

Кременцова А.А.

студент магистратуры

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-

строительный университет

Россия, г. Санкт-Петербург

Воронцова Н.С.

кандидат технических наук

доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции»

Санкт-Петербургский государственный

архитектурно строительный университет

Россия, г. Санкт-Петербург

**ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТАТИЧЕСКИ
НЕОПРЕДЕЛИМЫХ ФИБРОЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Аннотация: В строительной практике статически неопределимые элементы встречаются достаточно часто. Такие элементы, следует рассчитывать с учетом перераспределения усилий. Статически-неопределимые элементы из железобетона, изучены достаточно широко и всеобъемлюще. В современном же мире обретает популярность такой материал, как фиброжелезобетон, исследования по которому в области перераспределения усилий отсутствуют. В данной статье решена задача численного исследования по программном комплексе SAP 2000. Произведено моделирование статически-неопределимой многопролетной балки, решение задачи выполнено в нелинейной постановке. Проанализированы полученные данные, характеризующие напряженно-деформированное состояние статически неопределимых фиброжелезобетонных элементов.

Ключевые слова: фиброжелезобетон, бетон, фибра, перераспределение моментов, пластический шарнир, метод предельного равновесия

Annotation: *In construction practice, statically indeterminate elements are quite common. Such elements should be designed taking into account the redistribution of forces. Statically indeterminate reinforced concrete elements have been studied extensively and comprehensively. In the modern world, a material gaining popularity is fiber-reinforced concrete, for which research on force redistribution is lacking. This article addresses the numerical investigation task using the SAP 2000 software suite. The modeling of a statically indeterminate multi-span beam was carried out, and the problem was solved in a nonlinear formulation. The obtained data characterizing the stress-strain state of statically indeterminate fiber-reinforced concrete elements were analyzed.*

Key words: *fiber-reinforced concrete, fiber, moment distribution process, plastic hinge, method of limit equilibrium.*

В современном строительстве зачастую встречаются статически-неопределимые конструкции, которые отличаются от статически-определимых возникновением такого явления, как перераспределение усилий. Рассчитывать такие элементы следует по методу предельного равновесия, благодаря которому возможно учесть скрытые резервы, выполнить сечения более экономичными, произвести унификацию сечений и армирования для железобетонных элементов. Метод предельного равновесия рассматривался многими учеными, такими как Гвоздев А.А., Крылов С.М., Назаренко В.Г. и многими другими. В последствии, была создана инструкция по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций с практическими рекомендациями по расчету по методу предельного равновесия.

В современном мире обретает популярность такой материал, как фиброжелезобетон, обладающий выгодными характеристиками, в сравнении

со стандартным железобетоном: повышенная трещиностойкость и долговечность.

В настоящее время отсутствуют исследования напряженно-деформированного состояния фиброжелезобетонных статически-неопределимых элементов. Их изучение позволило бы использовать фиброжелезобетонные элементы более эффективно.

В текущей статье рассматривается статически неопределимая конструкция: многопролетная неразрезная балка в различных вариациях: из железобетона, из фиброжелезобетона с различными процентами армирования (1%, 1,5%, 2% и 2,5%).

Численный эксперимент был выполнен в программном комплексе SAP 2000. Балки моделировались стержневыми элементами.

В существующей нормативной литературе указывается необходимость использования диаграмм деформирования при расчете по нелинейно-деформационной модели [1, 2].

Для каждого из рассматриваемых элементов были заданы материалы со следующими законами нелинейного деформирования (см. рисунок 1 и 2):

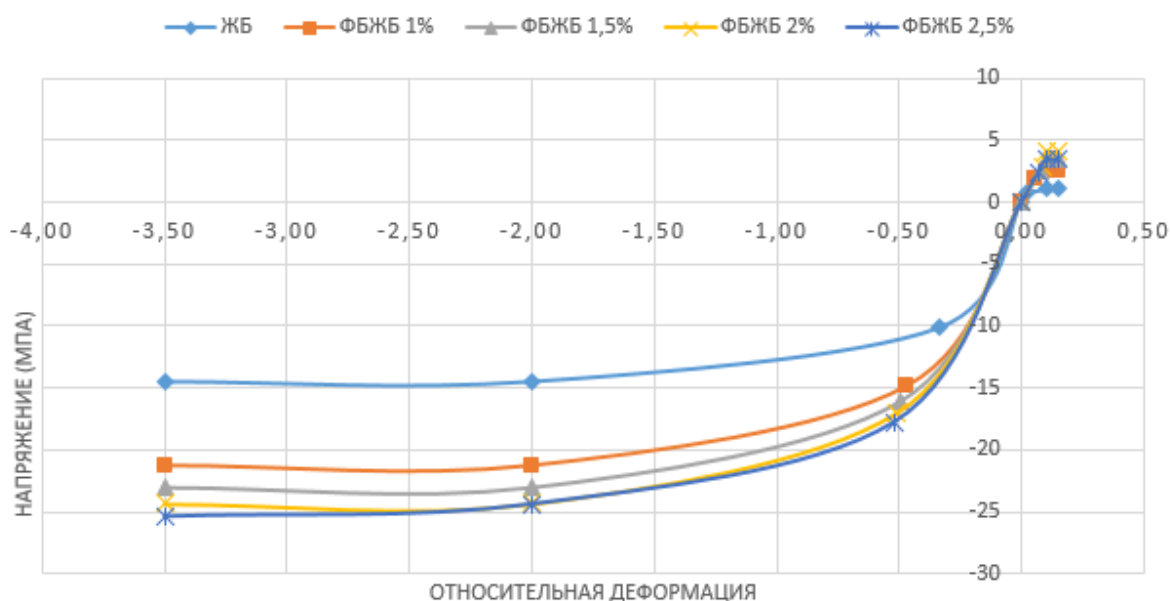


Рисунок 1. График «Напряжения-деформации» для бетона и фибробетона

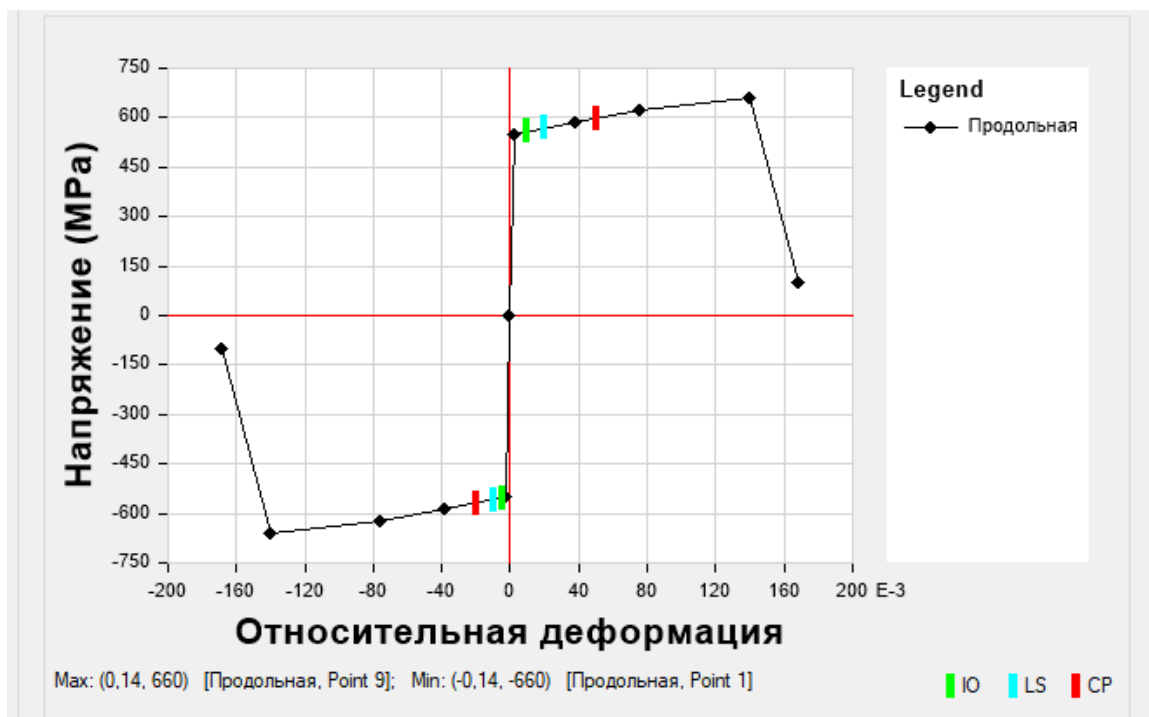


Рисунок 2. График «Напряжения-деформации» для арматуры

В данном программном комплексе существует возможность задания нелинейных шарниров, в которых можно рассмотреть напряжения и деформации, соответствующие реальному закону нелинейного деформирования материалов. Для всех балок в концах каждого из пролетов, как в местах концентрации максимальных моментов, были замоделированы данные шарниры.

В начале, рассмотрим значения усилий и прогибов в данной балке, полученных по линейному расчету (см. рисунок 3 и таблицу 1):



Рисунок 3. Эпюра моментов, полученная по линейному расчету

Прогибы в данном расчете вычисляются при пониженной жесткости с коэффициентом 0,3, как для горизонтальных элементов, по рекомендациям в СП 430.1325800.2018 [3].

Прогибы в крайнем пролете балки по линейному расчету

	ЖБ	ФБЖБ 1%	ФБЖБ 1,5%	ФБЖБ 2%	ФБЖБ 2,5%
Прогиб в крайнем пролете балки	16,06	15,2	14,8	14,426	14,8

По результатам линейного расчета получим значения площадей требуемого армирования в балках (см. рисунок 4).

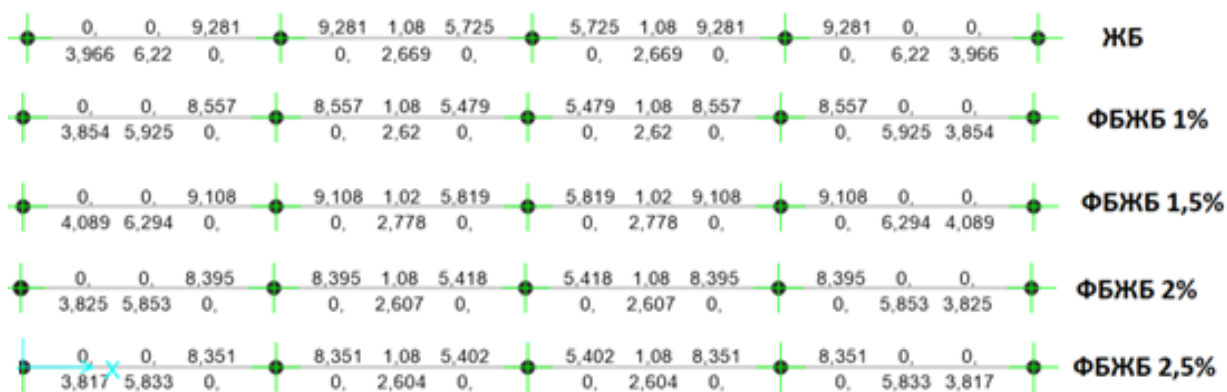


Рисунок 4. Требуемое армирование по результатам линейного расчета

По результатам линейного расчета видно, что прогибы в фиброжелезобетонных элементах ниже, а регулярного армирования требуется меньше.

Для моделирования перераспределения усилий зададим армирование следующим образом: уменьшим опорное армирование на 30%, и пропорционально увеличим в пролетной зоне.

Получим значения моментов в балках после нелинейного расчета (см. рисунок 5).

По результатам видно, что наибольшая разница моментов возникает в железобетонной балке, а наименьшая в фиброжелезобетонном элементе с 2% процентами фибрового армирования.

Рассмотрим напряженно-деформированное состояние в балках на наиболее нагруженном участке: на второй опоре (см. рисунки б-10).

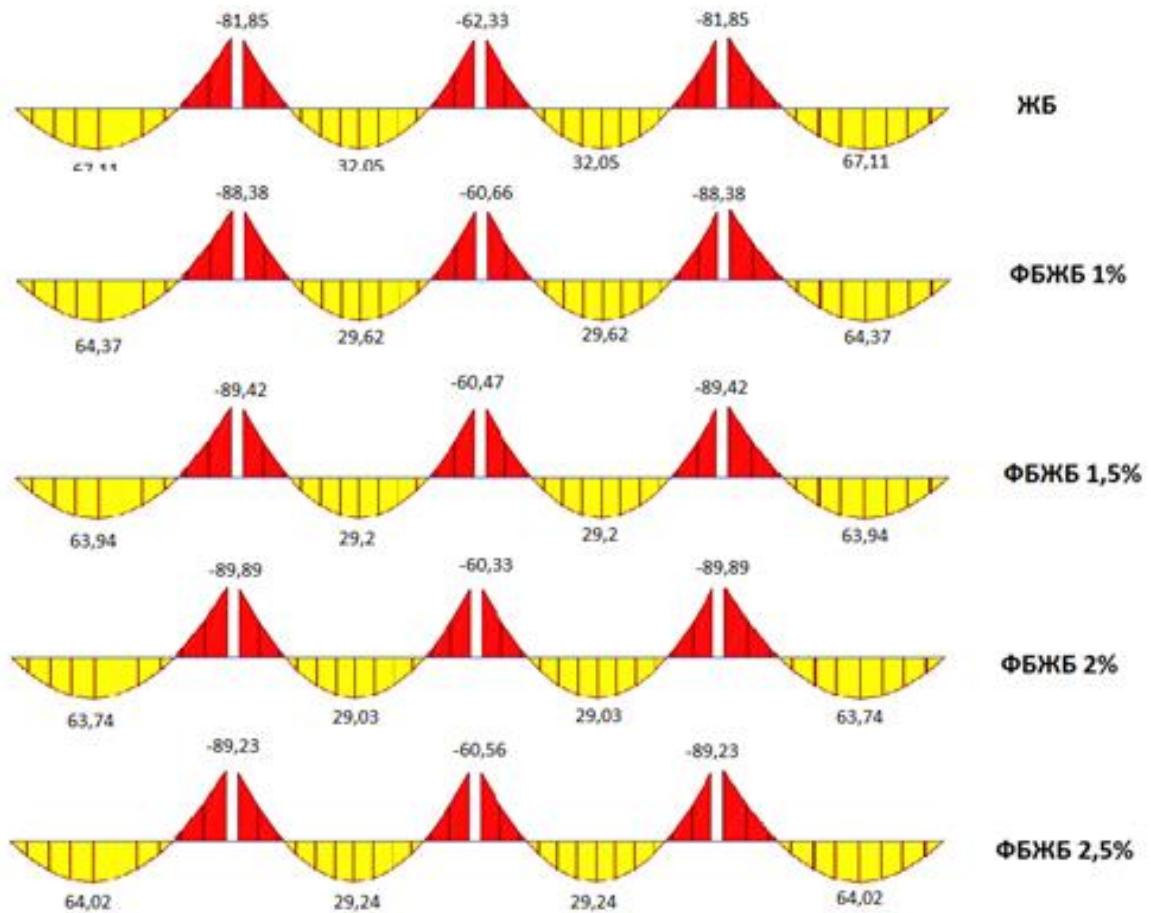


Рисунок 5. Эпюры моментов после перераспределения усилий

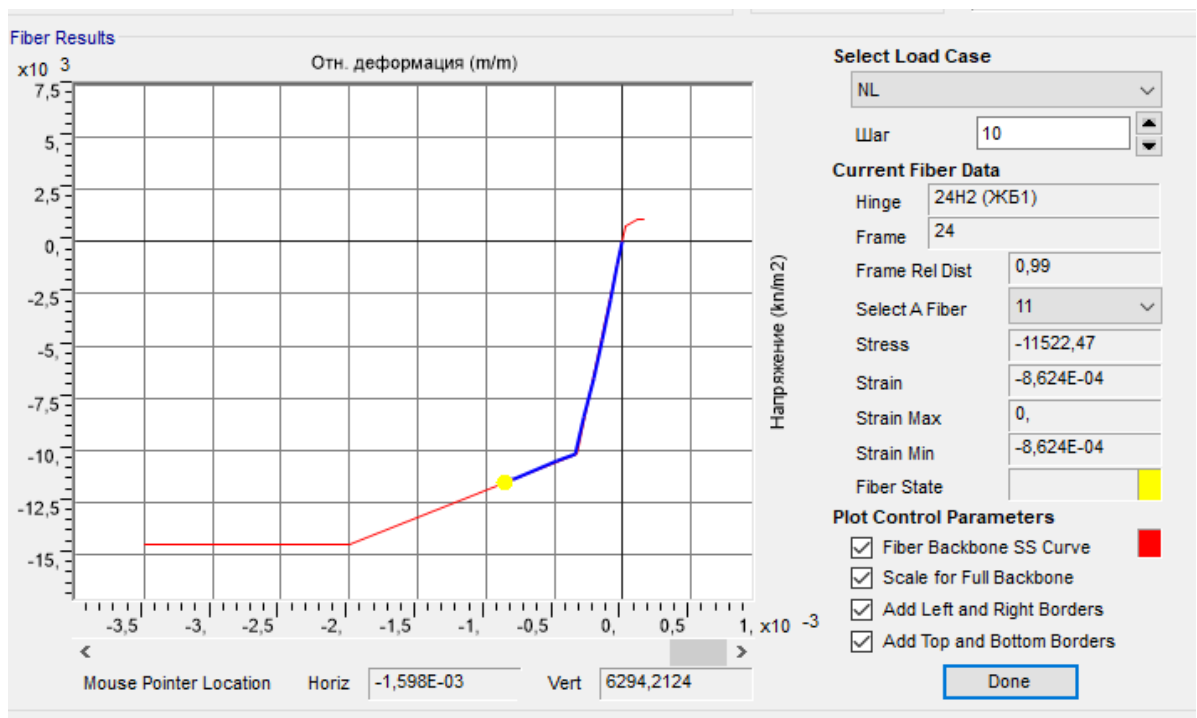


Рисунок 6. График «Напряжения-деформации» в сжатой зоне элемента ЖБ

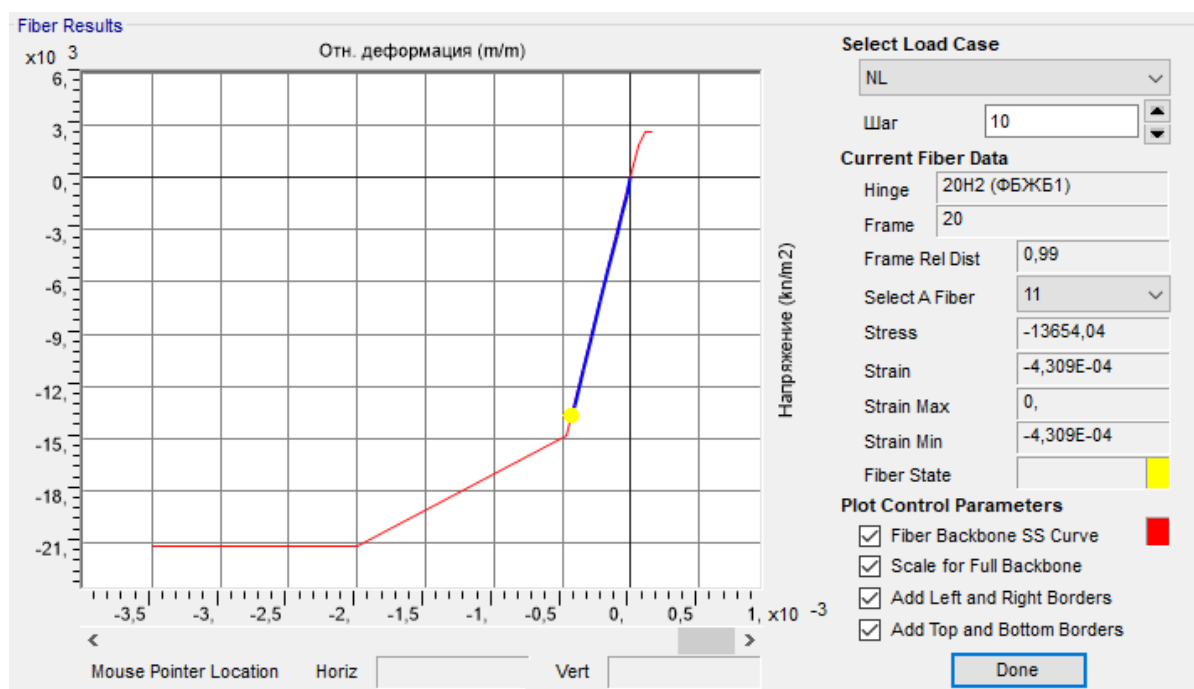


Рисунок 7. График «Напряжения-деформации» в сжатой зоне элемента ФБЖБ 1%

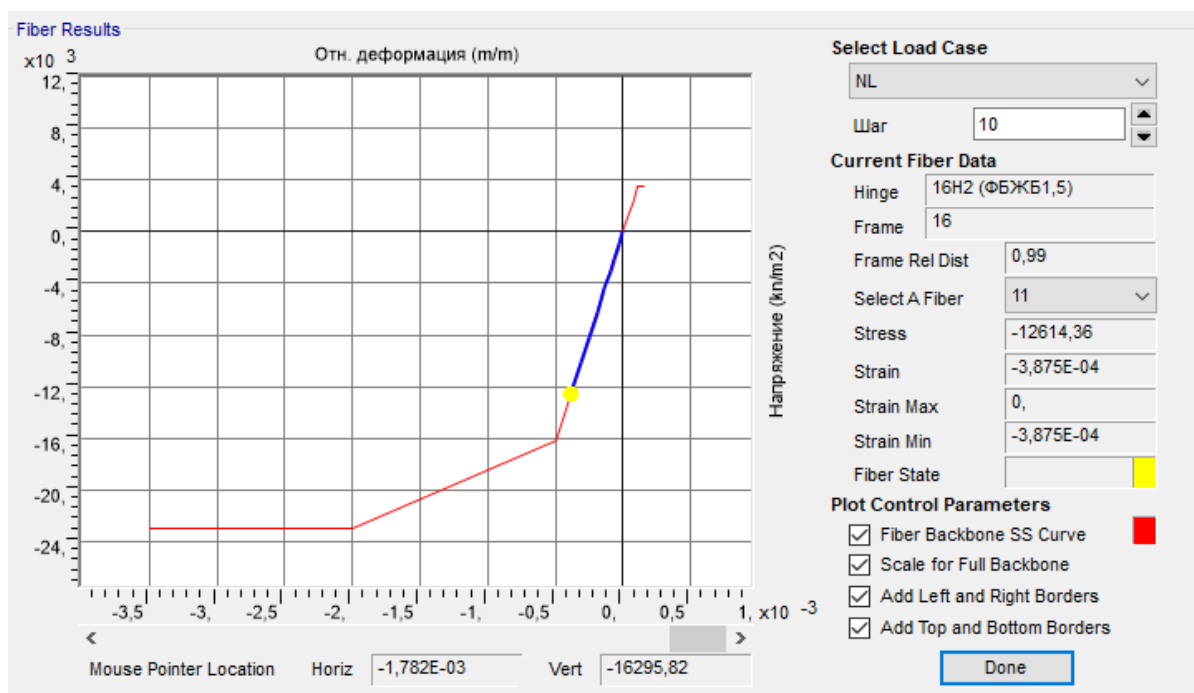


Рисунок 8. График «Напряжения-деформации» в сжатой зоне элемента ФБЖБ 1,5%

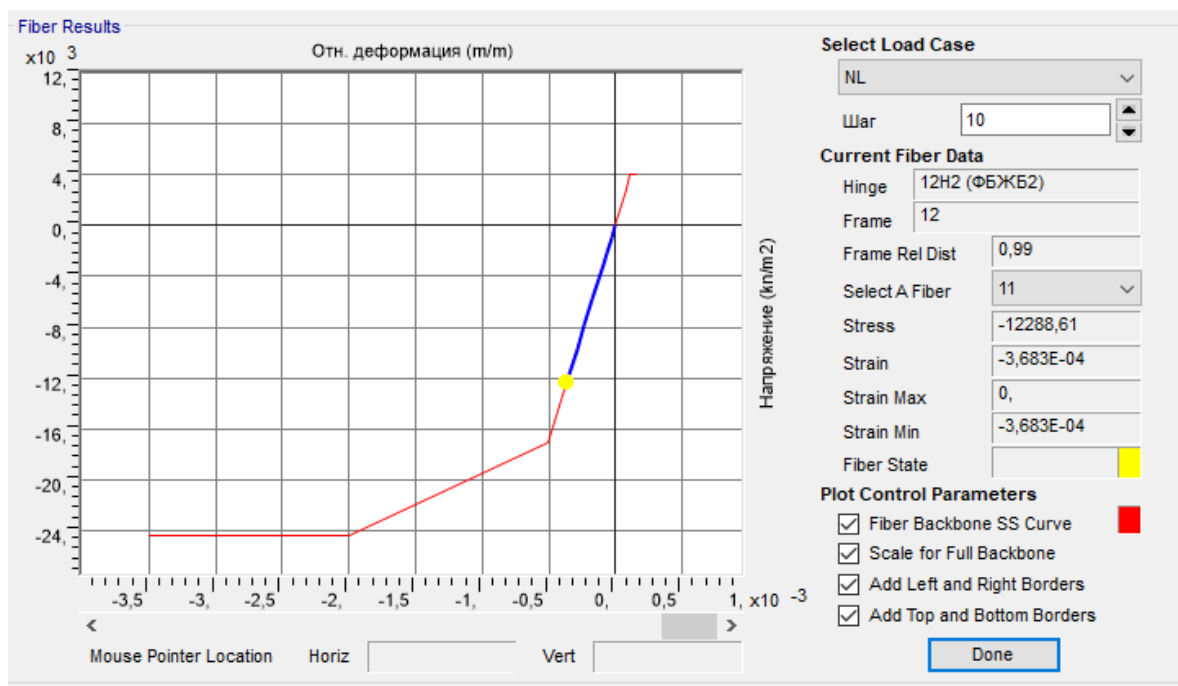


Рисунок 9. График «Напряжения-деформации» в сжатой зоне элемента ФБЖБ 2%

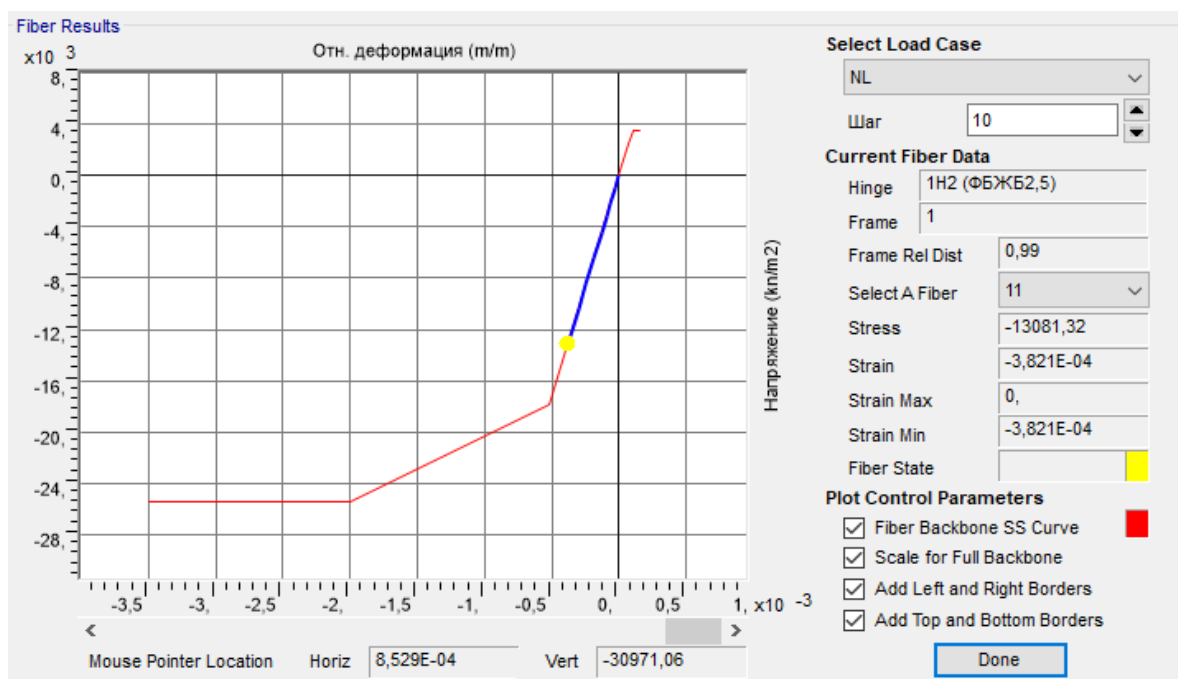


Рисунок 10. График «Напряжения-деформации» в сжатой зоне элемента ФБЖБ 2,5%

По текущим результатам видно, что при уменьшении армирования в опорной зоне на 30 %, только в железобетонных элементах работа бетона переходит в пластическую стадию.

Напряжения в растянутой арматуре на опоре достигли предела текучести только у железобетонных элементов, а ширина раскрытия трещин элементов превысила допустимое значение.

При этом, напряжения и деформации в фиброжелезобетонных элементах удовлетворяют по обеим группам предельных состояний: напряжения в арматуре не достигли предела текучести, прогибы и ширина раскрытия трещин меньше предельно допустимых значений.

По результатам численного эксперимента наблюдаются следующие выводы. При одинаково заданных условиях, наиболее эффективно перераспределение усилий произошло в фиброжелезобетонной балке с 2 процентами фибрового армирования.

Библиографический список

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения
2. СП 360.1325800.2017 Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования.
3. СП 430.1325800.2018 «Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования»
4. Инструкция по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций с учетом перераспределения усилий. — 2-е изд. — М.: Госстройиздат, 1961. — 111 с.