

УДК 691

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-4\(39\)-95-105](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-4(39)-95-105)

EDN: XDGAUA

# НЕПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ СО СПИРАЛЬНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

Г.П. ТОНКИХ✉, д-р техн. наук  
В.А. НЕЩАДИМОВ, канд. техн. наук  
И.А. АВЕРИН

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),  
Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

## Аннотация

*Введение.* Анализ экспериментальных данных с использованием статистических методов позволяет выявить закономерности, проверить гипотезы, определить качество экспериментальных данных и сделать выводы на основе объективных данных. Экспериментальные данные после их непараметрической обработки могут также использоваться при численном моделировании в современных вычислительных комплексах.

*Целью* настоящей работы является изложение методики непараметрической обработки результатов экспериментальных исследований с использованием инструментов сертифицированного на территории Российской Федерации вычислительного комплекса (BK) SCAD. В предложенной методике использовались экспериментальные данные испытаний образцов из бетона различной прочности со спиральным армированием.

*Результаты.* В результате непараметрической обработки образцов бетона со спиральным армированием по предложенной методике определены эмпирические коэффициенты билинейной диаграммы Прандтля. Данная диаграмма используется в BK SCAD для задания физической нелинейности работы материала. Предложен метод обработки малого объема результатов экспериментальных исследований, позволяющий использовать имеющиеся данные в численных исследованиях с использованием инструментов BK SCAD с приемлемым уровнем обеспеченности.

*Выводы.* Полученные в результате непараметрической обработки эмпирические коэффициенты для задания билинейной диаграммы Прандтля позволяют выполнить численное моделирование работы образцов для планирования дальнейших экспериментальных исследований с целью поиска более общих закономерностей, учитывающих другие факторы работы реальных конструктивных элементов несущих систем зданий и сооружений со спиральным армированием, в том числе на высокоинтенсивные динамические воздействия. Проведенные экспериментально-теоретические исследования показали, что применение железобетонных конструкций со спиральным армированием позволит значительно увеличить их деформативность и энергоемкость, что принципиально влияет на характер работы конструкций и несущего остова зданий и сооружений в целом. Эти особенности работы спирально армированных конструкций могут быть в дальнейшем учтены при расчетном обосновании конструктивных решений в BK SCAD и в других программах, использующих аппроксимацию Паде билинейной диаграммы Прандтля.

**Ключевые слова:** спиральное армирование, железобетонные призмы, энергоемкость, прочность, деформативность, билинейная диаграмма Прандтля, аппроксимация Паде, непараметрическая обработка испытаний

**Для цитирования:** Тонких Г.П., Нещадимов В.А., Аверин И.А. Непараметрическая обработка результатов экспериментальных исследований железобетонных образцов со спиральным армированием. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2023;39(4):95–105. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-4\(39\)-95-105](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-4(39)-95-105)

#### **Вклад авторов**

Авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

#### **Финансирование**

Исследование не имело спонсорской поддержки.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Поступила в редакцию 30.10.2023*

*Поступила после рецензирования 27.11.2023*

*Принята к публикации 30.11.2023*

## **NON-PARAMETRIC DATA PROCESSING IN EXPERIMENTAL STUDIES OF SPIRALLY REINFORCED CONCRETE SAMPLES**

G.P. TONKIKH✉, Dr. Sci. (Engineering)

V.A. NESHCHADIMOV, Cand. Sci. (Engineering)

I.A. AVERIN

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation*

### **Abstract**

*Introduction.* Statistical methods in the analysis of experimental data can be applied to identify patterns and test hypotheses, determine the quality of experimental data and draw conclusions based on objective data. In addition, experimental data after non-parametric processing can be used in numerical modeling using contemporary computing suites.

*Aim.* To outline a methodology for non-parametric processing of experimental results using SCAD computing suite tools, certified in the territory of the Russian Federation. In the proposed methodology, experimental test data for spirally reinforced concrete samples of various strengths were used.

*Results.* As a result of non-parametric processing of spirally reinforced concrete samples, empirical coefficients of the Prandtl bilinear diagram were determined according to the proposed method. This diagram is used in the SCAD computing suite to set the physical nonlinearity of the material behavior. A method for processing a small volume of experimental results is proposed for using the available data in SCAD CS numerical studies with an acceptable level of probability.

*Conclusions.* The empirical coefficients, obtained in non-parametric processing for setting the Prandtl bilinear diagram, can be used to perform a numerical modeling of the sample behavior for planning further experimental studies in order to find more general patterns, taking into account other behavioral factors of real structural elements in load-bearing systems of buildings and structures with spiral reinforcement, including high-intensity dynamic effects. According to experimental and theoretical studies, spiral reinforcement can significantly increase the deformability and energy capacity of reinforced concrete structures, which fundamentally affects the behavioral pattern of structures and supporting framework of buildings and structures as a whole. These behavioral features of spirally reinforced structures can be further taken into account for the computational justification of design solutions in the SCAD CS and other software programs using the Padé approximation of the Prandtl bilinear diagram.

**Keywords:** spiral reinforcement, reinforced concrete prisms, energy capacity, strength, deformability, Prandtl bilinear diagram, Padé approximant, non-parametric data processing

**For citation:** Tonkikh G.P., Neshchadimov V.A., Averin I.A. Non-parametric data processing in experimental studies of spirally reinforced concrete samples. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2023;39(4):95–105. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-4\(39\)-95-105](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-4(39)-95-105)

#### **Author contribution statements**

The authors contributed equally to this work.

#### **Funding**

No funding support was obtained for the research.

#### **Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

*Received 30.10.2023*

*Revised 27.11.2023*

*Accepted 30.11.2023*

## **Введение**

Сегодня накоплен большой объем экспериментальных данных о поведении железобетонных конструкций, полученных в лабораторных условиях, в том числе с использованием современного высокоточного оборудования. Полученные данные подвергаются статистической обработке, где определяются базовые статистические параметры, такие как среднее значение, медиана, мода, дисперсия и стандартное отклонение. Статистическая обработка экспериментальных данных помогает понять характеристики данных и их распределение, а также качество экспериментальных исследований. Как правило, обработка экспериментальных исследований сопровождается визуализацией данных через линейные графики, гистограммы, диаграммы рассеяния, что позволяет лучше понимать распределение данных и выявить выбросы. Часто в рамках статистического анализа проводят интервальную оценку, где определяют доверительные интервалы, которые показывают диапазон значений, в пределах которого с определенной вероятностью находятся истинные значения параметров.

Экспериментальные данные подвергаются также корреляционному анализу для изучения взаимосвязи между двумя или более переменными, что позволяет определить наличие статистически значимых связей между ними и их величину. При многофакторных экспериментальных исследованиях проводят регрессионный анализ для исследования влияния одного или нескольких независимых факторов на зависимую переменную.

В отдельных случаях применяются непараметрические методы обработки результатов, которые используются, когда данные не соответствуют условиям применения параметрических методов. Как правило, непараметрические методы используются в случаях, когда количество экспериментальных исследований ограничено несколькими испытаниями и статистический аппарат обработки таких данных не позволяет получить результаты с приемлемым уровнем обоснованности.

Комбинация перечисленных методов анализа экспериментальных данных позволяет исследователям извлекать максимум информации из данных экспериментов и делать обоснованные выводы, но на этом использование этих данных, как правило, заканчивается. Вместе с тем экспериментальные данные могут быть использованы при расчетной оценке

напряженно-деформированного состояния несущих систем зданий и сооружений с учетом нелинейной работы конструктивных материалов и конструкций в целом с использованием современных программно-вычислительных комплексов, в том числе адаптированных под нормативную базу Российской Федерации.

Для подтверждения вышесказанного в качестве примера представлен алгоритм непараметрической обработки результатов испытаний железобетонных призм высотой 400 мм, с размерами сторон 100 мм из бетона классов В20 и В40, со спиральной арматурой класса А240 диаметром 3, 6 и 8 мм, с шагом витков спиралей 30, 50 и 100 мм (рис. 1). Проведенные испытания железобетонных призм со спиральным армированием показали высокую энергоемкость, которая многократно, до 50 раз, превышает энергоемкость бетонной призмы с аналогичным классом бетона без специального (косвенного) армирования [1–7]. Учет повышенной энергоемкости железобетонных конструкций с косвенным спиральным армированием позволяет в перспективе выполнять расчетные оценки живучести несущих систем зданий и сооружений при особых нагрузках, в том числе на сейсмическое воздействие и другие динамические воздействия высокой интенсивности. Однако для таких исследований должен быть накоплен представительный объем экспериментальных результатов, недостаточность которого можно компенсировать специальными методами обработки имеющегося массива данных. К таким специальным методам относится метод непараметрической обработки результатов.

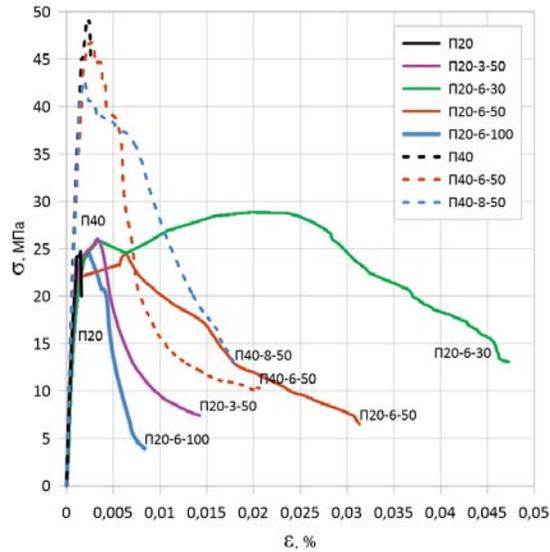
Непараметрическая обработка экспериментальных данных выполнена в контексте их дальнейшего использования в расчетно-вычислительном комплексе SCAD, который предусматривает возможность выполнить численный анализ напряженно-деформированного состояния несущих систем зданий, расчетные модели которых включают стержневые конечные элементы, работающие в том числе за пределами упругой стадии при статическом или динамическом нагружениях.

## **Методика непараметрического анализа**

Конечная цель данной работы – показать принципиальную возможность использовать экспериментальные данные для последующих расчетных оценок в программно-вычислительном комплексе SCAD и алгоритм (последовательность) действий для получения необходимых для расчетных оценок параметров аппроксимации экспериментальных данных.

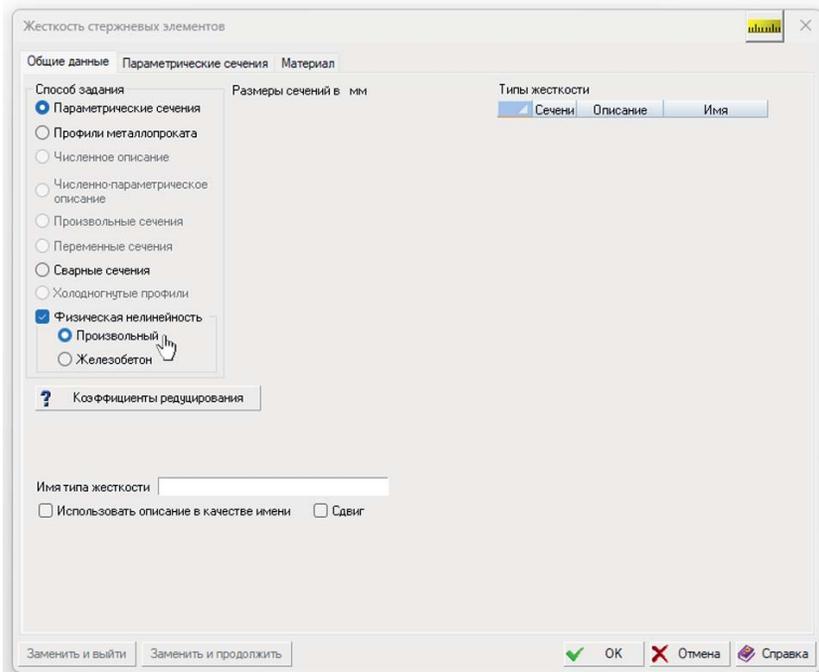
Как уже отмечалось ранее, в программе SCAD++ имеется возможность выполнять расчеты с использованием стержневых элементов с произвольной физической нелинейностью материала. Для активации этой возможности необходимо включить соответствующий дополнительный режим при назначении жесткостных характеристик КЭ 5 типа (пространственный стержень) и задать, кроме геометрических размеров поперечного сечения, еще и экспериментальные данные для материала, которые будут определять его нелинейную работу под нагрузкой, как показано на рис. 2. Таким образом, непараметрический анализ экспериментальных данных сводится к подбору исходных данных, необходимых для задания характеристик материала в SCAD++.

Для моделирования напряженно-деформированного состояния спирально армированного бетона необходимо использовать деформационную теорию пластичности [8, 9] с включенной опцией «Пластичность».



**Рис. 1.** Диаграммы  $\sigma$ - $\epsilon$  испытаний призм  $100 \times 100 \times 400$  мм из бетона класса В20 и В40 со спиральной арматурой класса А240 диаметром 3, 6 и 8 мм с шагов витков спиралей 30, 50 и 100 мм

**Fig. 1.**  $\sigma$ - $\epsilon$  test diagrams for  $100 \times 100 \times 400$  mm prisms, made of В20 and В40 concrete with А240 spiral reinforcement of 3, 6 and 8 mm in diameter and turn pitch of 30, 50 and 100 mm



**Рис. 2.** Диалоговое окно задания жесткостных характеристик КЭ 5 типа в программы SCAD++ с дополнительной вкладкой «Материал» после активации произвольной физической нелинейности

**Fig. 2.** Dialog box for setting the stiffness characteristics of type 5 FE in SCAD++ program with an additional "Material" tab after activating arbitrary physical nonlinearity

Для описания характера работы произвольного материала в ВК SCAD предусмотрено два варианта задания диаграммы  $\sigma$ – $\epsilon$ : идеализированная билинейная диаграмма Прандтля и аппроксимация Паде этой же диаграммы. Для описания диаграмм  $\sigma$ – $\epsilon$  мы будем использовать аппроксимацию Паде (рис. 3).

При задании диаграммы Прандтля имеется возможность учесть упрочнение и разупрочнение материала с помощью коэффициента  $\theta$ , как показано на рис. 4. Таким образом, для задания диаграммы Прандтля и ее аппроксимации Паде требуется пять экспериментально определяемых параметров:  $E$  – модуль упругости;  $\sigma_E$  – пределы текучести при сжатии и при растяжении;  $\theta$  – относительные модули упрочнения или разупрочнения при сжатии и при растяжении. В нашем случае экспериментально определяемых параметров будет три, так как призмы со спиральным армированием испытывались только на сжатие.

Следует также отметить, что модуль упругости  $E$  и пределы текучести  $\sigma_E$  могут отличаться от одноименных общепринятых параметров прочности материалов – здесь они не более чем параметры для построения кривых аппроксимации Паде, максимально приближенных к диаграммам  $\sigma$ – $\epsilon$ , полученным в результате экспериментов. Подбор параметров  $E$ ,  $\sigma_E$  и  $\theta$  можно выполнить непосредственно в SCAD++. При этом необходимо учесть, что в экспериментальных диаграммах  $\sigma$ – $\epsilon$  и в расчетных диаграммах  $\sigma$ – $\epsilon$  положительные направления осей координат  $\sigma$  и  $\epsilon$  попарно направлены в противоположные стороны. В этой связи при подборе параметром  $E$ ,  $\sigma_E$  и  $\theta$  необходимо искать аппроксимацию Паде для растянутой диаграммы

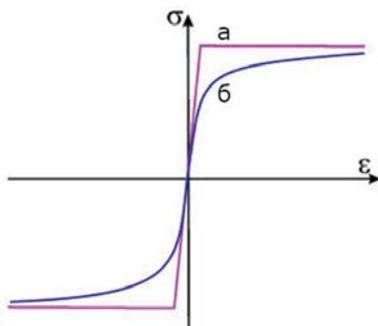


Рис. 3. Билинейная диаграмма Прандтля (а) и аппроксимации Паде (б) этой же диаграммы  
 Fig. 3. Bilinear Prandtl diagram (a) and its Pade approximations (b)

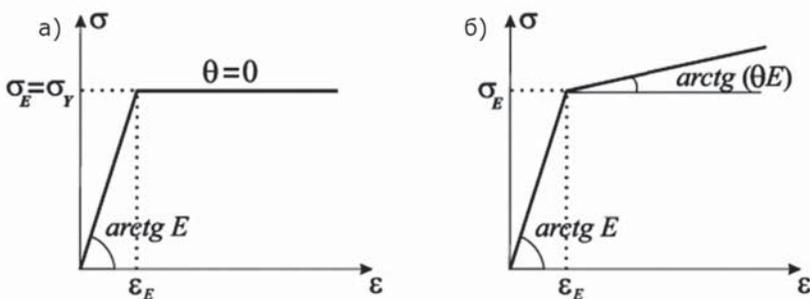


Рис. 4. Билинейная диаграмма Прандтля без упрочнения (а) и с упрочнением (б)  
 Fig. 4. Bilinear Prandtl diagram without (a) and with (b) hardening

с положительными значениями  $\sigma$ – $\epsilon$ , а при расчетах применять найденные параметры  $E$ ,  $\sigma_E$  и  $\theta$  для сжатой диаграммы с отрицательными значениями  $\sigma$ – $\epsilon$ .

В качестве примера далее представлен результат подбора параметров  $E$ ,  $\sigma_E$  и  $\theta$  для аппроксимации Паде, где аппроксимирующая кривая проходит максимально близко к верхним значениям нормализованной (усредненной) диаграммы  $\sigma$ – $\epsilon$ , полученной в результате испытаний призм из бетона В20 со спиральями из арматуры А240 диаметром 6 мм с шагом витков спиралей 30 мм. На рис. 5 представлена вкладка «Материал» диалогового окна назначения жесткости КЭ типа 5 (см. рис. 2) после назначения параметров  $E$ ,  $\sigma_E$  и  $\theta$  для растянутой части диаграммы с положительными значениями  $\sigma$  и  $\epsilon$ . При нажатии курсором на пиктограмму, расположенную левее надписи «Свойства материала», открывается модальное окно «График», где можно изменить диапазон относительных деформаций, активируя соответствующую опцию, и изменить значения по умолчанию, нажав кнопку «Применить».

На рис. 6 представлено модальное окно «График» после изменения диапазона деформаций. В модальном окне «График» имеется возможность сохранить в формате MS Word численные значения точек аппроксимирующей кривой и использовать их для сравнительных оценок и более точного подбора параметров аппроксимации Паде. Далее представлены диаграммы  $\sigma$ – $\epsilon$  экспериментальных исследований с результатом подбора параметров  $E$ (ГПа)/ $\sigma_E$  (МПа)/ $\theta$  аппроксимации Паде (рис. 7).

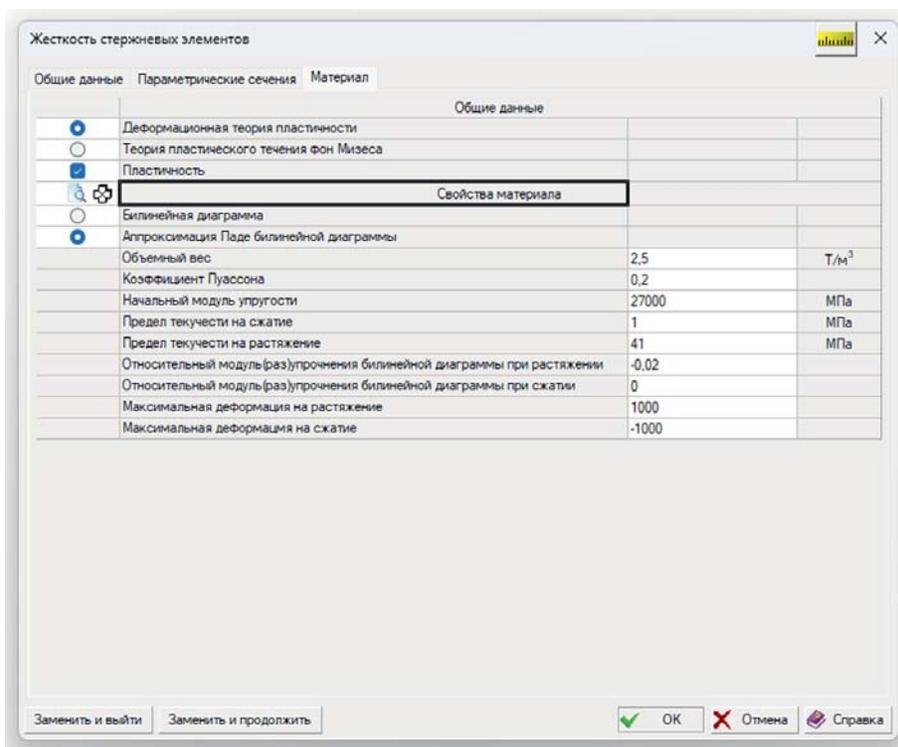


Рис. 5. Вкладка «Материал» в процессе подбора параметров для аппроксимации Паде в растянутой части билинейной диаграммы

Fig. 5. "Material" tab during the selection of parameters for the Pade approximation in the expanded part of the bilinear diagram

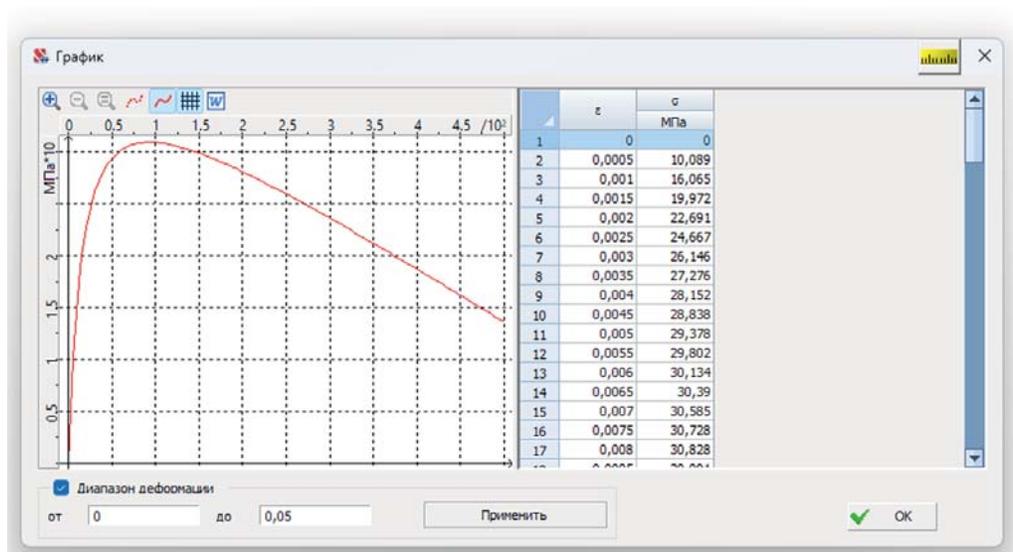
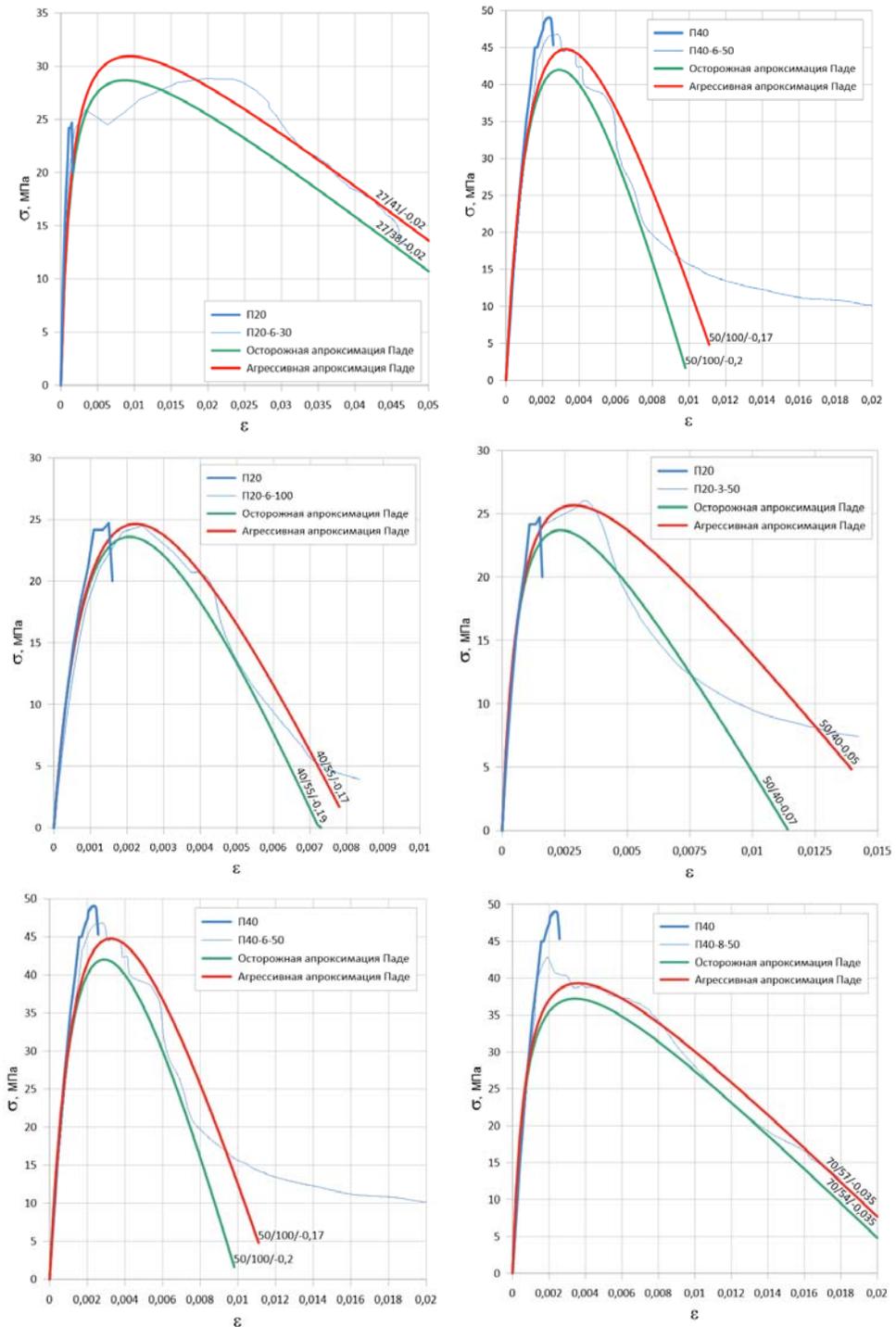


Рис. 6. Модальное окно «График» вкладки «Материал» после изменения диапазона деформаций

Fig. 6. "Plot" modal box of the "Material" tab after changing the range of deformations

Предложенный метод позволяет планировать предстоящие экспериментальные исследования или обрабатывать существующие данные о поведении испытанных образцов с большой энергоемкостью за пределами упругости с целью определения исходных данных, необходимых для задания диаграммам  $\sigma$ – $\epsilon$  материала через аппроксимации Паде с использованием инструментов BK SCAD. Эти исходные данные о материале позволяют выполнять численные исследования (расчетное обоснование) поведения несущих систем зданий и сооружений в нелинейной постановке, в том числе на сейсмическое воздействие или прогрессирующее обрушение, где спирально армированные конструкции с большой энергоемкостью являются перспективными.

Следует особо отметить, что в процессе определения параметров билинейной диаграммы Прандтля и ее аппроксимации Паде осуществляется непараметрическая обработка результатов экспериментальных исследований с достаточной для практических расчетов обеспеченностью за счет определения агрессивной и осторожной кривых аппроксимации, которые можно определить как по средним значениям экспериментальных диаграмм  $\sigma$ – $\epsilon$ , так и с учетом доверительных интервалов, определенных в результате статистической обработки экспериментальных данных. Выполнение расчетных оценок несущих систем зданий и сооружений с учетом вариационного поведения материала в соответствии с агрессивной и осторожной диаграммами Паде с последующей сравнительной оценкой результатов расчета позволяет принять взвешенные и обоснованные конструктивные решения на этапе их расчетного обоснования. Для этих целей, например, в BK SCAD, имеется режим «Вариация моделей».



**Рис. 7.** Диаграммы  $\sigma$ - $\epsilon$  и результаты непараметрической обработки экспериментальных данных с подбором параметров аппроксимации Паде, которые указаны в формате  $E(\text{ГПа})/\sigma_c(\text{МПа})/\theta$  для соответствующих кривых

**Fig. 7.**  $\sigma$ - $\epsilon$  diagrams and results of non-parametric processing of experimental data with the selection of Pade approximation parameters, indicated in  $E(\text{GPa})/\sigma_c(\text{MPa})/\theta$  for the corresponding curves

## Выводы

1. Современные сертифицированные в России программно-вычислительные комплексы, в частности SCAD, позволяют выполнить непараметрический анализ экспериментальных данных с целью последующего их использования для расчетного анализа несущих систем зданий и сооружений с учетом нелинейной работы конструкционных материалов и конструкций в целом, в том числе железобетонных конструкций со спиральным армированием тела бетона на высокоинтенсивное динамическое воздействие.

2. Для внедрения в расчетную практику экспериментальных данных имеется современное программное обеспечение. Использование дополнительных инструментов по обработке экспериментальных данных, встроенных в современные вычислительные комплексы (например, ВК SCAD), позволяет выполнять численные эксперименты в условиях малого объема экспериментальных результатов.

## Список литературы

1. Кабанцев О.В., Тонких Г.П., Симаков О.А., Аверин И.А., Какуша В.А. Результаты экспериментальных исследований образцов из бетона различной прочности со спиральным армированием. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2023;(5):24–39.
2. Тонких Г.П., Аверин И.А. Повышение сейсмостойкости зданий за счет спирального армирования изгибаемых железобетонных конструкций. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2022;(3):31–39. <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-3-31-39>
3. Манаенков И.К. Напряженное состояние изгибаемых железобетонных элементов с учетом деформативности сжатой зоны, усиленной косвенным армированием [автореф. диссертации]. Москва; 2018.
4. Arun Kumar V.V., Seshadri Sekhar T. Experimental and Theoretical Studies on the Behavior of Spiral Reinforced Concrete Columns. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2017.
5. Hadi M.N.S., Elbasha N. The effect of helical pitch on the behaviour of helically confined HSC beams. Constr. Build. Mater. 2008;22(5):771–780. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.01.009>
6. Elbasha N.M., Hadi M.N.S. Effect of helical pitch and tensile reinforcement ratio on the concrete cover spalling off load and ductility of HSC beams. In: Proceedings of the Australian Structural Engineering Conference 2005 (ASEC). Australia: Engineers Australia; 2005, pp. 54–64.
7. Mangat M.M., Azari P.S. Influence of steel fibre and stirrup reinforcement on the properties of concrete in compression members. Int. J. Cem. Compos. Light. Concr. 1985;7(3):183–192. [https://doi.org/10.1016/0262-5075\(85\)90006-5](https://doi.org/10.1016/0262-5075(85)90006-5)
8. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. Москва: Высшая школа; 1961.
9. Ильюшин А.А. Пластичность. Часть первая. Упруго-пластические деформации. Москва, Ленинград: Гостехиздат; 1948.

## References

1. Kabantsev O.V., Tonkikh G.P., Simakov O.A., Avenir I.A., Kakusha V.A. Results of experimental studies of concrete samples of different strengths with spiral reinforcement. Seismostoiokoe stroitel' stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety. 2023;(5):24–39. (In Russian).
2. Tonkikh G.P., Avenir I.A. Increase of seismic resistance of buildings due to spiral reinforcement of bent reinforced concrete structures. Seismostoiokoe stroitel' stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety. 2022;(3):31–39. (In Russian). <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-3-31-39>
3. Manaenkov I.K. The stress state of bent reinforced concrete elements, taking into account the deformability of the compressed zone reinforced by indirect reinforcement [abstract]. Moscow; 2018. (In Russian).

4. *Arun Kumar V.V., Seshadri Sekhar T.* Experimental and Theoretical Studies on the Behavior of Spiral Reinforced Concrete Columns. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2017.
5. *Hadi M.N.S., Elbasha N.* The effect of helical pitch on the behaviour of helically confined HSC beams. Constr. Build. Mater. 2008;22(5):771–780. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.01.009>
6. *Elbasha N.M., Hadi M.N.S.* Effect of helical pitch and tensile reinforcement ratio on the concrete cover spalling off load and ductility of HSC beams. In: Proceedings of the Australian Structural Engineering Conference 2005 (ASEC). Australia: Engineers Australia; 2005, pp. 54–64.
7. *Mangat M.M., Azari P.S.* Influence of steel fibre and stirrup reinforcement on the properties of concrete in compression members. Int. J. Cem. Compos. Light. Concr. 1985;7(3):183–192. [https://doi.org/10.1016/0262-5075\(85\)90006-5](https://doi.org/10.1016/0262-5075(85)90006-5)
8. *Bezukhov N.I.* Fundamentals of the theory of elasticity, plasticity and creep. Moscow: Vysshaya shkola Publ.; 1961. (In Russian).
9. *Ilyushin A.A.* Plasticity. Part one. Elastic-plastic deformations. Moscow, Leningrad: Gostekhizdat Publ.; 1948. (In Russian).

### Информация об авторах / Information about the authors

**Геннадий Павлович Тонких** , д-р техн. наук, профессор кафедры железобетонных конструкций НИУ МГСУ, Москва

e-mail: 5059144@mail.ru

**Gennadiy P. Tonkikh** , Dr. Sci. (Engineering), Professor, Department of Reinforced Concrete Structures, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

e-mail: 5059144@mail.ru

**Виктор Александрович Нещадимов**, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры железобетонных конструкций НИУ МГСУ, Москва

e-mail: expertor@internet.ru

**Viktor A. Neshchadimov**, Cand. Sci. (Engineering), Senior Lecturer, Department of Reinforced Concrete Structures, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

e-mail: expertor@internet.ru

**Иван Александрович Аверин**, аспирант кафедры железобетонных конструкций НИУ МГСУ, Москва

e-mail: averinia@inbox.ru

**Ivan A. Averin**, Postgraduate Student, Department of Reinforced Concrete Structures, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

e-mail: averinia@inbox.ru

 Автор, ответственный за переписку / Corresponding author