

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ БАЛКИ-СТЕНКИ С ОТВЕРСТИЯМИ НА НЕРАВНОМЕРНО ДЕФОРМИРУЕМОМ ОСНОВАНИИ

Кичаева О.В., Яковлев Е.А.

Харьковский национальный университет
городского хозяйства имени А.Н. Бекетова

Убийвовк А.В.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
г. Харьков, Украина

АННОТАЦИЯ: У статті викладено результати досліджень фрагмента цегляної стіни, що представляє собою балку-стінку, що зазнає деформації вигину. За даними випробувань побудовані залежності відносних і абсолютних деформацій від навантаження, а також виконано розрахунок фрагмента стіни чисельно-аналітичним методом.

АННОТАЦИЯ: В статье изложены результаты исследований фрагмента кирпичной стены, представляющей собой балку-стенку, испытывающую деформацию выгиба. По данным испытаний построены зависимости относительных и абсолютных деформаций от нагрузки, а также выполнен расчет фрагмента стены численно-аналитическим методом.

ABSTRACT: The article presents the results of research fragment of a brick wall, which is a beam-wall, experiencing the strain of dish. According to the tests according to the relative and absolute deformations of the load are constructed, and the wall fragment of a numerical-analytical method is calculated.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: балка-стенка, неравномерно деформируемое основание, напряженно-деформированное состояние, фрагмент кирпичной стены.

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатация системы «основание – фундамент – сооружение» при неравномерных осадках основания (независимо от причин их возникновения) может быть не в достаточной мере надежной. Установление закономерностей процесса трещинообразования в кирпичных стенах системы ОФС при неравномерных осадках в условиях эксперимента, а также методы расчета таких конструкций – актуальная задача. Балки-стенки отличаются высокой несущей способностью и индустриальностью в изготовлении и монтаже, их применяют в качестве несущих и ограждающих конструкций, поэтому статический и динамический расчеты балок-стенок имеют большое практическое значение. Методы расчета балок-стенок на упругом основании, основанные на уравнениях теории упругости, связаны со сложным математическим аппаратом и громоздкими вычислениями. В свою очередь, инженерный подход к задачам данного типа требует решений, с помощью которых несложно определить величины расчетных усилий и перемещений.

Точное решение в аналитической форме уравнений теории упругости при соблюдении граничных условий возможно лишь в некоторых частных случаях нагружения тел и условий их закрепления. Поэтому для инженерной практики имеют важное значение приближенные методы решения задач прикладной теории упругости. Одним из таких методов является метод конечных разностей (МКР), или метод сеток [1, 2].

С.Н. Клепиков [3] рассматривал работу балки-стенки, опирающуюся на упругое винклерово основание переменной жесткости. Расчет балок-стенок сводится к отысканию функции напряжений $\varphi(x, y)$, удовлетворяющей внутри области, ограниченной контуром балки-стенки, бигармоническому уравнению:

$$\frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4} = 0 \quad (1)$$

и обладающей на границе этой области заданными значениями.

Компоненты напряжений определяются дифференцированием функции напряжений:

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}; \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}; \quad \tau = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}. \quad (2-4)$$

В работе проф. Матросова А.В. [4] описан алгоритм численно-аналитического метода расчета упругих систем, работающих в условиях плоской задачи теории упругости. Данный метод основан на декомпозиции системы на прямоугольные области и построении для каждой из них общего решения на основе метода начальных функций с последующим их соединением по линиям контакта с использованием условий взаимодействия областей между собой для построения системы линейных уравнений определения неизвестных

коэффициентов в решениях. Работа Г.Дж. Адыракаевой [5] посвящена разработке методики расчета балок-стенок при действии вертикальных нагрузок, которая основана на методе сосредоточенных деформаций.

Вопросы расчета балок-стенок, опирающихся на неравномерно деформируемое основание, еще недостаточно разработаны.

Цель исследования - определение характера неравномерных деформаций системы «основание – фундамент – сооружение» посредством проведения экспериментальных исследований фрагментов кирпичных стен при условиях опирания, имитирующих неравномерные осадки основания в виде выгиба, оценка несущей способности фрагментов кирпичных стен, а также возможность применения численно-аналитического метода для расчета балок-стенок на неравномерно-деформируемом основании.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Расчетная схема – балка-стенка с двумя проемами на неподвижной опоре, нагруженная равномерно распределенной нагрузкой. Стена сверху обжимается жесткими траверсами – 2 швеллера 18 с листами и может быть доведена до разрушения (рис. 1).

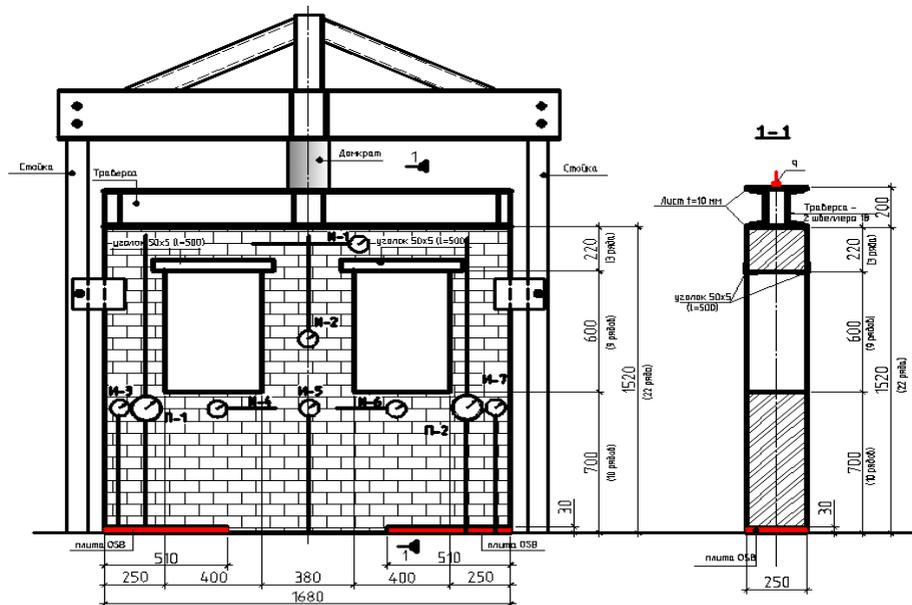


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Материал – силикатный одинарный кирпич 250x120x65 мм марки М150, раствор марки М100, толщина шва 10 мм, расчетное сопротивление кладки на сжатие $f_d = 2,2$ МПа. Неравномерное опирание создается за счет опирания части стены на слой плиты OSB толщиной 30 мм длиной 0,3l от общей длины фрагмента стены (рис. 2).



Рис. 2. Фото экспериментальной установки

Модуль деформации трехслойной плиты OSB по результатам испытаний составляет 30,4 МПа. Измерительные приборы устанавливались в зонах: а) с наибольшими ожидаемыми значениями деформаций, перемещений, б) на участках возможных разрушений (по результатам расчетов на ЭВМ); установка приборов осуществлялась с двух сторон фрагмента стены зеркально. Нагружение опытных образцов производилось при помощи гидравлического домкрата; нагрузка прикладывалась ступенями по 2,0, 3,0 и 5,0 т, при этом фиксировалась нагрузка трещинообразования. Измерения деформаций производились до разрушения образца, при этом определялось среднее значение по двум индикаторам, установленным с двух сторон образца; использовались индикаторы часового типа ИЧ-10 с ценой деления 0,01, 0,001 и 0,002 мм, и прогибомеры 6ПАО с ценой деления 0,01 мм

(рис. 3). Усилие возрастало равномерно, во время снятия отсчетов по приборам нагрузка поддерживалась на постоянном уровне.

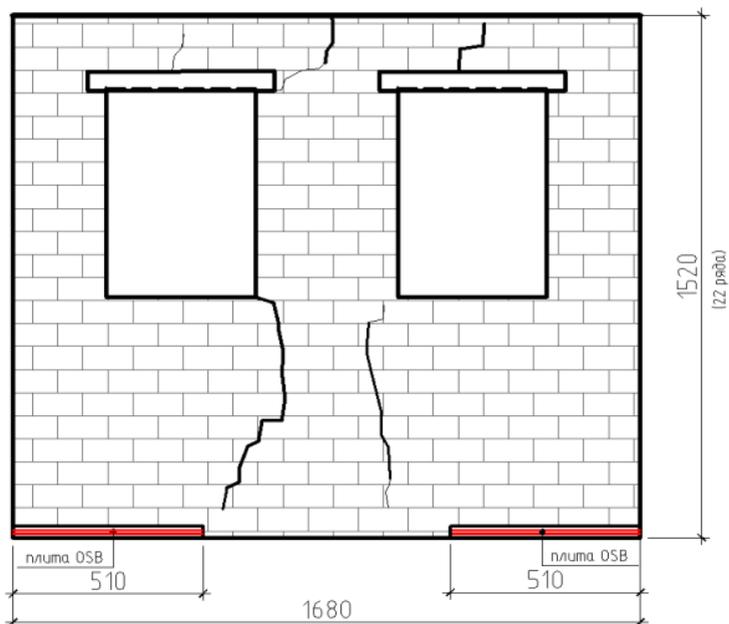


Рис. 3. Схема трещинообразования фрагментов кирпичных стен

Подробно процессы трещинообразования описаны в [6]; схема трещинообразования – рис. 3. По результатам обработки данных контрольно-измерительной аппаратуры были построены графики зависимости относительных деформаций от нагрузки (рис. 4 - 8).

Расчет выполнен численно-аналитическим методом, описанным в [4]. Данный метод был применен проф. А.В. Матросовым для конструкций на упругом основании, а именно для балки-стенки на упругом изотропном основании. Расчетная схема балки-стенки для сокращения объемов вычислений выбрана с учетом симметрии стенки и составлена из прямоугольных областей, которые находятся в условиях плоской задачи теории упругости. Любая из четырех граней каждой прямоугольной области может принадлежать границе сечения либо всего тела, либо соприкасаться с гранью другой прямоугольной области, полностью совпадая с ней. На гранях соприкасающихся элементов задаются граничные условия, обеспечивающие непрерывность перемещений и напряжений.

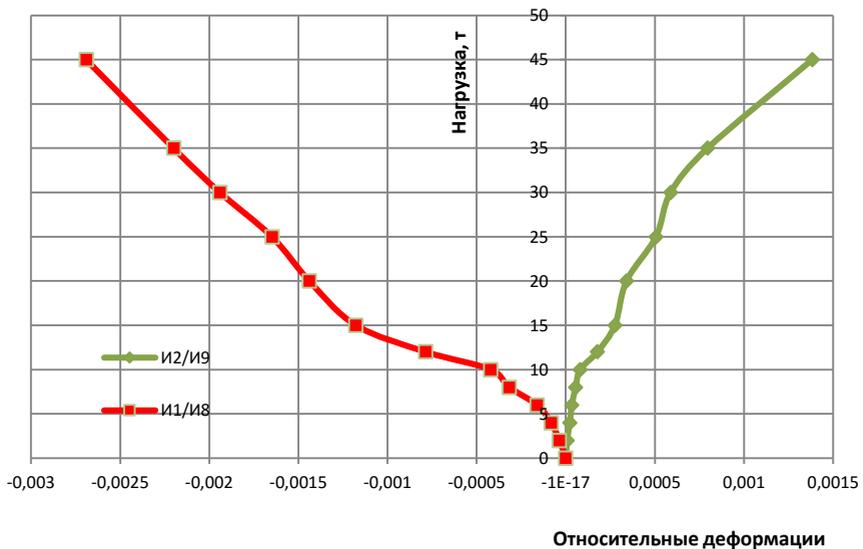


Рис. 4. Зависимость «нагрузка - относительные деформации» (индикаторы И2/И9 – сжатие, И1/И8 – растяжение)

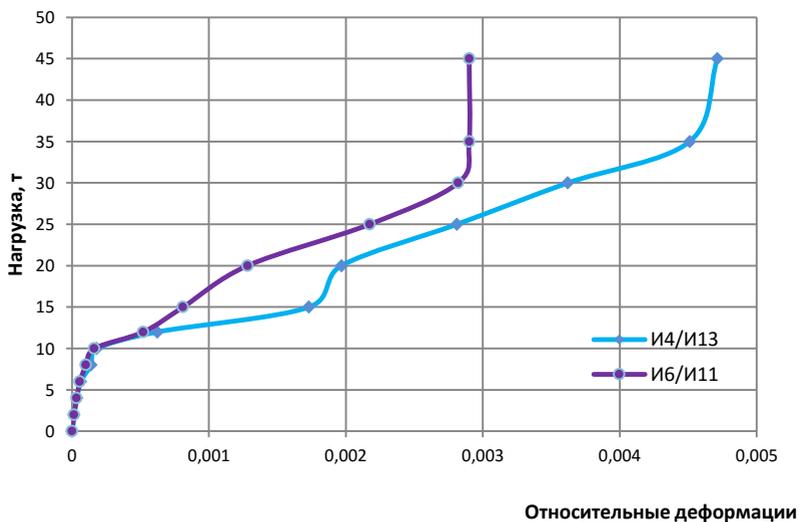
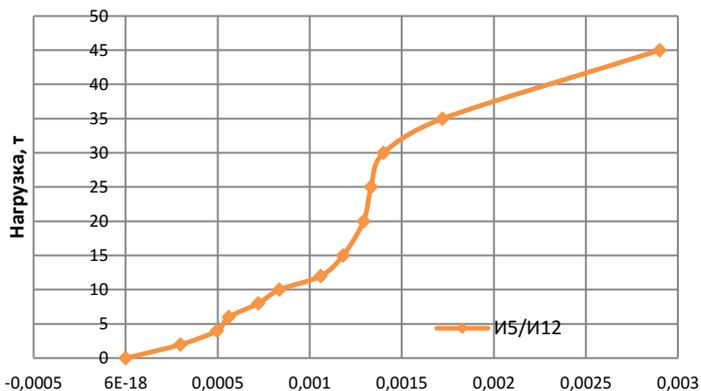


Рис. 5. Зависимость «нагрузка - относительные деформации» (индикаторы И4/И13, И6/И11 – растяжение)



Относительные деформации

Рис. 6. Зависимость «нагрузка - относительные деформации» (индикаторы И5/И12 – сжатие)

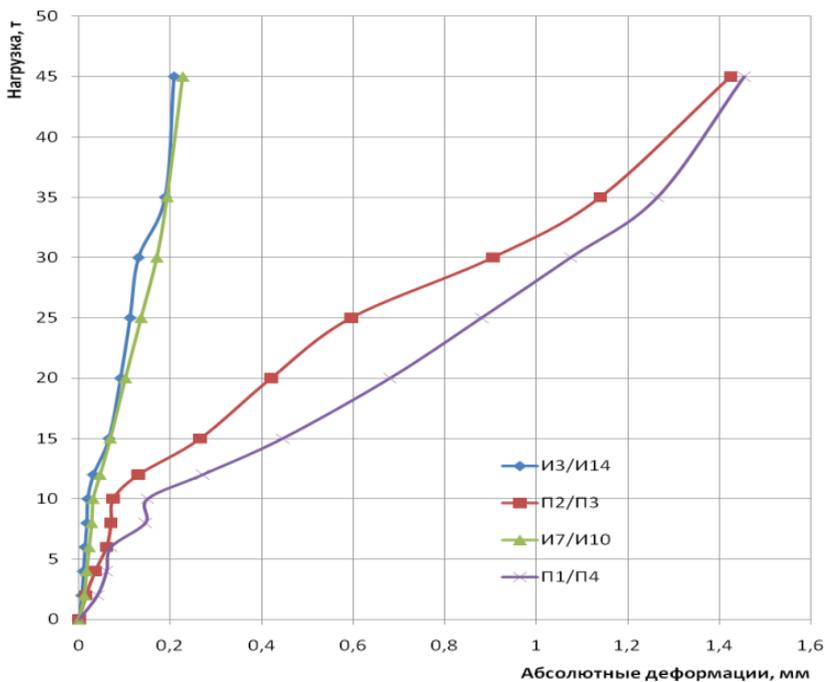


Рис. 7. Зависимость «нагрузка – абсолютные деформации» (индикаторы И3/И14, И7/И10, прогибомеры П2/П3, П1/П4)

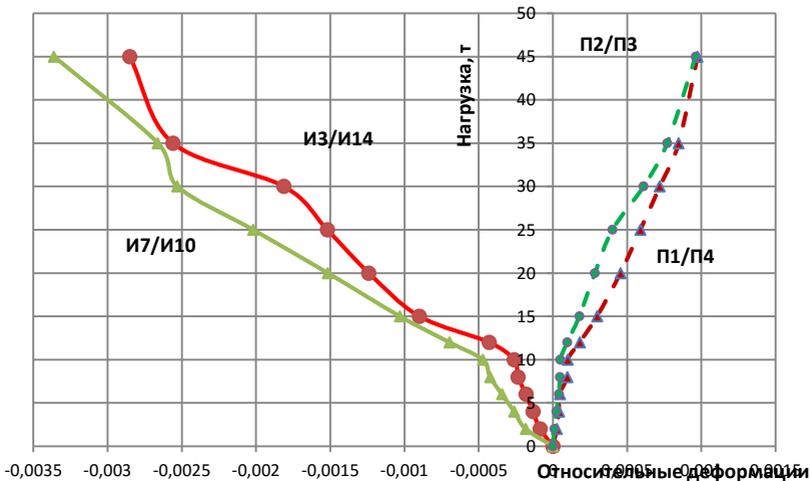


Рис. 8. Зависимость «нагрузка – относительные деформации» (индикаторы И3/И14, И7/И10, прогибомеры П2/П3, П1/П4)

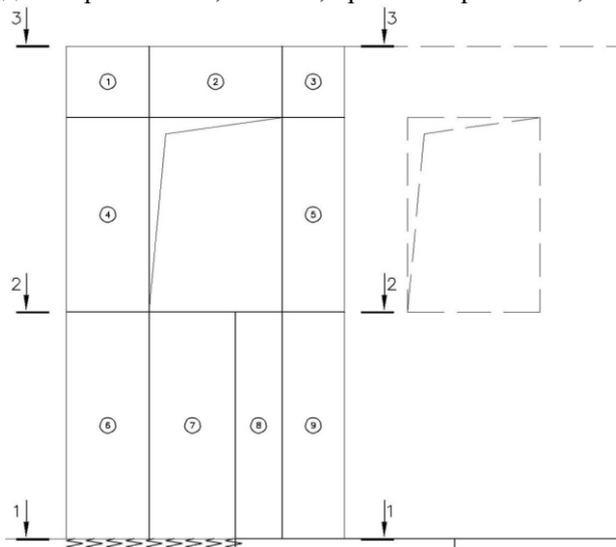


Рис. 9. Расчетная схема балки-стенки

Разбивка расчетной схемы в соответствии с требованиями метода выполнена на девять прямоугольных областей так, что на каждой из граней области граничные условия (или условия контакта с соседними областями) являются однородными.

В расчетах учитывалось по 25 гармоник в разложениях функций компонентов напряженно-деформированного состояния.

Результаты расчета (перемещения и напряжения) представлены для характерных сечений 1 – 1, 2 – 2, 3 – 3 (рис. 9).

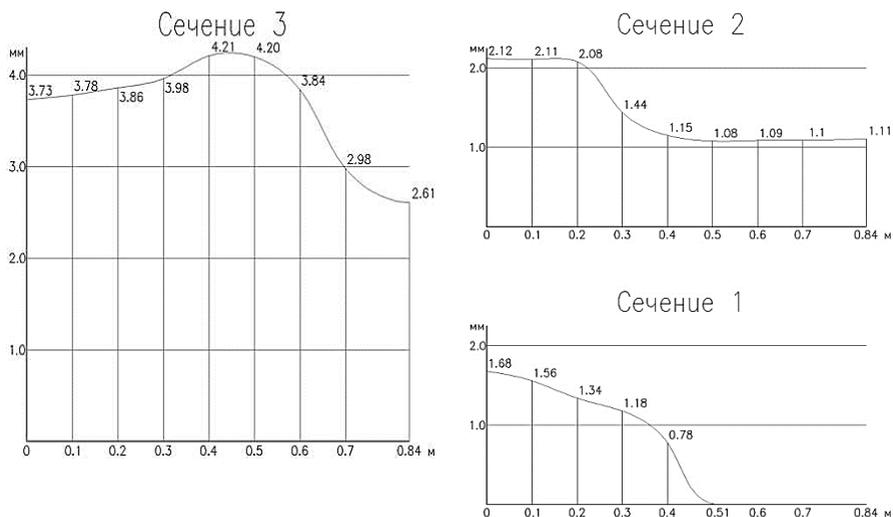


Рис. 10. Вертикальные перемещения в сечениях

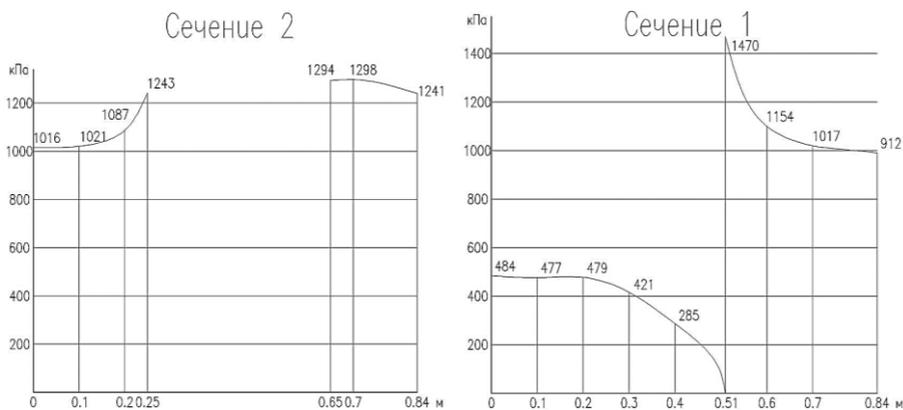


Рис. 11. Вертикальные напряжения в сечениях 1 – 1, 2 – 2

ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВА ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведены экспериментальные исследования характера деформаций системы ОФС на примере фрагмента кирпичных стен, опирающегося на

неравномерно деформируемое основание. По данным испытаний построены зависимости относительных и абсолютных деформаций от нагрузки, а также выполнен расчет фрагмента стены численно-аналитическим методом, по результатам которого получены значения вертикальных перемещений и напряжений в характерных сечениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимошенко, С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М. : Наука, 1975. – 576 с.
2. Жемочкин Б.Н. Теория упругости / Б.Н. Жемочкин. – М. : Изд-во лит-ры по строительству и архитектуре, 1957. – 257 с.
3. Клепиков С.Н. Расчет конструкций на упругом основании / Клепиков С.Н. – К.: Будівельник, 1967. – 184 с.
4. Матросов А.В. Численно-аналитический расчет балок-стенок на линейно-упругом основании / А.В. Матросов // Журнал университета водных коммуникаций. – 2011. - Вып. 2. - С. 14 – 21
5. Адыракаева Г.Дж. Расчет балок-стенок методом сосредоточенных деформаций / Г. Дж. Адыракаева // Вестник КРСУ. – 2010. – Том 10. Вып. № 2. - С. 132 – 137.
6. Кичаева О.В. Деформации зданий и сооружений как результат процессов, происходящих в грунтах основания / О.В. Кичаева, А.В. Убийвовк, А.М. Левенко // Основы та фундаменти: зб. наук. праць. – К.: КНУБА. – 2015. – Вип. 37. – 371 -382.

REFERENCES

1. Timoshenko, S.P. Teoriya uprugosti / S.P. Timoshenko, Dzh. Guder. – М. : Nauka, 1975. – 576 p.
2. Zhemochkin, B.N. Teoriya uprugosti / B.N. Zhemochkin. – М. : Izd-vo lit-ry po stroitelstvu i arhitekture, 1957. – 257 p.
3. Klepikov S.N. Raschet konstruksiy na uprugom osnovanii. – Izd. «Budivelnik», K., 1967. – 184 p.
4. Matrosov A. V. Chislenno-analicheskiiy raschet balok-stenok na lineyno-uprugom osnovanii / A. V. Matrosov // Zhurnal universiteta vodnyh kommunikatsiy. – 2011. - V. 2. - P. 14 – 21
5. Adyrakaeva G.Dzh. Raschet balok-stenok metodom sosredotochennyh deformatsiy / G. Dzh. Adyrakaeva // Vestnik KRSU. – 2010. – Tom 10. V. 2. - P. 132 – 137.
6. Kichaeva O.V. Deformatsii zdaniy i sooruzheniy kak rezultat protsessov, proishodyashchih v gruntah osnovaniya / O.V. Kichaeva, A.V. Ubiyvovk, A.M. Levenko // Kiev, KNUBA, Mizhvidomchiy naukovo-tehnichniy zbirnik «Osnovi ta fundamenti». – 2015. – V. 37. – P. 371 -382.

Статья поступила в редакцию 27.07.2016 г.