14,5 \text{ МПа} = 1449 \text{ т/м}^2$; Расчетное сопротивление бетона класса В25 по прочности на осевое растяжение- $R_{bt}=1,05 \text{ МПа} = 105,1 \text{ т/м}^2$; Значение начального модуля упругости бетона В25 при сжатии и растяжении- $E_b=30 \cdot 10^3 \text{ МПа} = 3060000 \text{ т/м}^2$; Рабочая арматура ростверка- А400Ø16 Расчетное сопротивление рабочей арматуры А400 растяжению (R_s) и сжатию (R_{sc}) $350 \text{ МПа} = 35690 \text{ т/м}^2$;

Железобетонный монолитный ростверк толщиной 1400мм, три сваи, каждая диаметром 800мм, колонна нагружения сечением 700*700мм. Вертикальная нагрузка от колонны 1250т. Армирование: В ростверке в растянутой зоне на расстоянии 70мм (защитный слой) от подошвы ростверка расположена рабочая арматура в виде сетки со стержнями А400Ø16 с шагом 200мм. Колонна по всей длине армирована стержнями А400Ø36 с шагом 100мм, стержни обвязаны хомутами А400Ø8 с шагом 200мм. Сваи имеют армирование стержнями А400Ø36 с шагом 200мм.

Следующим шагом необходимо задать жёсткостные параметры для дальнейшего выполнения заданной задачи рисунок 1.

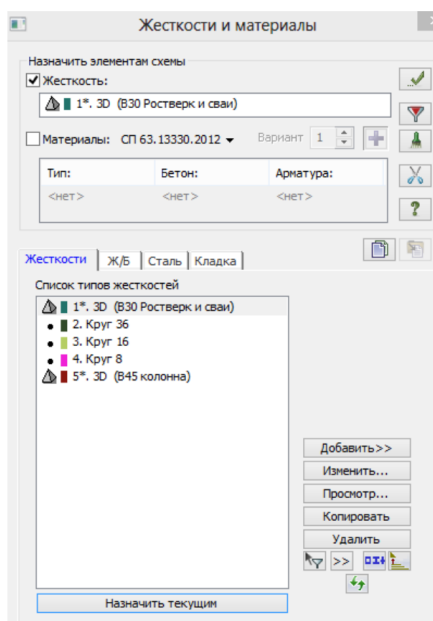
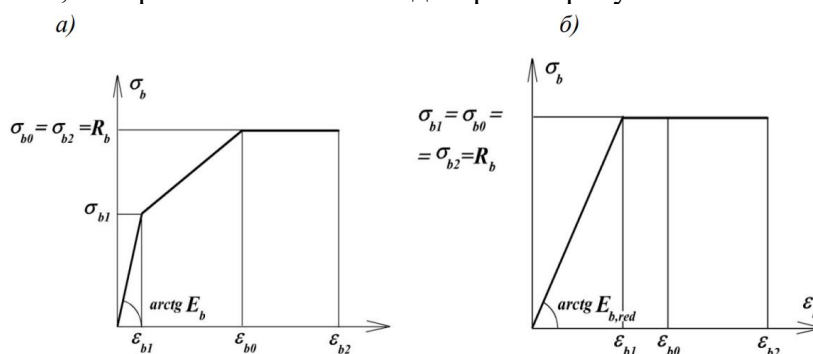


Рис. 1. Команда жёсткости и материалы для модели

В основе критической оценки «нагрузка-напряжения» разрушения элемента лежит теория сжатого бетона, которая описывается по диаграмме рисунок 2.



а) трехлинейная диаграмма состояния сжатого бетона; б) двухлинейная диаграмма состояния сжатого бетона

Рис. 2. Диаграмма состояний сжатого бетона

Где:

E_b – начальный модуль упругости

ϵ_{b0} и ϵ_{b1} предельные относительные деформаций бетона при осевом сжатии и растяжении (при однородном напряженном состоянии бетона);

σ_b сжимающие напряжения бетона

ϵ_b относительная деформация укорочения бетона

При исследовании характера разрушения железобетонных элементов при статических нагрузках был использован закон нелинейного деформирования материала: Кусочно-линейный закон деформирования [7-8];

Последующие шаги моделирования поведения куста ростверка, состоящих из нескольких элементов приведём в таблице 1. Для моделирования расчета модели ростверка было принят диапазон 6-12 шагов.

Пользование функцией «моделирование нелинейных загрузжений» позволяет учесть физическую и геометрическую нелинейность работы конструкции в «ЛИРА-САПР». Так как нагрузка (рис.3) прикладывается последовательно, этапами, необходимо задействовать шаговый процессор [9].

Для моделирования выбрана теория [10-11].

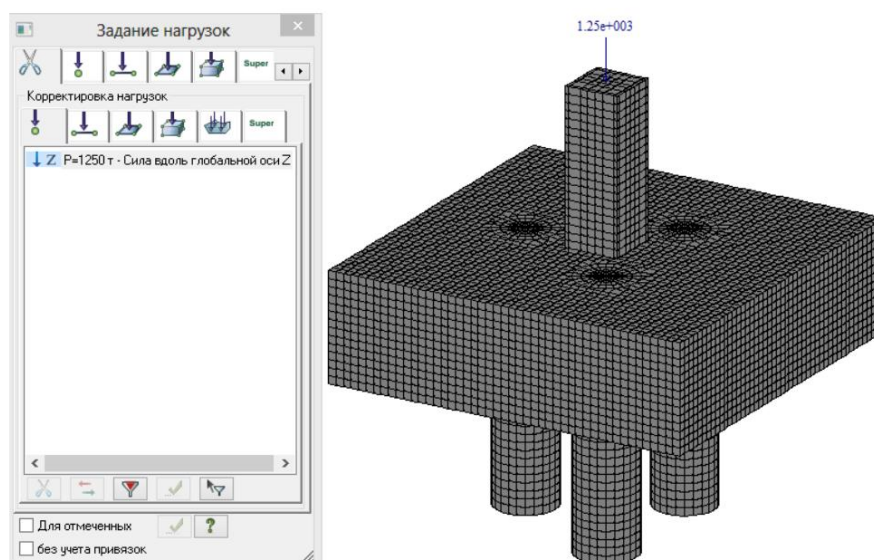
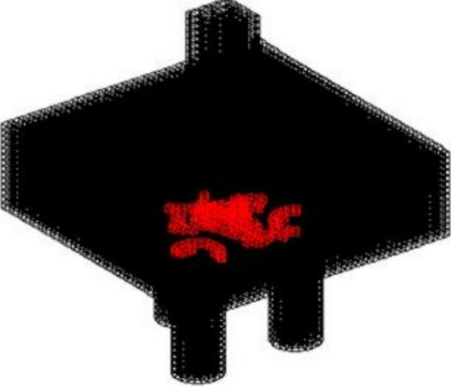

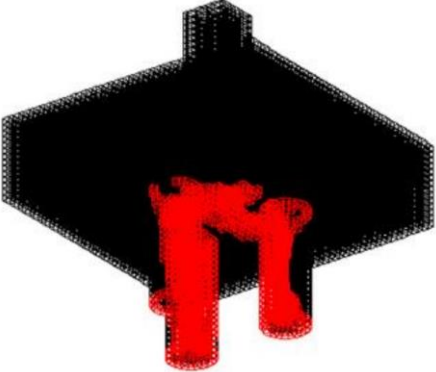

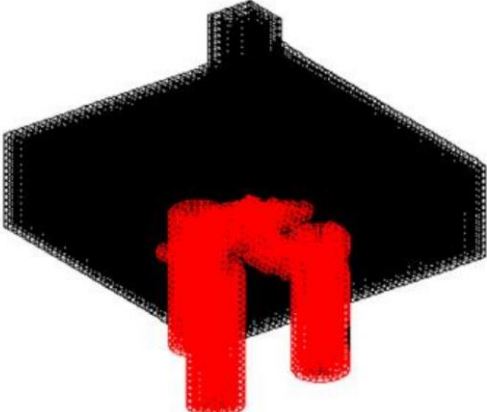
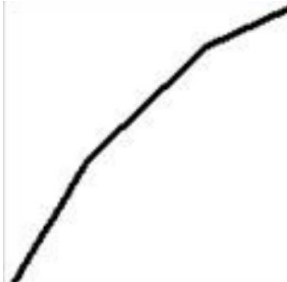
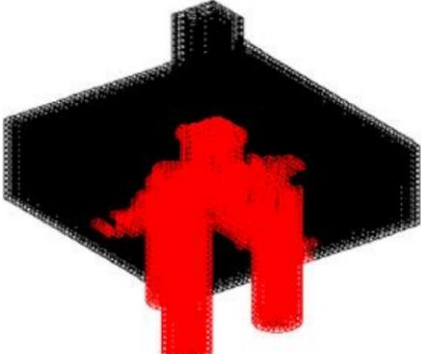



Рис. 3. Приложение нагрузки к центральному узлу

Таблица 1. Шаги разрушения куста ростверка трехсвайного

№ п/п шага	Иллюстрация поведения модели	Диаграмма деформирования/ комментарий
1		
2		
3		 Начало продавливаемости зоны контакта и по границам свай

4		 <p>начинается разрушение ростверка, разрушающая сила составляет 500т</p>
5		 <p>распространение напряжений повсеместно на сваи</p>
6		
7		
8	-	<p>Расчетное разрушение модели произошло на 8 ступени(шаге) при нагрузке 1000т (10 000кН).</p>

*В целях краткости изложения, если иллюстрация напряжений не имеет изменения осуществим объединение шагов (1-2)

После разрушения может видеть, как связано загрузение арматурной сетки ростверка. Можно сказать, что в области контакта ростверка с колонной обозначена

зона наиболее воспринимающая нагрузку $< 1/10$ от площади сетки. Работу арматуры в ростверке можно считать неэффективной.

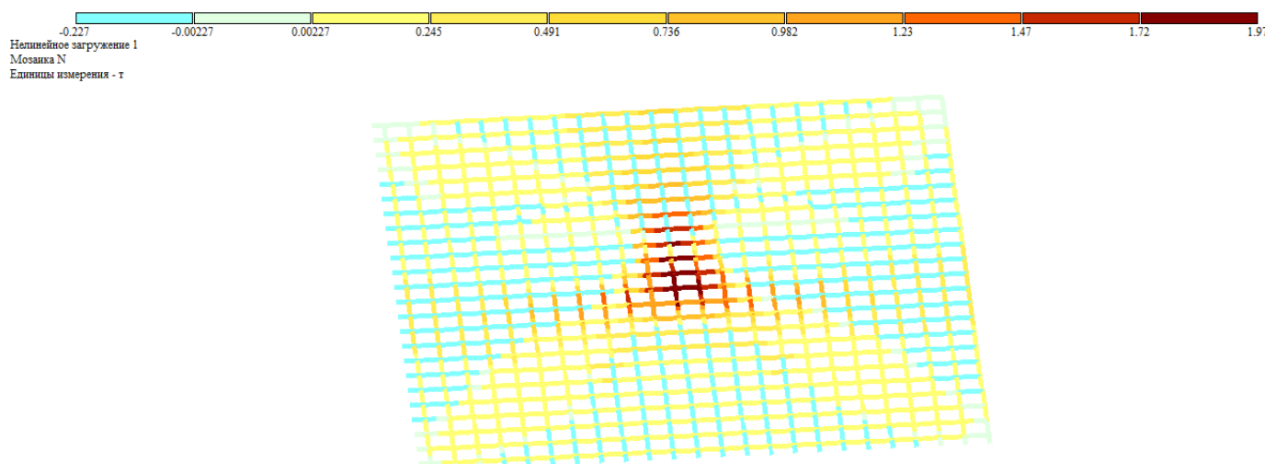


Рис. 4. Нелинейное нагружение арматурной сетки продольных напряжений (т)

Заключение. Проведено моделирование влияния нагрузки на свайный ростверк и выявлена взаимосвязь между нагрузкой и критическим напряжением работы конструктивного элемента. Установлена критическая нагрузка моделирования между сечением колонны и свайным кустом из трех конструктивных элементов, куст ростверка трехсвайного начал процесс разрушения при нагрузке 500т, а при нагрузке в 1000т на восьмом шагу произошло критическое разрушение модели. ЛИРА-САПР позволяет решать широкий круг вопросов связанный с фундаментостроением, моделированием и расчетом условий, как в нашем случае. По характеру разрушения куста ростверка сделан вывод, что нижняя часть подвержена наибольшим растягивающим напряжениям, в связи с тем, что концентрация напряжений в данной зоне велика. В момент воспринимаю-

щей нагрузки от колонны ростверк разрушался без включения рабочей арматуры, что говорит об низкой несущей способности элемента. Подобран диапазон числа шагов, на восьмом произошло разрушение.

В последующих работах проведенное моделирование послужит примером для сравнения поведения воспринимающей нагрузки и распределения по конструктивному элементу концентрации напряжений, что будет полезно при расчетах и проектировании фундамента зданий и сооружений. Так же в основу будущих изучений будет положено сравнение различных параметров, влияющих на несущую способность элемента.

В будущем необходимо учесть устройство арматурной сетки и ее параметров, которые могли повлиять на проведенное моделирование.

Библиографический список

1. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений.
2. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. – М.: Минрегион России, 2010. – 86 с.
3. Кравченко В.С., SCADStructure. Расчет оснований и фундаментов. Руководство пользователя / В.С. Кравченко, Э.З. Криксунов. – М., 2006. – 33 с.
4. PLAXIS Finite Element Code for Soil and Rock Analyses. Руководство пользователя. – СПб.: НИПИнформатика, 2004. – 274 с.
5. СП 63.13330.2012 "Бетонные и железобетонные конструкции"
6. Коваленко, Г.В. Основы проектирования железобетонных конструкций заводского изготовления: учебное пособие / Г.В. Коваленко, И.В. Дудина. – Братск: БрГУ, 2010. – 234 с.
7. Кумпяк О.Г. и др. Железобетонные и каменные конструкции. Учебник. Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: Издательство АСВ. – 2014. – 672 с.

8. Бондаренко В.М. Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций: Учеб. пособие / В.М. Бондаренко, В.И. Римшин. – М.: Высш. шк., 2006. – 504 с.
9. Стрелец Е.Б, ЛИРА–САПР. Книга I. Основы. / Е. Б. Стрелецкий, А.В. Журавлев, Р.Ю. Водопьянов. – Издательство LIRALAND, 2019.– 154 с.
10. Гениев Г.А., Теория пластичности бетона и железобетона. / Гениев Г.А. Киссюк В.Н., Тюпин Г.А. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.
11. Давидюк А.Н, Бетонные и железобетонные конструкции. Нелинейные расчеты при проектировании: методическое пособие / А.Н. Давидюк, И.И. Ведяков, П.Д. Арленинов, Е.Е. Гончаров. – М., 2017. – 106 с.
12. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 54 с.

SIMULATION OF THE LOAD AND STRESS OF THE BEARING CAPACITY IN THE LIRA SOFTWARE MODULE ON THE EXAMPLE OF A PILE GRIDGAGE BUSH

A.O. Ulanov *Graduate Student*

Bratsk State University

(Russia, Bratsk)

Annotation. *The article presents materials for modeling a pile foundation represented by a bush grillage of three structural elements for the design of buildings and structures without taking into account the joint work of the foundation and structure. A technique for modeling a pile foundation using numerical software modules such as LIRA-CAD is proposed. The methods used in LIRA-CAD are based on the relationship between three types of non-linearity of elements. Using a real example, the simulation of the impact of the load on the pile grillage was carried out and the relationship between the load and the critical stress of the structural element was revealed. The destruction of the model occurred in the established range at a critical load of 1000t.*

Keywords: *pile foundation, pile foundation, grillage bush, element stiffness, design scheme, stresses, load, LIRA-CAD.*