

Д.А. Оканов¹, И.М. Полякова²

^{1,2}Международная образовательная корпорация (кампус КазГАСА),
Алматы, Казахстан

СРАВНЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ФЕРМ ПРИ ЛИНЕЙНОЙ И НЕЛИНЕЙНОЙ ПОСТАНОВКАХ ЗАКОНА ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Аннотация. В статье рассматриваются расчеты некоторых конструкций при различных законах деформирования. Приняты три закона: линейный, нелинейный экспоненциальный, нелинейный с ниспадающей ветвью с учетом ползучести бетона. В результате расчета приведены результаты по различным усилиям, приведены сравнительные характеристики и сделаны выводы о работе конструкций и о работе материалов.

Ключевые слова: линейный закон, нелинейный, экспоненциальный закон, ниспадающая ветвь, усилия, армирование.

Введение

В современной строительной промышленности очень мало объектов, физические свойства которых можно было бы описать линейными законами. В основном, значительная часть свойств объясняется нелинейными формулами зависимости деформаций от напряжений.

Расчеты линейных зависимостей между напряжениями и перемещениями (обусловленные недеформируемой расчетной схемой и законом Гука) в настоящее время стали считаться приближенными, хотя умелые специалисты еще долго будут использовать данный метод расчета конструкции с наименьшими погрешностями.

С другой стороны, возведение уникальных по габаритам зданий и сооружений обусловлено отсутствием аналогов, вследствие чего требует глубокого расчетного анализа, который может учитывать специфические факторы работы конструкций в процессе всего жизненного цикла. Одной из наиболее важных характеристик поведения конструкции является физическая нелинейность, которая возникает в процессе нагружения между напряжениями и деформациями. Эта нелинейность усложняет алгоритм, поэтому многие современные строительные расчеты проводятся в упругой стадии, что приводит к завышенным результатам, не соответствующим реальной работе конструкции. В связи с этим необходима разработка таких моделей конструкций, которые достаточно полно и однозначно подтверждают исследуемые объекты и процессы их деформации.

Расчет по нелинейному закону позволяет наблюдать значительные эффекты работы конструкции такие, как перераспределение сил с более нагруженных элементов на менее нагруженные, увеличение перемещений во времени за счет реологических свойств материала (ползучести и т.д.).

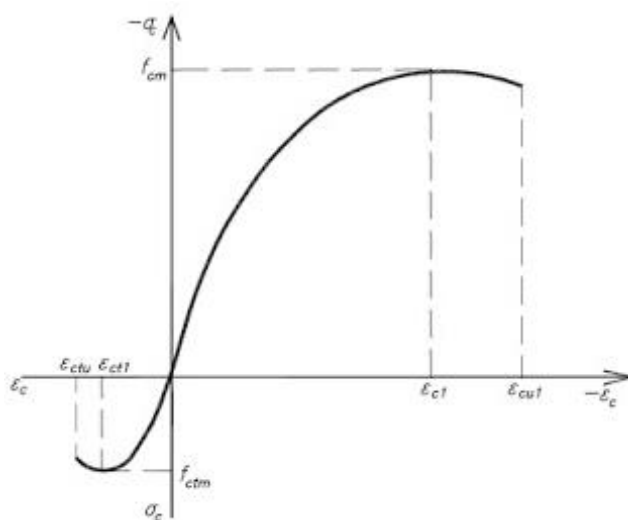


Рис. 1 – Диаграмма состояния бетона при нелинейных расчетах конструкции

Новизна

1. Расчет реальных конструкций по 1 закону нелинейного деформирования материалов – экспоненциальному закону деформирования [1, 2, 3].
2. Расчет реальных конструкций по 2 закону – закону нелинейного деформирования бетона с ниспадающей ветвью (по Еврокоду 2) [4, 5, 6].

Задачи

1. Выявить различие в работе конструкций при линейной и нелинейной постановке 1 закона.
2. Выявить различие в работе конструкций при линейной и нелинейной постановке 2 закона.

Основная часть

Несущими конструктивными элементами в рассматриваемой расчетной схеме являются колонны и фермы. Размеры здания в плане 24м*48м. Высота колонн 9,6м. Общая высота 12 м. Размеры колонн 50м*50 м. Длина фермы – 24 м. Шаг колонн – 6 м. Основным типом сечения является брус, который применяется для всех элементов.

Рассмотрим схему конструкции, состоящую из пространственного каркаса в виде колонн и опирающихся на них ферм. Сечения элементов ферм выполнены прямоугольными 15х15 см, колонны – сечением 40х40 см. Вся конструкция находится под воздействием собственного веса и внешних нагрузок. Вид расчетной схемы представлен на рисунке 2. Первый расчет выполнен при линейной постановке задачи, т.е. выполняется классический закон Гука зависимости «напряжение – деформация»: $\sigma = E\varepsilon$.

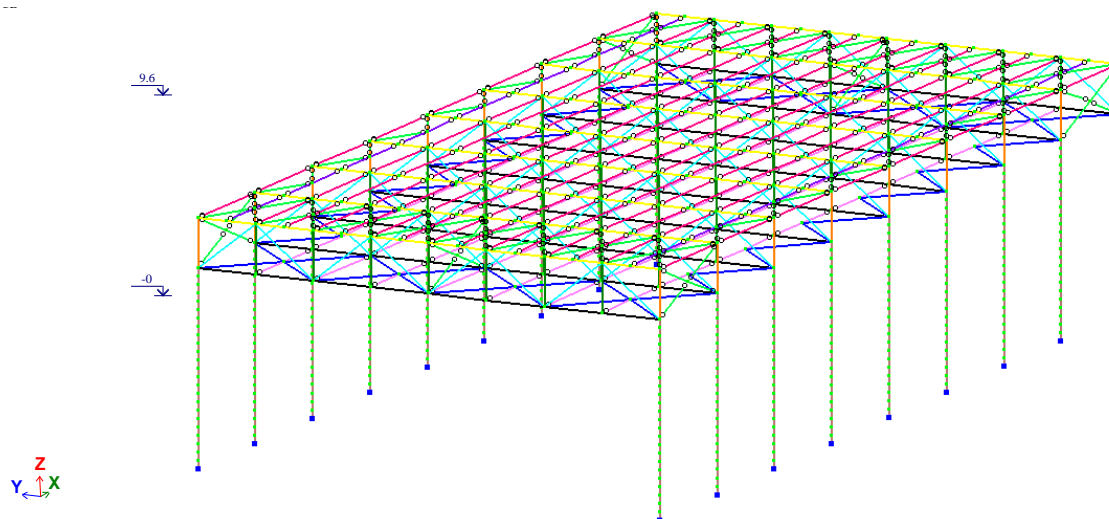


Рис. 2 – Общая схема

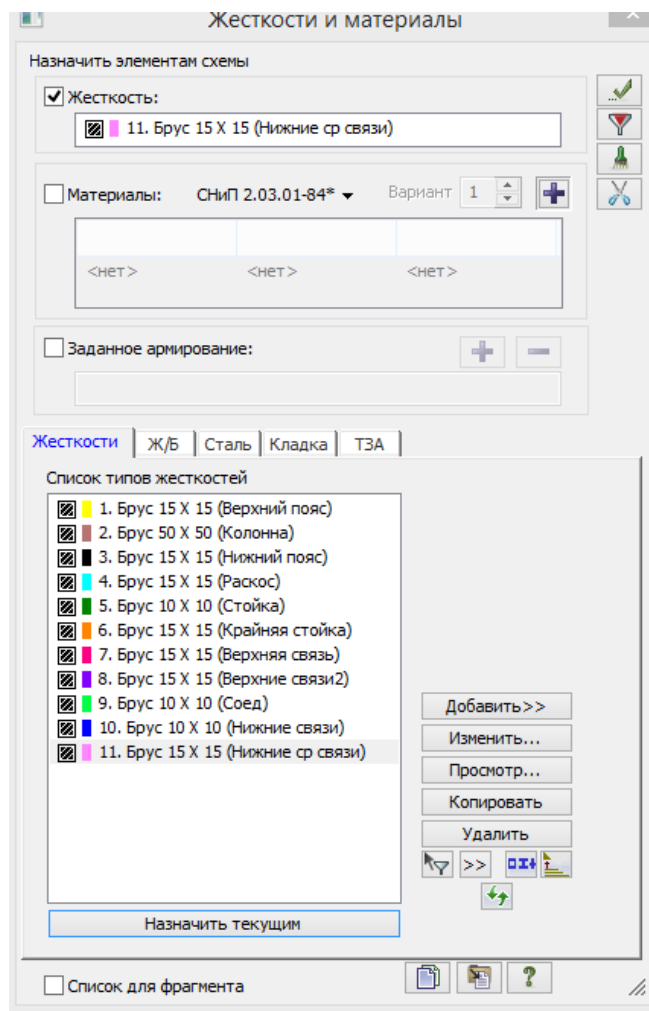


Рис. 3 – Жесткости и материалы

Полученный в результате расчета процент армирования для колонн и ферм показаны на рисунках 4 и 5.

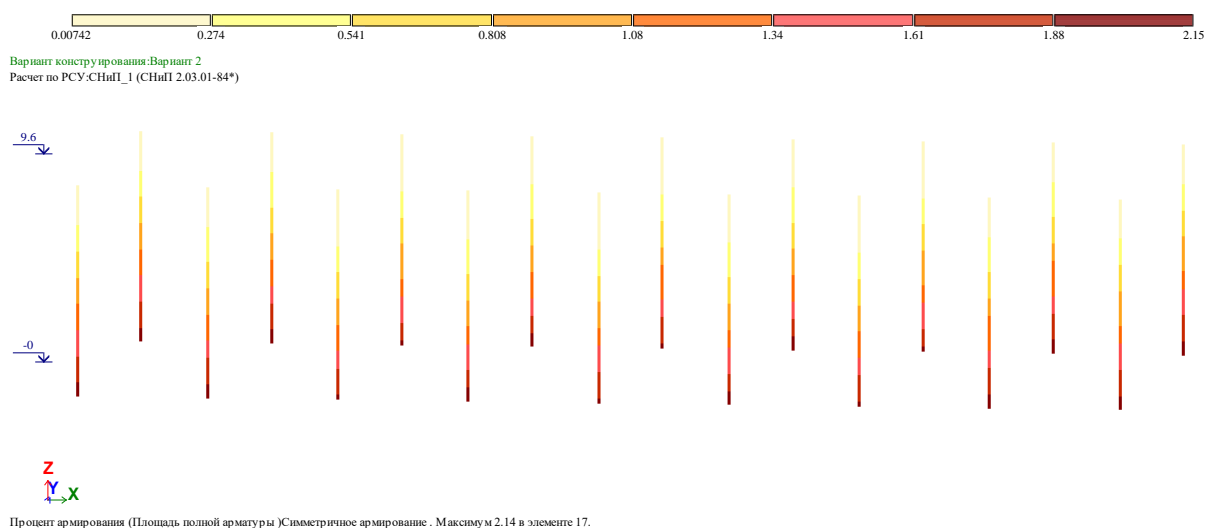
Расчет по линейному закону:

Рис. 4 – Процент армирования (Площадь полной арматуры)
Симметричное армирование. Максимум 2.14 в элементе 17

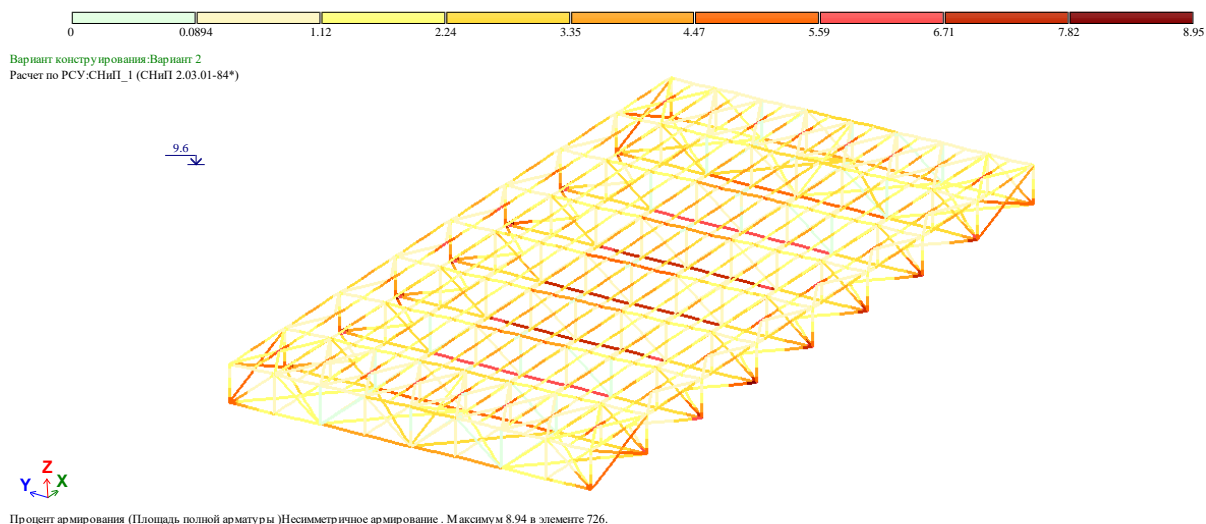


Рис. 5 – Процент армирования (Площадь полной арматуры).
Несимметричное армирование. Максимум 8,04 в элементе 726

Расчет по нелинейному закону 1:

Для любой экспоненциально растущей величины имеет значение тот факт, что чем большее значение принимает аргумент (относительная деформация), тем в разы быстрее растет функция (напряжение). Также это означает, что величина зависимой переменной и скорость ее роста прямо пропорциональны. Но при этом, в отличие от гиперболической, экспоненциальная кривая никогда не уходит в бесконечность за конечный промежуток времени.

Экспоненциальный рост в итоге оказывается более быстрым, чем любой степенной и, тем более, любой линейный рост.

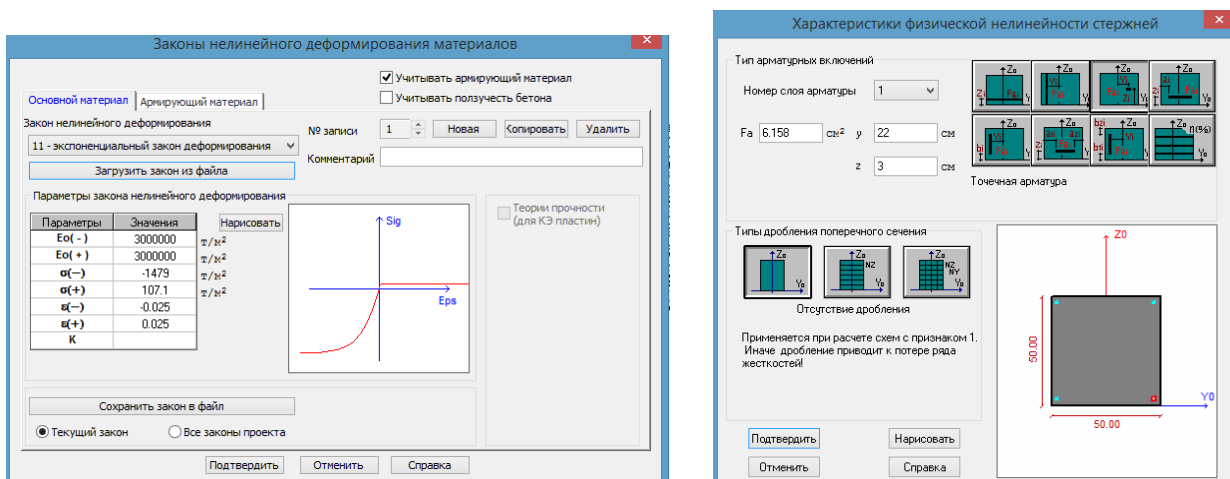


Рис. 6 – Параметры 1 закона нелинейного деформирования

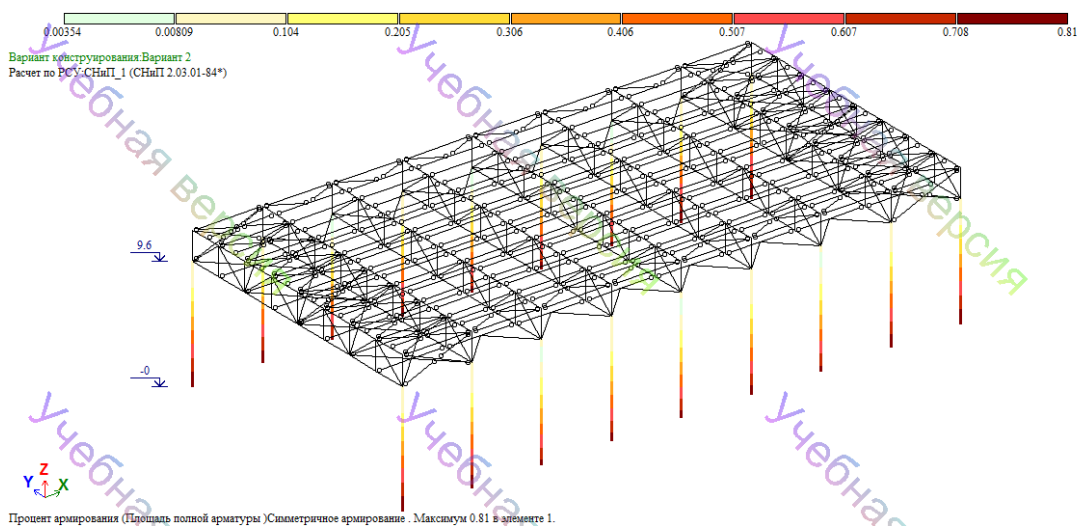


Рис. 7 – Процент армирования в колоннах (Площадь полной арматуры). Симметричное армирование. Максимум 0.81 в элементе 1.

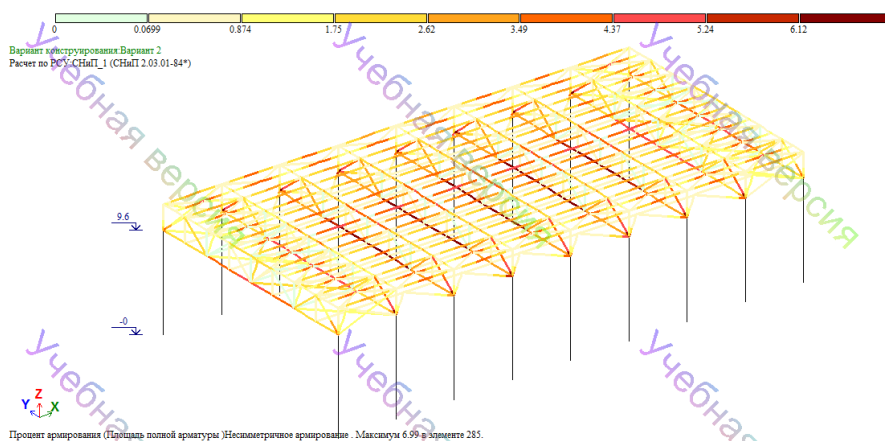


Рис. 8 – Процент армирования в фермах (Площадь полной арматуры). Несимметричное армирование. Максимум 6.99 в элементе 285.

Расчет по нелинейному закону 2:

Второй закон нелинейности – закон нелинейного деформирования бетона с ниспадающей ветвью, который учитывается в нормативных документах Еврокода 2. График этого закона показан на рисунке 9.

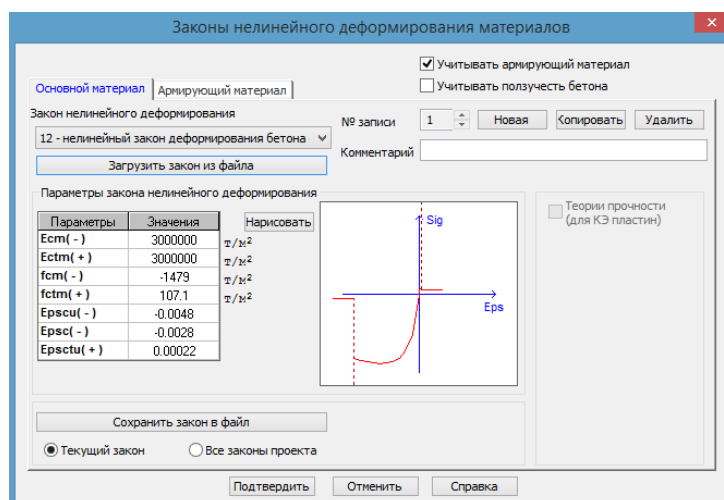


Рис. 9 – Параметры 2 закона нелинейного деформирования
Результаты расчета:

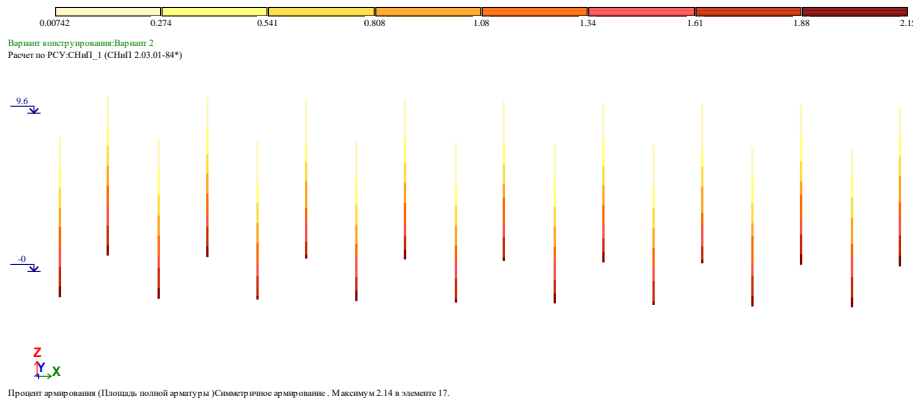


Рис. 10 – Процент армирования в колоннах (Площадь полной арматуры).
Симметричное армирование. Максимум 2,14 в элементе 17.

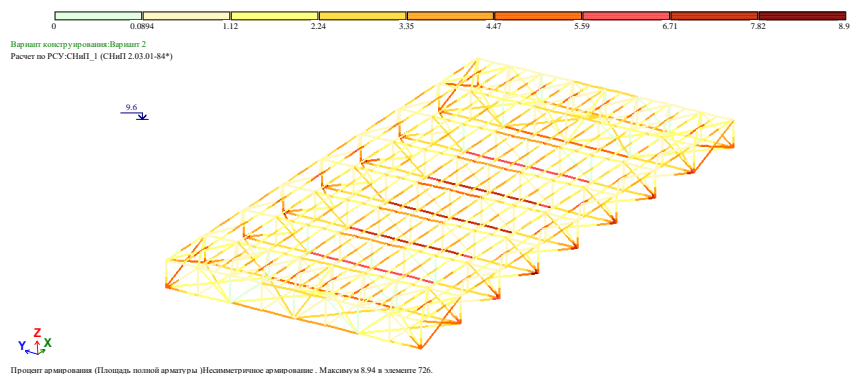


Рис. 11 – Процент армирования в фермах (Площадь полной арматуры).
Несимметричное армирование. Максимум 8,04 в элементе 726.

Таблица 1 – Сравнение максимальных усилий в колоннах

Наименование	N(τ)	Qz(τ)	Qy(τ)
Линейный расчет	25	37	1094
	-30,1976	-4,87317	-5,79291
Нелин. 1 закон	25	37	1094
	-30.159428	-4.825614	-5.74188
Нелин. 2 закон	25	37	1094
	-30,1976	-4,87317	-5,79291
Наименование	Mx(τ*м)	My(τ*м)	Mz(τ*м)
Линейный расчет	13	13	1094
	-0,52445	-41.562099	-45,9332
Нелин. 1 закон	13	13	1094
	-0.519627	-18.7635	-45.5127
Нелин. 2 закон	13	13	1094
	-0,52445	-41,9733	-45,933178

Таблица 2 – Сравнение максимальных продольных усилий в фермах

N(τ) Линейный расчет	225эл-т	58,883492
	116эл-т	-64,6987
N(τ) Нелин. 1 закон	225	58.772823
	116	-64.577087
N(τ) Нелин. 2 закон	225	58,883492
	116	-64,6987

Таблица 3 – Сравнение максимальных процентов армирования

Наименование	% колонн	% ферм
Линейный расчет	2,14	8,04
Нелин. 1 закон	0,81	6,99
Нелин. 2 закон	2,14	8,04

Выводы:

Расчет конструкций с применением различных (линейного и нелинейных) законов деформирования позволяет сделать следующие выводы:

1. Разница в усилиях в колоннах по продольной силе (N) составляет 0,13% в сторону увеличения при линейном законе деформирования.

2. Разница в усилиях в колоннах по поперечной силе (Q_z) составляет 0,27% в сторону увеличения при линейном законе деформирования.

3. Разница в усилиях в колоннах по поперечной силе (Q_y) составляет 1,72% в сторону увеличения при линейном законе деформирования.

4. Разница в усилиях в колоннах по изгибающему моменту (M_x) составляет 2% в сторону увеличения при линейном законе деформирования.

5. Разница в усилиях в колоннах по изгибающему моменту (M_y) составляет 34,8% в сторону увеличения при линейном законе деформирования.

6. Разница в усилиях в колоннах по крутящему моменту (M_z) составляет 0,91% в сторону увеличения при линейном законе деформирования.

7. Разница в усилиях в растянутых элементах фермы по продольному усилию (N) составляет 0%, т.е. результаты расчета по линейному закону можно считать абсолютно правильными.

8. Разница в усилиях в сжатых элементах фермы по продольному усилию (N) составляет 0,2% в сторону увеличения при линейном законе деформирования.

9. Разница в проценте армирования конструкций колонн составляет 62% в сторону увеличения при линейном законе и нелинейном законе 2.

10. Разница в проценте армирования конструкций фермы составляет 13% в сторону увеличения при линейном законе и нелинейном законе 2.

В целом, можно сделать вывод о том, что при линейном законе деформирования в расчете конструкций по программе «ЛИРА САПР» все конструкции рассчитываются уже с заложенным запасом прочности. Это положительный результат. Что касается экономии материалов, то здесь иная картина: При применении линейного закона деформирования идет некоторый перерасход материалов.

Литература:

1. СП РК 1.01-104-2014. *Строительная терминология. Строительные конструкции. Строительные материалы и изделия.*
2. СН РК 1.02-01-2016. *Типовое проектирование.*
3. СП РК EN 1990:2002+A1:2005/2011. *Основы проектирования несущих конструкций.*
4. СП РК EN 1998-1:2004/2012. *Проектирование сейсмостойких конструкций.*
5. СП РК 2.04-01-2017. *Строительная климатология.*
6. СНиП РК 5.03-34-2005. *Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.*

Reference:

1. SR RK 1.01-104-2014. *Construction terminology. Building construction. Building materials and products.*
2. BC RK 1.02-01-2016. *Typical design.*
3. SR RK EN 1990: 2002 + A1: 2005/2011. *Fundamentals of structural design.*
4. SR RK EN 1998-1: 2004/2012. *Design of earthquake-resistant structures.*
5. SR RK 2.04-01-2017. *Construction climatology.*
6. BR RK 5.03-34-2005. *Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions.*

Д. А. Оканов¹, И.М. Полякова²

^{1, 2} Халықаралық білім беру корпорациясы (ҚазБСҚА кампусы),
Алматы, Қазақстан

ДЕФОРМАЦИЯЛАНУ ЗАҢЫНЫҢ СЫЗЫҚТЫҚ ЖӘНЕ БЕЙСЫЗЫҚТЫҚ КОЙЫЛЫМДАРЫНЫҢ АЯСЫНДА ТЕМІРБЕТОН ФЕРМАЛАРЫНЫҢ КЕРНЕУЛІ-ДЕФОРМАЦИЯЛАНҒАН КҮЙІН САЛЫСТЫРУ

Аңдатпа. Мақалада деформацияланудың әртүрлі заңдары аясында кейбір құрылымдардың есептеулері қарастырылады. Үш заң: сызықтық, бейсызықтық экспоненциалдық, бетонның жайылуы есепке алынған жалбыраған тармақты бейсызықтық қабылданды. Есептеу нәтижесінде әртүрлі күштердің нәтижелері, салыстырмалы сипаттамалары келтірілген. Құрылымдар мен материалдардың жұмысы туралы қорытынды жасалған.

Түйін сөздер: сызықтық заң, бейсызықтық, экспоненциалды заң, құлау тармағы, күш, күшейту.

D.A. Okanov¹, I.M. Polyakova²

^{1, 2}International Educational Corporation (KazGASA campus),
Almaty, Kazakhstan

COMPARISON OF THE STRESS-STRAIN STATE OF REINFORCED CONCRETE TRUSSES WITH LINEAR AND NON-LINEAR STATEMENTS OF THE LAW OF DEFORMATION

Annotation. The article discusses the calculations of some structures under various laws of deformation. Three laws are adopted: linear, non-linear exponential, non-linear with a falling direction, taking into account the creep of concrete. As a result of the calculation, results are given for various efforts, comparative characteristics are given, and conclusions are drawn about the work of structures and about the work of materials.

Keywords: Linear law, non-linear, exponential law, falling direction, efforts, reinforcement.