

УДК 69.04

## УЧЕТ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ ЗДАНИЙ НА ПРИМЕРЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РАМЫ

**С.Ф. Дьяков, И.А. Лебедева**

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

**Аннотация.** В данной статье рассматривается понятие генетической нелинейности при определении напряженно-деформированного состояния конструкций здания при капитальном ремонте. В настоящее время вопрос учета генетической нелинейности при расчете существующих зданий менее изучаем в сравнении с вопросом учета стадийности возведения новых сооружений, хотя и в данной области расчет конструкций без учета генетической нелинейности может приводить к несоответствию работы расчетной модели с работой реальной конструкции. Таким образом, задача исследования напряженно-деформированного состояния с учетом поэтапного изменения расчетных моделей является актуальной и требует реализации при проведении расчета несущих конструкций не только вновь возводимых сооружений и зданий, но и при расчете существующих объектов, подвергаемых капитальному ремонту. Эта работа исследует влияние учета генетической нелинейности на напряженно-деформированное состояние металлической рамы здания, которое подвергается капитальному ремонту. Проведен расчет НДС рамы без и с учетом генетической нелинейности и проведен сравнительный анализ результатов. Рама рассматривается как часть металлического каркаса здания, где кровля заменяется облегченной конструкцией в процессе ремонта. Результаты показывают, что учет генетической нелинейности существенно влияет на распределение усилий в раме и может привести к изменению проектных решений.

**Ключевые слова:** генетическая нелинейность, поэтапное изменение расчетной модели, капитальный ремонт, металлическая ферма, напряженно-деформированное состояние.

**Ссылка для цитирования:** Дьяков С.Ф., Лебедева И.А. Учет генетической нелинейности при капитальном ремонте зданий на примере металлической рамы // Инженерные исследования. 2023. №5 (15). С. 21-27. EDN: NBNGJJ

## CONSIDERATION OF GENETIC NONLINEARITY IN CAPITAL REPAIR OF BUILDINGS ON THE EXAMPLE OF A METAL FRAME

**S.F. Dyakov, I.A. Lebedeva**

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

**Abstract.** This paper considers the concept of genetic nonlinearity in determining the stress-strain state of building structures during major repairs. At present, the issue of genetic nonlinearity in the calculation of existing buildings is less studied compared to the issue of taking into account the stages of erection of new structures, although in this area the calculation of structures without taking into account genetic nonlinearity can lead to inconsistency of the calculation model operation with the operation of the real structure. Thus, the task of studying the stress-strain state taking into account the stage-by-stage change of design models is relevant and requires implementation in the calculation of load-bearing structures not only for newly erected structures and buildings, but also in the calculation of existing facilities undergoing major repairs. This paper investigates the effect of taking into account genetic nonlinearity on the stress-strain state of a metal frame of a building undergoing overhaul. The VAT of the frame without and with consideration of genetic nonlinearity is calculated and the results are comparatively analysed. The frame is considered as a part of the metal frame of the building where the roof is replaced by a lightweight structure during the repair process. The results show that taking into account genetic nonlinearity significantly affects the distribution of forces in the frame and can lead to changes in design solutions.

**Keywords:** genetic nonlinearity, stepwise modification of the calculation model, capital repair, metal truss, stress-strain state.

**For citation:** Dyakov S.F., Lebedeva I.A. Consideration of genetic nonlinearity in capital repair of buildings on the example of a metal frame // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2023. No.5 (15). Pp. 21-27. EDN: NBNGJJ

## ВВЕДЕНИЕ

Классический способ расчета конструкций путем нахождения напряженно-деформированного состояния (НДС) окончательной расчетной схемы здания, как известно, не отражает реальную работу сооружения. Вследствие стадийности возведения и различных возможных режимов эксплуатации, поведение конструкции зачастую отличается от поведения расчетной схемы, что, несомненно, приводит к ошибкам при проектировании. Возникшая из необходимости анализа работы конструктивной системы с изменяемыми во времени и пространстве структурой и жесткостными свойствами задача является нелинейной. Нелинейность, обусловленную историей создания системы, называют генетической [1].

Генетическая нелинейность является важным понятием в инженерном проектировании и строительстве, которое помогает создавать более надежные и безопасные конструкции, учитывая взаимодействие между элементами конструкции и изменения параметров во времени и пространстве [2].

Вопрос о том, как учитывать данный вид нелинейности при расчетах конструкций в программных комплексах широко обсуждался учеными и проектировщиками [3-5]. Так, во многих современных программных комплексах появилась возможность моделирования процесса возведения конструкции путем использования специальных модулей «Монтаж» (SCAD++, ЛИРА10, ANSYS, МОНОМАХ и др.) [6-8].

С момента введения в программные комплексы возможности стадийного проектирования было проведено много исследований по влиянию генетической нелинейности на НДС возводимых зданий [9-12], однако вопрос изменяемой во времени расчетной схемы существующих конструкций, подвергаемых реконструкции или капитальному ремонту, практически не изучается, что формирует научную новизну.

Цель работы – оценить влияние учета генетической нелинейности на напряженно-деформированное состояние металлической рамы здания, подвергаемого капитальному ремонту.

Для достижения поставленной цели требуется выполнить следующие задачи:

- расчет НДС металлической рамы без учета генетической нелинейности;
- расчет НДС металлической рамы с учетом генетической нелинейности.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной работе рассмотрена рама, являющаяся частью металлического каркаса здания (рис. 1), кровля которого в процессе капитального ремонта заменяется облегченным вариантом.

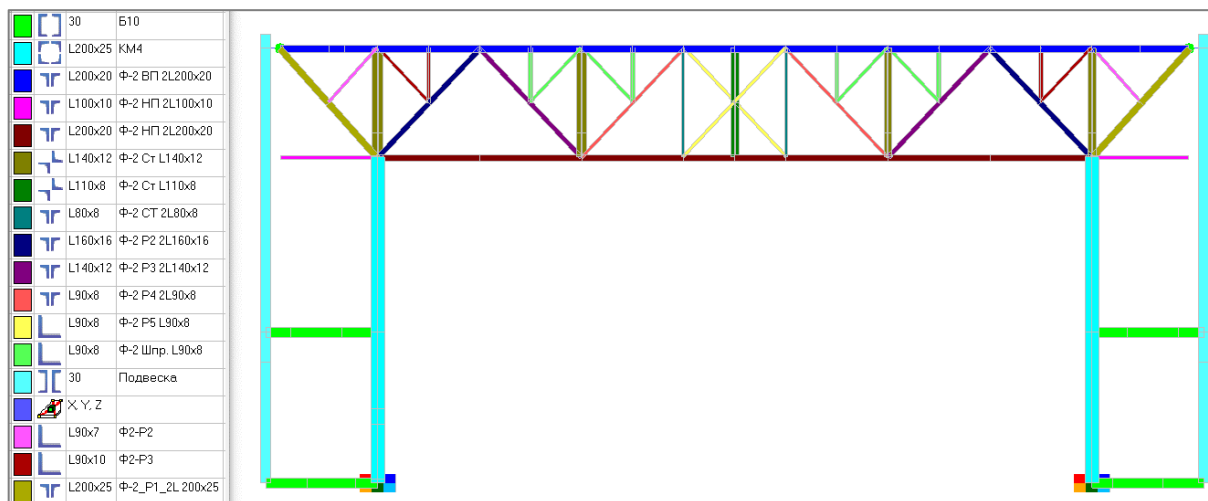
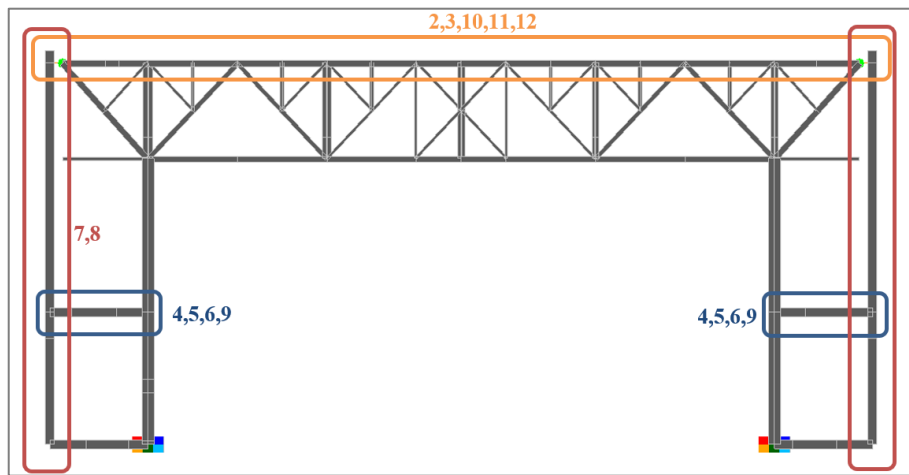


Рис. 1. Расчетная схема металлической рамы  
Fig. 1. diagram of the metal frame

Расчет НДС данной конструкции произведен в ПК SCAD++ как с учетом генетической нелинейности, так и без. Список прикладываемых нагрузок представлен в табл. 1. Области приложения данных нагрузок обозначены на рис. 2.

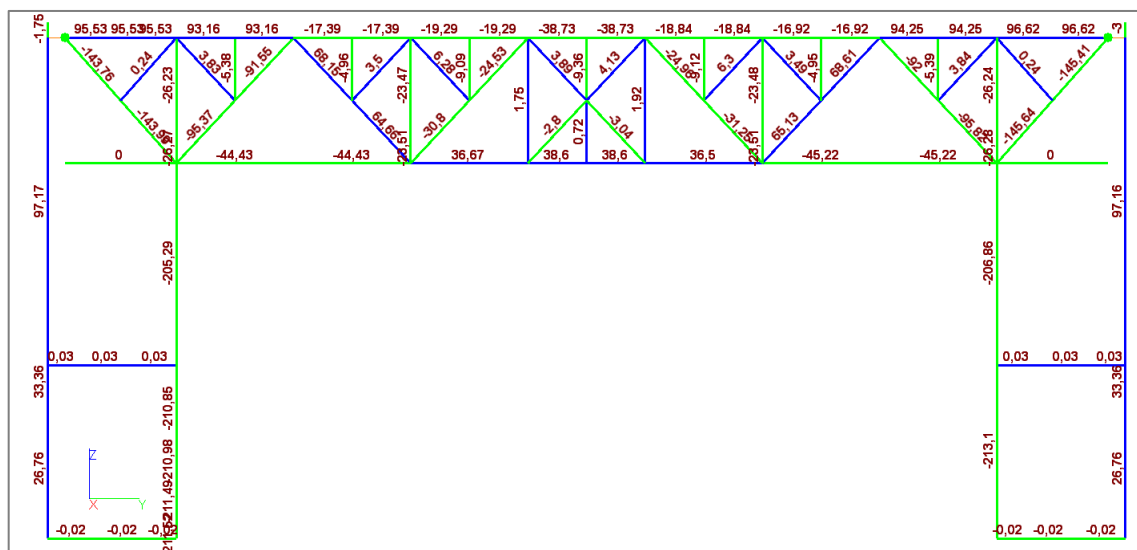
**Таблица 1.** Нагрузки, прикладываемые к металлической раме  
**Table 1.** Loads applied to the metal frame

№	Наименование	Нормативное значение нагрузки, т/м
1	Собственный вес конструкций	-
2	Пирог кровли (до кап. ремонта)	4,32
3	Подвесной потолок (основная часть)	0,588
4	Подвесной потолок (консоль)	0,0656
5	Вес перегородок	0,178
6	Вес пола	0,383
7	Фасады	4,32
8	Отделка консольных участков	3,12
9	Полезная нагрузка	1,313
10	Нагрузка от службы эксплуатации	0,822
11	Снег	1,278
12	Пирог кровли (облегченный)	2,5



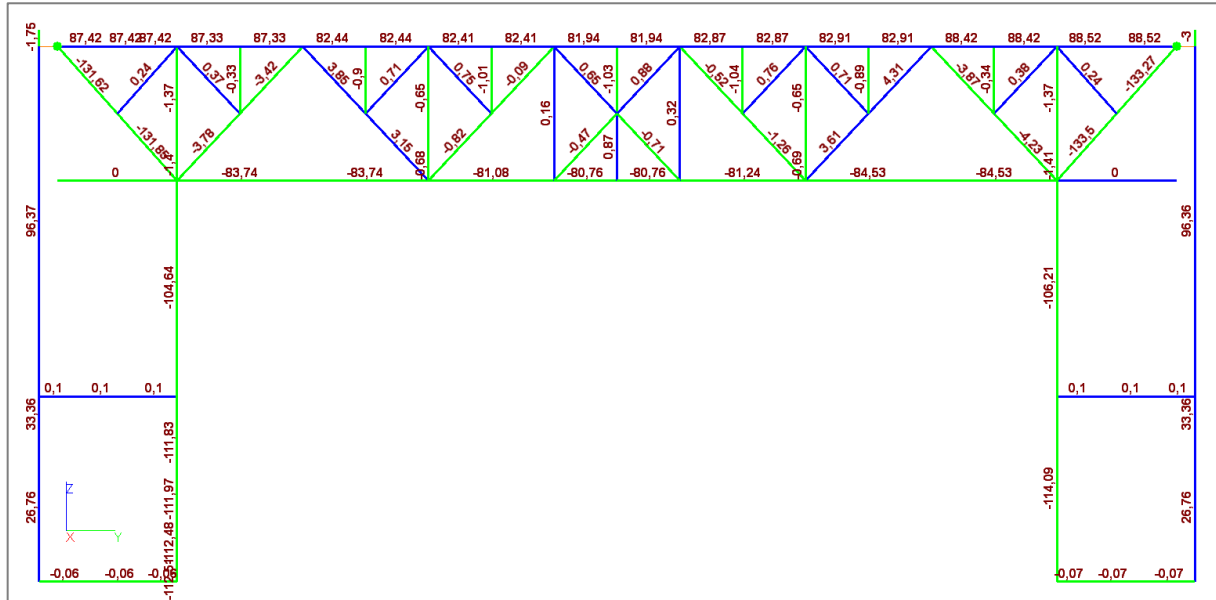
**Рис. 2.** Области приложения нагрузок  
**Fig. 2.** Load application areas

При предварительном расчете данной рамы на существующую нагрузку были получены усилия, представленные на рис. 3. В центральных элементах нижнего пояса наблюдаются растягивающие усилия, величиной 38,6 тс.



**Рис. 3.** Распределение продольных усилий в элементах рамы до капитального ремонта (тс)  
**Fig. 3.** Distribution of longitudinal forces in frame elements before overhaul

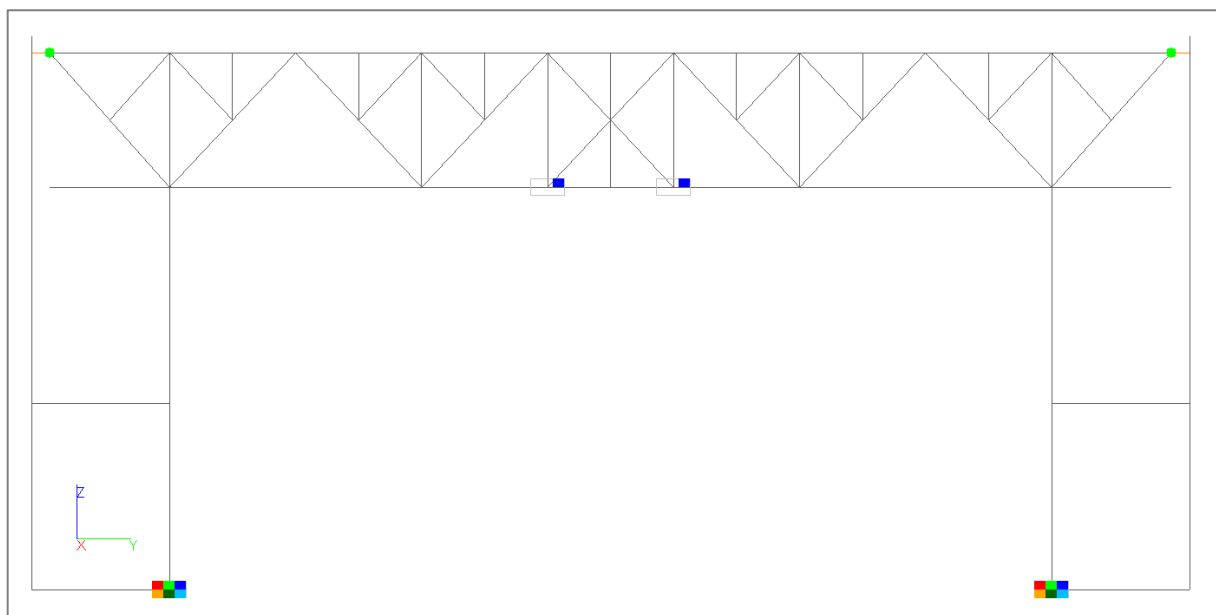
Во время проведения капитального ремонта рама некоторое время будет находиться без воздействия нагрузки от кровельного пирога. Для этого случая был проведен расчет, по результатам которого (рис. 4) в элементах фермы возникают усилия, значительно превышающие значения, на которые была рассчитана конструкция. Данное распределение усилий может привести к выходу конструкции из строя, следовательно необходимо уменьшить усилия, возникающие при демонтаже кровли.



**Рис. 4.** Распределение продольных усилий в элементах рамы во время капитального ремонта без воздействия нагрузки от кровельного пирога (тс)

**Fig. 4.** Distribution of longitudinal forces in frame elements during overhaul without load from the roof pie

Для уменьшения усилий, возникающих в элементах фермы при разгрузке конструкции, было принято решение о введении дополнительных опор в центральной части нижнего пояса. Соответствующая расчетная схема представлена на рис. 5.



**Рис. 5.** Расчетная схема металлической рамы с подведенными дополнительными опорами

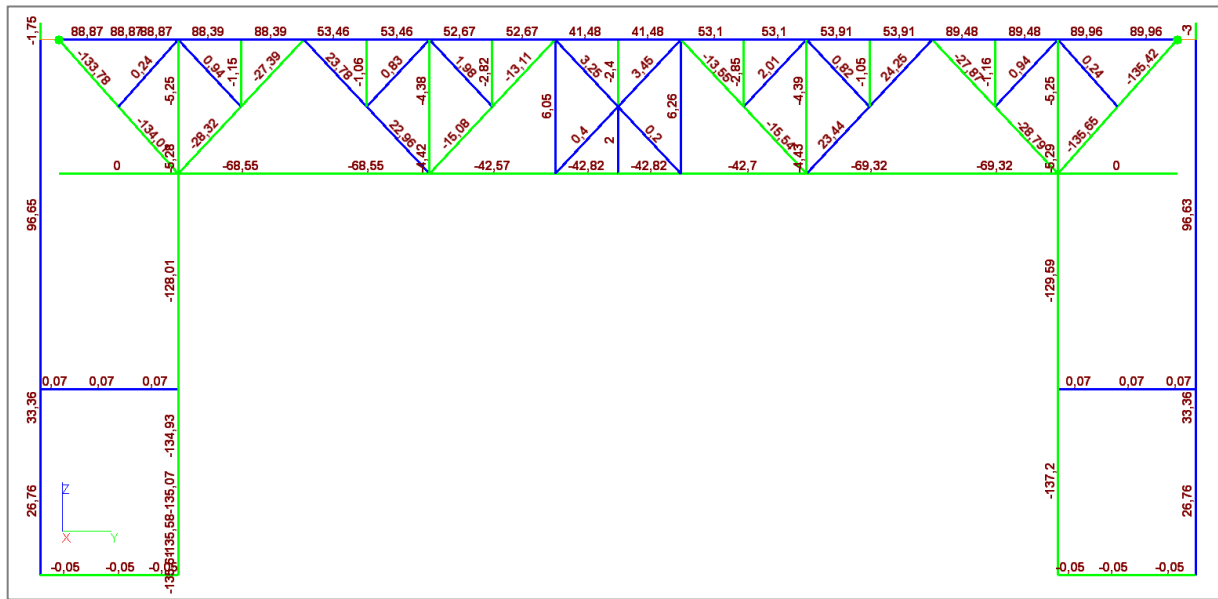
**Fig. 5.** Calculation diagram of a metal frame with connected additional supports

Задача о введении дополнительных опор рассчитывалась без учета генетической нелинейности, а также с ее учетом, выполняемым в модуле «Монтаж» путем выделения следующих стадий загрузки:

1. рама без приложенных к ней нагрузок;
2. монтаж кровли (приложена нагрузка 2);
3. монтаж перегородок и фасадных конструкций (приложены нагрузки 3-8);
4. введение в эксплуатацию (приложены нагрузки 9-11);
5. подведение дополнительных опор;
6. снятие кровли (удаление нагрузок 2, 10, 11).

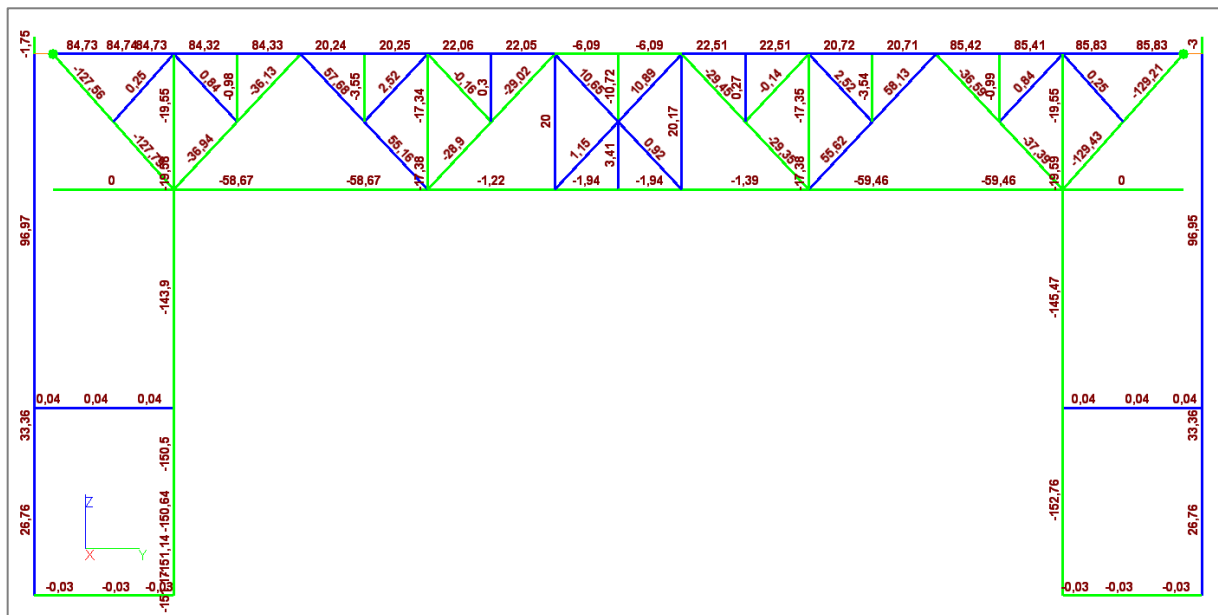
### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 6 представлена картина распределения продольных усилий в элементах рассматриваемой рамы для случая без учета стадийности загрузки.



**Рис. 6.** Распределение продольных усилий в элементах рамы для случая без учета стадийности загрузки  
**Fig. 6.** Distribution of longitudinal forces in frame elements for the case without taking into account loading stages

На рис. 7 представлены результаты, полученные при учете стадийности загрузки.



**Рис. 7.** Распределение продольных усилий в элементах рамы для случая с учетом стадийности загрузки  
**Fig. 7.** Distribution of longitudinal forces in the frame elements for the case with consideration of loading stages

Значения максимальных усилий для основных групп элементов фермы сведены в табл. 2.

**Таблица 2.** Максимальные усилия для элементов основных конструктивных групп  
**Table 2.** Maximum stresses for elements of the main structural groups

Название группы	Значение максимальных усилий, тс				
	Нижний пояс (край)	Нижний пояс (центр)	Опорный раскос	Верхний пояс (край)	Верхний пояс (центр)
До капитального ремонта	-45,22	38,67	-95,82	96,62	-38,73
Разгрузка конструкции (без доп. опор)	-84,53	-81,24	-4,23	88,52	82,87
Разгрузка конструкции (с доп. опорами) Без учета генетической нелинейности	-69,32	-42,82	-28,87	89,96	53,91
Разгрузка конструкции (с доп. опорами) С учетом генетической нелинейности	-58,67	-1,94	-37,39	85,83	22,51
Расхождение значений макс. усилий, %	15,4	95,5	22,8	14,6	58,3

При проведении расчета конструкции с учетом генетической нелинейности возникает распределение усилий в элементах отличное от классического расчета. В частности, в элементах, составляющих центральную часть верхнего пояса, возникает сжатие, когда при расчете без учета генетической нелинейности, эти элементы, наоборот, испытывали растяжение.

Кроме того, учет генетической нелинейности в процессе анализа нагружения значительно изменил итоговые максимальные усилия. Наиболее заметно это изменение в центральной части нижнего пояса, где наблюдаются самые большие различия в значениях усилий между вариантами расчета с генетической нелинейностью и без нее.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате расчета конструкций, подлежащих капитальному ремонту, с учетом генетической нелинейности, были получены результаты, существенно отличающиеся от тех, которые обычно получают при традиционном методе расчета. Генетическая нелинейность оказывает значительное влияние на распределение усилий в элементах фермы. В частности, были отмечены:

- изменение усилий в элементах ферм: 14,6 – 95,5%;
- значительное уменьшение максимальных усилий в элементах поясов фермы;
- растяжение в элементах центральной части верхнего пояса при расчете без учета генетической нелинейности и сжатие при расчете с учетом генетической нелинейности.

Различия в показателях максимальных усилий при использовании разных подходов к учету генетической нелинейности весьма существенны. Таким образом, можно сделать вывод о важности учета генетической нелинейности не только при проектировании новых объектов, но и при проектировании объектов реконструкции или капитального ремонта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перельмутер А.В., Кабанцев О.В. Анализ конструкций с изменяющейся расчетной схемой // М.: Издательство СКАД СОФТ, Издательский дом АСВ, 2015. 148 с.
2. Toshin D.S. Perspectives of the application for the nonlinear deformation model in the calculations of reinforced concrete elements // Materials Science Forum. 2020. Vol. 974 MSF. P. 505–509.
3. Рудых О.Л. Нелинейный расчет напряженно-деформированного состояния сооружений при учете последовательности возведения // Вестник ИргТУ. 2010. № 1 (41). С. 239-244.
4. Desai N.M., Vasanwala S. Influence of time period and derivation of critical storey limit for RC frame buildings using construction sequence method of analysis // Res. Eng. Struct. Mater. 2023. Vol. 9, No. 1. P. 195-208.
5. Wankhede D.G., Joshi P.M.M. Staged Construction Analysis for Multistoried Building by using ETABS // International Journal of Research in Advent Technology (IJRAT). 2018. Pp. 12-15.
6. Уткина В.Н. Моделирование процесса возведения высотного каркасно-монолитного здания // Эксперт: теория и практика. 2020. №4 (7). С. 82-88.
7. Elansary A.A., Metwally M.I., El-Attar A. Staged construction analysis of reinforced concrete buildings with different lateral load resisting systems // Eng. Struct. 2021. Vol. 242. Pp. 1-12.
8. Кабанцев О.В., Тамразян А.Г. Учет изменений расчетной схемы при анализе работы конструкции // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 5. С. 15–26. EDN:SKHSAV.

9. Мкртычев О.В. Анализ изменения усилий в конструкциях при учете стадийности возведения // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. № 14 (4). С. 293-298. EDN: UXZAZK

10. Пантелеев И.А. Оценка влияния генетической нелинейности при определении напряженно-деформированного состояния здания // StudNet. 2022. Т. 5. № 5. С. 3689-3698. EDN: BKVPBB

11. Шейкина К.О. Расчет монолитных железобетонных зданий с учетом генетической нелинейности // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы V Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 11–15 апреля 2022 года. 2022. Т.3. С. 130-132. EDN: JFLGQZ

12. Белостоцкий А.М., Дмитриев Д.С., Петряшев С.О., Нагибович Т.Е. Расчетная оценка влияния геометрических отклонений от проекта на параметры механической безопасности многоярусных промышленных металлоконструкций (этажерок) в рамках научно-технического сопровождения строительства // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2021. №1. С. 19-29. EDN: AEOWML

## ОБ АВТОРАХ

**Станислав Федорович Дьяков** – кандидат технических наук, доцент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: dyakov\_sf@spbstu.ru

**Ирина Алексеевна Лебедева** – студент магистерской программы «Строительная механика, расчет конструкций и оснований». Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: lebedeva.irina.al@gmail.com

## ABOUT THE AUTHORS

**Stanislav F. Dyakov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: dyakov\_sf@spbstu.ru

**Irina A. Lebedeva** – student of the Master's programme «Structural mechanics, calculation of structures and foundations». Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: lebedeva.irina.al@gmail.com