

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПОВРЕЖДЕННЫХ КОЛОНН РАЗЛИЧНОЙ ГИБКОСТИ

**Клименко Е.В.**, д.т.н., профессор,  
**Павловский А.В.**, бакалавр,  
*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*  
klimenkoew@mail.ru

**Кос Желько**, аспирант,  
*Университет «Север», г. Вараждин, Хорватия*  
zeljko.kos@live.com

**Аннотация.** В ходе проведенных исследований был выполнен план эксперимента по трем наиболее значимым факторам, а именно: высота колонны, которая коррелируется с гибкостью; глубина повреждения; угол наклона фронта повреждения. Измерения прогибов проводились прогибомерами с ценой деления 0,01 мм в двух сечениях по высоте: в середине высоты и в четвертой ее части. В ходе экспериментов были получены графики перемещения колонн в указанных местах. Установлено, что при нагрузке имеет место косоое внецентренное сжатие, а направление отклонения конструкции не совпадает с главными осями неповрежденного участка. Лабораторные исследования опытных образцов позволили установить влияние гибкости на несущую способность, описать деформируемое состояние и экспериментально установить значение сжимающей разрушающей силы.

**Ключевые слова:** железобетонные колонны, повреждение, несущая способность, гибкость.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СТИСНУТИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПОШКОДЖЕНИХ КОЛОН РІЗНОЇ ГНУЧКОСТІ

**Клименко Є.В.**, д.т.н., професор,  
**Павловський А.В.**, бакалавр,  
*Одеська державна академія будівництва та архітектури*  
klimenkoew@mail.ru

**Кос Желько**, аспірант,  
*Університет «Север», м. Вараждин, Хорватія*  
zeljko.kos@live.com

**Анотація.** В ході проведених досліджень було виконано план експерименту за трьома найбільш значущими чинниками, а саме: висота колони, яка корелюється з гнучкістю; глибина пошкодження; кут нахилу фронту пошкодження. Вимірювання прогинів проводилися прогиноміра з ціною поділки 0,01 мм в двох перетинах по висоті: в середині висоти і в четвертій її частині. В ході експериментів були отримані графіки переміщення колон в зазначених місцях. Встановлено, що при навантаженні має місце косий відцентровий стиск, а напрямок відхилення конструкції не збігається з головними осями неушкодженої ділянки. Лабораторні дослідження дослідних зразків дозволили встановити вплив гнучкості на несучу здатність, описати деформований стан і експериментально встановити значення руйнуючого зусилля.

**Ключові слова:** залізобетонні колони, пошкодження, несуча здатність, гнучкість.

## EXPERIMENTAL STUDIES OF WORK OF COMPRESSED FERRO-CONCRETE DAMAGED COLUMNS OF VARIOUS FLEXIBILITY

**Klymenko Ievgenii**, Doctor of Engineering, Professor,  
**Pavlovski A.V.**, bachelor,  
*Odessa State Academy Of Civil Engineering And Architecture*  
klimenkoew@mail.ru

**Kos Zelyko**, graduate student,  
*University North, Varaždin, Croatia*  
zeljko.kos@live.com

**Abstract.** In the course of the studies carried out, the experiment was planned for the three most significant factors affecting the residual load-bearing capacity of damaged reinforced concrete columns of rectangular cross-section, namely: the height of the column, which, with the same cross-sectional dimensions, correlates with flexibility; Depth of damage; Angle of inclination of the front of the fault. The damage in the column samples was simulated by means of an insert of expanded polystyrene. A special installation and a technique for carrying out experiments have been developed which have made it possible, in the course of laboratory studies of prototypes, to determine the influence of flexibility on the bearing capacity, and to describe the deformable state of the columns. Measurements of deflections were carried out by progibomers with a division price of 0.01 mm in two sections in height: in the middle of the height and in the fourth of it. In the course of the experiments, graphs of column movements in the indicated places were obtained. It is established that under loading, there is an oblique eccentric compression and the direction of deflection of the structure does not coincide with the principal axes of the undamaged section. Experimentally establish the value of the compressive destructive force.

**Keywords:** reinforced concrete columns, damage, bearing capacity, flexibility.

**Постановка проблемы.** Железобетонные конструкции были и остаются наиболее распространенными при возведении объектов жилищного, гражданского и промышленного назначения. Среди таких конструкций существенная доля работает на сжатие.

В процессе эксплуатации имеет место износ конструкций. Он проявляется в виде коррозии арматуры, т.е. уменьшения стержней в диаметре, что при проведении поверочных расчетов, выполняемых с целью определения остаточной несущей способности и, в конечном счете, определении технического состояния конструкции согласно [1] прямо учитывается путем введения в расчетные зависимости фактической остаточной площади арматурных стержней.

Другим наиболее распространенным видом разрушения есть повреждение части сечения бетона, что влечет за собой уменьшение несущей способности, особенно в сжатых элементах. Такого вида повреждения получают конструкции зданий и сооружений, находящиеся в зоне боевых действий в районах проведения антитеррористической операции в восточных регионах Украины.

Действующие нормы [2] не дают рекомендаций по учету влияния таких дефектов и повреждений в поверочных расчетах.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Проводимые на протяжении последних лет в Одесской государственной академии строительства и архитектуры исследования работы сжатых и изгибаемых поврежденных в процессе эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций позволили описать их напряженно-деформированное состояние и разработать методику расчета остаточной несущей способности [3-8].

Однако, для сжатых элементов рассматривались лишь жесткие элементы, влияние гибкости на несущую способность сжатых элементов не учитывалось, что не позволяет

использовать предлагаемые методики определения остаточной прочности для реального спектра конструкций.

**Цель работы.** Экспериментальное исследование деформированного состояния и определение несущей способности поврежденных в процессе эксплуатации железобетонных сжатых элементов различной гибкости.

**Объект исследований.** Объектом исследований был процесс деформирования и разрушения поврежденных железобетонных колонн прямоугольного поперечного сечения с различной гибкостью.

**Основная часть.** Для достижения поставленной цели было изготовлено и испытано 23 опытных образца с заранее смоделированными повреждениями (табл. 1).

Таблица 1 – План эксперимента

Модели колонн	Высота, см								
	100			175			250		
повреждение	глубина, мм			глубина, мм			глубина, мм		
угол °	20	60	100	20	60	100	20	60	100
0	K9 (-1-1-1)		K8 (-1-1+1)		K12 K21 (0-1 0)		K4 (+1-1-1)		K3 (+1-1+1)
30		K10 (-1 0 0)		K14 K23 (0 0 -1)	K15- K19 (0 0 0)	K13 K22 (0 0 +1)		K5 (+1 0 0)	
60	K7 (-1+1-1)		K6 (-1+1+1)		K11 K20 (0 +1 0)		K2 (+1+1-1)		K1 (+1+1+1)

При этом колонны K 12 и K 21, K 13 и K 22, K 14 и K 23 – были попарно близнецами, а колонны K 15, K 16, K 17, K 18 и K 19 – близнецами.

Таблица 2 – Факторы варьирования для трехфакторной модели эксперимента

Факторы, которые исследуются		Уровни варьирования			Интервал варьирования
код	натуральные значения	«-1»	«0»	«+1»	
X <sub>1</sub>	Высота колонны h [м]	1,0	1,75	2,5	0,75 [м]
X <sub>2</sub>	Угол откола $\Theta$ , градусы	0	30	60	30 [°]
X <sub>3</sub>	Высота откола b <sub>1</sub> , мм	20	60	100	40 [мм]

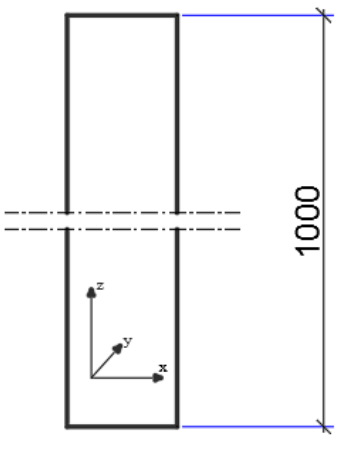
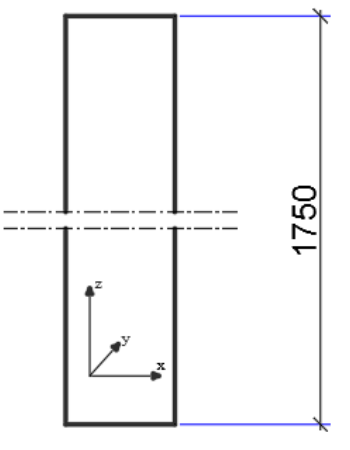
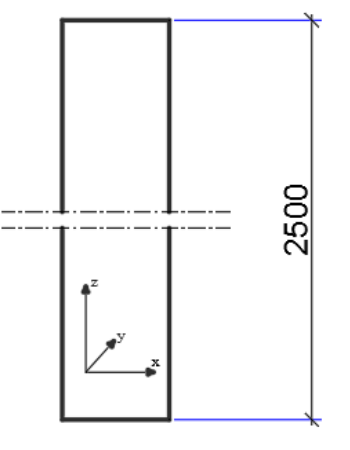
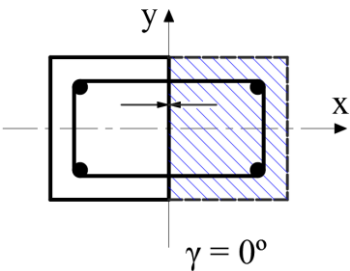
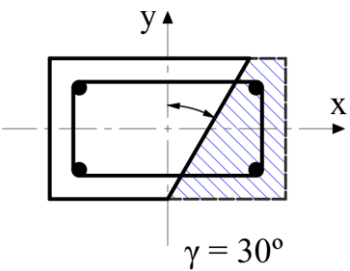
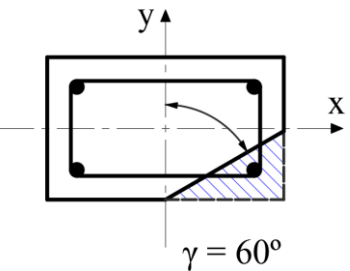
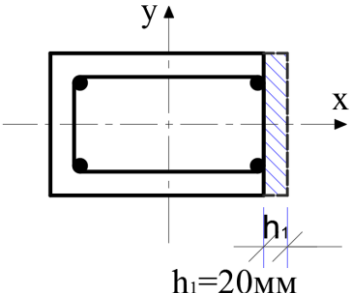
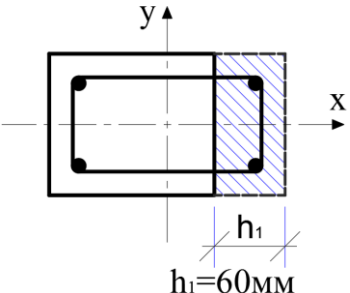
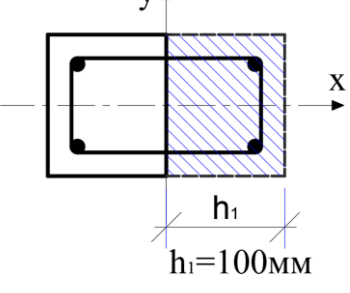
Основными факторами варьирования на основе изучения и анализа литературных источников выбраны:

- высота колонны;
- угол наклона фронта повреждения (откола);
- высота повреждения.

Графическое представление варьируемых факторов приведено в таблице 3.

Специально для проведения эксперимента в специальный стальной клетке был спроектирован с использованием гидравлического пресса мощностью 3000 тонносил, со шкалой 10 тонносил. Клетка монтируется по модели проекта в компании „Hidroelektra dd“ из Загреба. Она приведена на рис 1. Клетка рассчитана на несущую способность 3000 кН, с коэффициентом безопасности 4,0.

Таблица 3 – Графическое представление факторов варьирования

	-1	0	+1
$x_1$ ( $l$ ) [мм]			
$x_2$ ( $\gamma$ ) [°]			
$x_3$ ( $h_1$ ) [мм]			

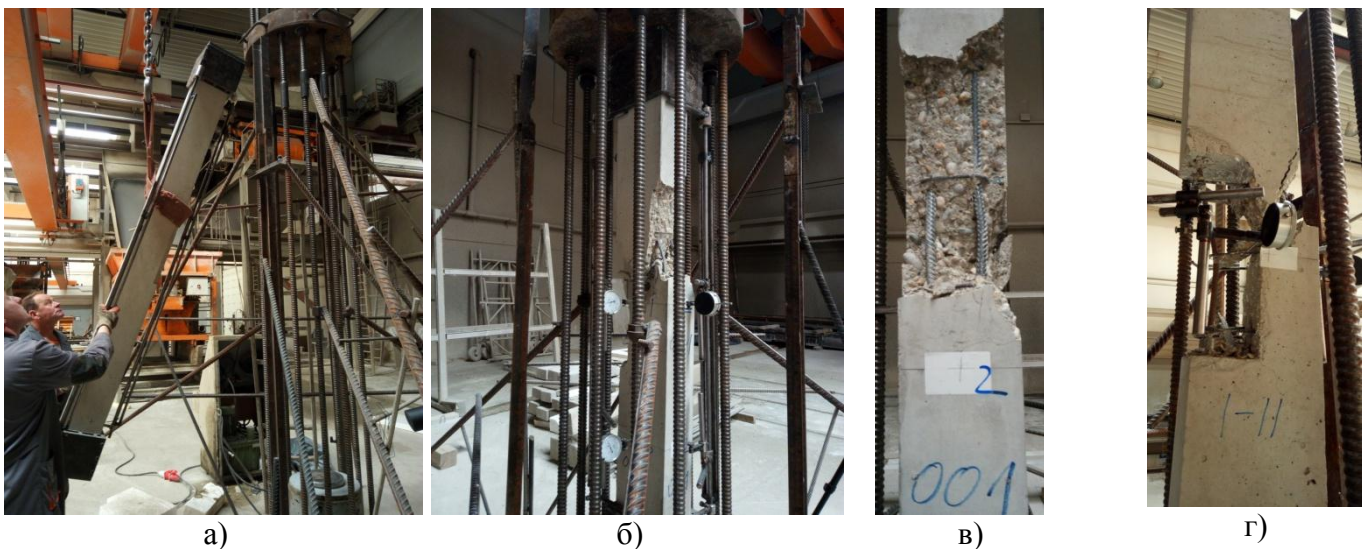
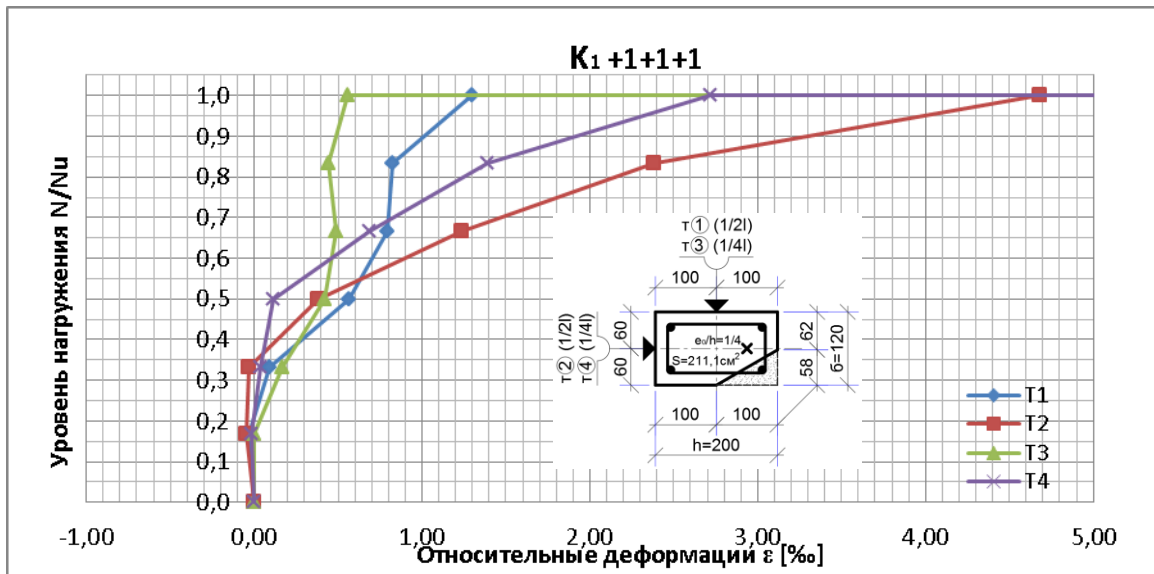
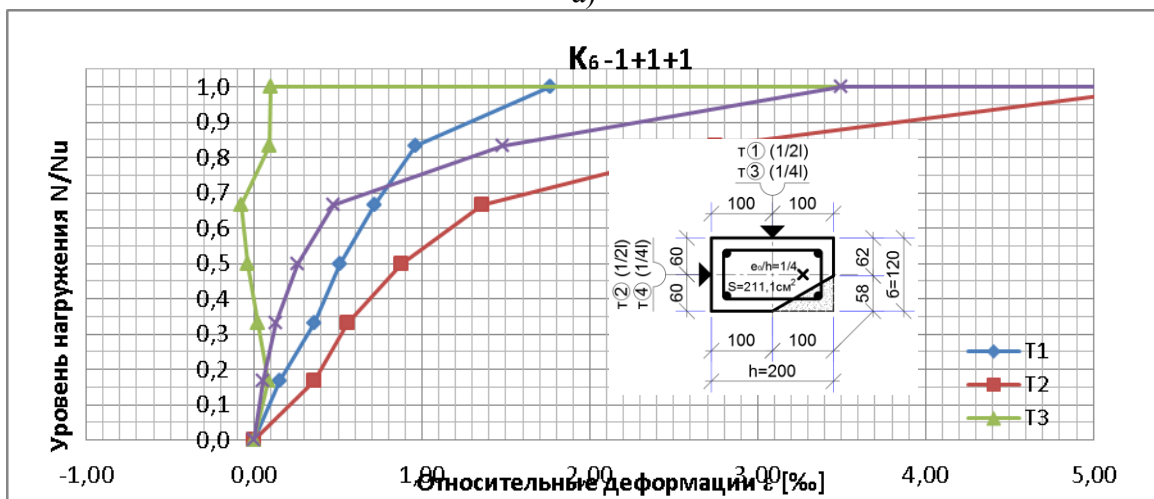


Рис. 1. Испытание колонн: а – установка образца в испытательный стенд; б – схема расстановки приборов; в – колонна К 13 после испытаний; г – то же колонна К 3.

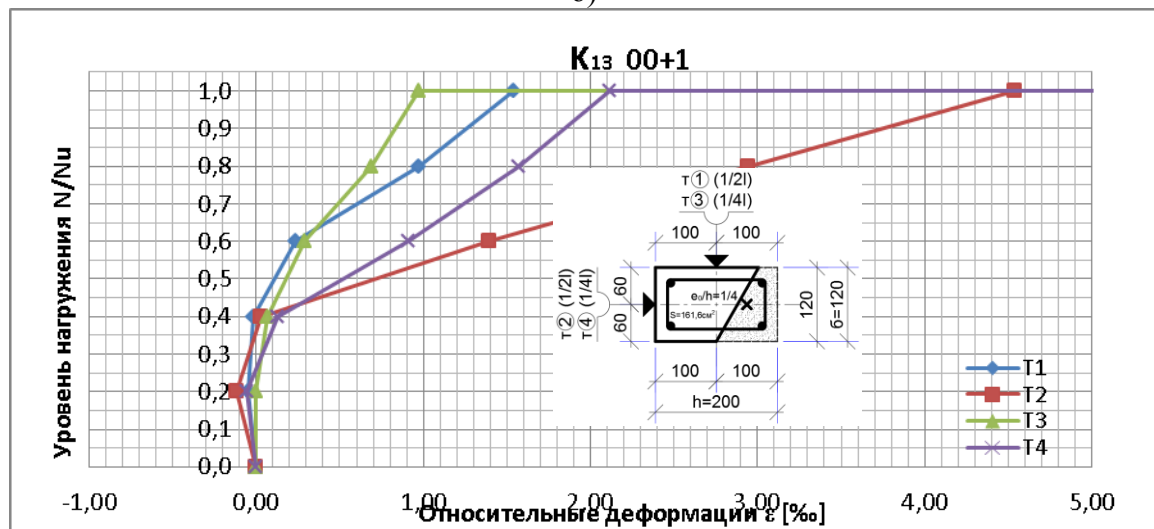
В результате проведенных исследований получено деформируемое состояние опытных образцов под действием сжимающей нагрузки. Примеры деформирования приведены на графиках (рис. 2).



а)



б)



в)

Рис. 2. Графики перемещения сечений колонн: а – большой гибкости (К 1); б – средней гибкости (К 6); в – малой гибкости (К 13)

Анализируя графики, приведенные на рис. 2, можно заключить, что имеет место косое внецентренное сжатие. Оно вызвано не эксцентричным приложением нагрузки в двух направлениях, а тем, что фронт повреждения не параллельный главным осям неповрежденного сечения. С увеличением гибкости нарастание прогибов происходит более интенсивно.

#### **Выводы и перспективы дальнейших исследований:**

1. В ходе проведенных натурных (лабораторных) экспериментов получены параметры деформированного состояния сжатых железобетонных колонн различной гибкости, поврежденных в процессе эксплуатации, а также их разрушающие продольные силы.

2. Установлено, что определяющим варьируемым фактором, влияющим на остаточную несущую способность поврежденных элементов, есть гибкость.

3. В ходе дальнейших исследований необходимо:

– провести статистический анализ влияния выбранных факторов и их взаимное влияние;

– разработать, базируясь на основных предпосылках действующих норм, методику расчета остаточной прочности поврежденных железобетонных колонн различной гибкости.

#### **Литература**

1. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. – Мінрегіонбуд України. – К., 2017. – 45 с.

2. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування. – Мінрегіонбуд України. – К., 2009. – 97 с.

3. Клименко Е.В. Поврежденные бетонные сжатые конструкции: работа, расчет. / Е.В. Клименко, Г.М. Мустафа // Одесса: Одесский нац. ун-т им. И.И. Мечникова, 2014. – 169 с.

4. Клименко Е.В. Работа поврежденных железобетонных колонн / Е.В. Клименко, Т.А. Крутько // Одеса: Одеська державна академія будівництва та архітектури, 2014. – 137 с.

5. Клименко Е.В. Approach to calculation of structural reliability and procedures for the evaluation of current state of construction / Е.В. Клименко, М. Орешкович, Ж. Кос // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2015. – Вип. 61. – С. 176-185.

6. Клименко Е.В. Исследование проблемы остаточного ресурса прочности поврежденных кирпичных внецентренно сжатых столбов / Е.В. Клименко, Е.С. Чернева, И.И. Гринева // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленность: материалы междунар. науч.-техн. конф. молод. ученых. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2016. – С. 139.

7. Клименко Є.В. Технічні проблеми керування залишковим ресурсом об'єктів культурної спадщини / Є.В. Клименко // Збереження історичної забудови центра Одеси шляхом включення до основного списку всесвітньої спадщини ЮНЕСКО: Матеріали III і IV конференцій. – Одеса: ОДАБА, 2016. – С. 68-74.

8. Клименко Е.В. Общий метод определения остаточной несущей способности поврежденных железобетонных конструкций / Е.В. Клименко, Т.А. Крутько, А.М. Исмаель // Строительство, материаловедение, машиностроение // Сб. научн. трудов. Вып. 77, –Дн-вск, ГВУЗ «ЛГАСА», 2014. – С. 85-89.

Стаття надійшла 24.04.2017