Источник: Ковров, А. В. О формировании напряженно-деформированного состояния железобетонных рамно-связевых каркасов с учетом изменения технологии их возведения / А. В. Ковров, А. В. Ковтуненко, А. М. Кушнир, Н. К. Высочан // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2016. – Вып. 8. – С. 84–97. https://doi.org/10.23746/2016-8-5

Ковров Анатолий Владимирович, канд. техн. наук, профессор, ректор, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса (Украина)

Ковтуненко Алексей Владимирович, канд. техн. наук, доцент, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса (Украина)

Кушнир Алексей Михайлович, канд. техн. наук, доцент, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса (Украина)

Высочан Нина Константиновна, ассистент кафедры, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса (Украина)

Anatoliy Kovrov, PhD in Engineering Science, Professor, Rector, Odessa State Academy of Building and Architecture, Odessa (Ukraine)

Alexey Kovtunenko, PhD in Engineering Science, Associate Professor, Odessa State Academy of Building and Architecture, Odessa (Ukraine)

Alexey Kushnir, PhD in Engineering Science, Associate Professor, Odessa State Academy of Building and Architecture, Odessa (Ukraine)

Nina Vysochan, assistant, Odessa State Academy of Building and Architecture, Odessa (Ukraine)

О ФОРМИРОВАНИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАМНО-СВЯЗЕВЫХ КАРКАСОВ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ВОЗВЕДЕНИЯ

ABOUT FORMATION OF THE STRESS-STRAIN CONDITION OF REINFORCED CONCRETE FRAME-ARTICULATED STRUCTURE WITH CONSIDERATION OF THEIR CONSTRUCTION TECHNOLOGY

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается проблема влияния последовательности создания расчетной схемы на формирование напряженно-деформированного состояния элементов несущих систем многоэтажных зданий, в том числе при их реконструкции.

Целью работы является создание методики и анализ влияния последовательности формирования расчетной схемы и порядка приложения нагрузок на формирование напряженно-деформированного состояния железобетонных статически неопределимых рамных конструкций.

Предложена методика определения напряженно-деформированного состояния железобетонных рамных конструкций, основанная на численно-аналитическом методе граничных элементов, позволяющая исследовать работу систем вплоть до предельного состояния и соответствующая физическому характеру их работы.

Приведен пример расчета поперечной рамы железобетонного рамно-связевого каркаса пятиэтажного двухпролетного здания административно-производственного назначения с учетом порядка приложения нагрузок в соответствии с предложенной методикой.

Расчет выполнен при помощи программы, разработанной в системе компьютерной математики MATLAB, основанной на численно-аналитическом методе граничных элементов, позволяющей учитывать процессы трещинообразования.

При определении напряженно-деформированного состояния железобетонных рамно-связевых конструкций с учетом процессов трещинообразования при помощи численно-аналитического метода граничных элементов производится разбиение отдельных стержней (стоек и ригелей) рамно-связевой конструкции на участки с кусочно-постоянной жесткостью.

Предложенная методика основана на изучении технологической схемы возведения здания с разбиением выполнения расчетов на соответствующие этапы.

Приведенные результаты численного эксперимента по исследованию степени перераспределения внутренних усилий в зависимости от поэтапности возведения железобетонного каркаса здания, приложения нагрузок и трещинообразования на действие расчетных нагрузок свидетельствуют о превышении возникающего изгибающего момента расчетной несущей способности.

При расчете на действие характеристических нагрузок запас несущей способности составляет 18 %.

ABSTRACT

In article, the problem of the design scheme creation sequence and load application influence on formation of the stress-strain condition of the bearing systems elements of multistory buildings including in their reconstruction is considered.

The purpose of work is development of a method and the analysis of influence of the design scheme creation sequence and a load application order on formation of the stress-strain condition of reinforced concrete statically indeterminable frame structures.

The method of definition of the stress-strain condition of the reinforced concrete frame structures, based on a numerically analytical method of boundary elements that allows to investigate the work of systems up to a limit state and corresponding to physical nature of their work is offered.

The analysis example of reinforced concrete frame-articulated cross framework of the five-floor two-span building of administrative and production appointment with consideration of load application order according to the offered method is given.

Analysis is done by means of the program developed in system of computer mathematics of MATLAB based on a numerically analytical method of boundary elements that allows considering cracking processes.

In determining of the stress-strain condition of reinforced concrete frame-articulated constructions with consideration of cracking processes by means of a numerically analytical method of boundary elements the partition of separate elements (columns and crossbars) of frame-articulated construction on pieces with piecewise and constant stiffness is made.

The offered method is based on analysis of the technological scheme of the building construction with partition of analysis performance into the corresponding stages.

The given results of numerical experiment on research of degree of internal forces redistribution, depending on construction stages of a reinforced concrete building framework, load application and cracking on action of design loads shows that the arising bending moment exceeds the design bearing capacity.

At analysis on action characteristic loads the bearing capacity reserve makes 18 %.

Ключевые слова: трещинообразование, численно-аналитический метод граничных элементов, порядок загружения.

Keywords: numerical-analytical method of border elements, order of loading, cracking.

ВВЕДЕНИЕ

В практике проектирования рамно-связевых железобетонных каркасов при определении напряженно-деформированного состояния используют расчетные схемы окончательно возведенного здания с такими параметрами, которыми оно будет обладать после сдачи в эксплуатацию. В практике монтаж ригелей последующего этажа происходит после укладки плит перекрытия на предыдущем этаже. Расчетная схема с возведением каждого этажа наращивается, и соответственно создается напряженно-деформированное состояние системы, и, как следствие, иногда возникает существенное расхождение внутренних усилий по сравнению с классическим расчетом. Таким образом, в отличие от применяемой окончательно-сформированной расчетной схемы, в которой нагрузка от нижележащих ригелей вызывает появление внутренних усилий в стойках и ригелях вышележащих этажей, при реальном возведении большая часть постоянной нагрузки не влияет на формирование усилий в конструкциях верхних этажей.

Перераспределение внутренних усилий вызвано процессами трещинообразования в реальных условиях, происходит в зависимости от технологии возведения здания. Вышеизложенное обусловливает необходимость развития методик расчета железобетонных статически неопределимых конструкций с учетом последовательности формирования расчетной схемы и приложения нагрузок.

МЕТОДИКА УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КАРКАСОВ

При расчете зданий повышенной этажности необходимо учитывать то, что они являются начально-деформированными сооружениями, то есть сооружениями, в которых имеются деформации и соответствующие им напряжения [5]. Главная причина начальных деформаций таких зданий в этапности их возведения и приложения нагрузок.

Перед выполнением расчетов необходимо изучить принципиальную технологическую схему возведения здания, разбив выполнение расчетов на соответствующие укрупненные этапы. Результаты расчета на каждом этапе являются исходными для выполнения расчетов на последующем.

Технологические карты на монтаж элементов перекрытий многоэтажных зданий с железобетонным сборным каркасом предусматривают выполнение ванной сварки выпусков арматуры ригеля сразу после установки в проектное положение. В практике нередко монтаж выполняется в следующей последовательности:

- закладные детали в консолях колонн и ригелях прихватываются монтажным швом;
- производится монтаж плит перекрытия;
- выполняется сварка выпусков арматуры ригеля;
- осуществляется замоноличивание монтажных стыков, узлов;
- заливка швов плит перекрытий и бетонирование монолитных участков каркаса.

Рассмотрим, как указанные нарушения технологической последовательности влияют на формирование расчетной схемы и величины внутренних усилий в элементах поперечных рам. При выборе расчетных схем в этом случае следует учесть, что часть постоянной нагрузки будет приложена к шарнирно опертому ригелю, а именно собственный вес междуэтажных перекрытий и покрытия.

Для учета последовательности возведения здания выполнение расчета рамно-связевого каркаса здания предполагается разбивать на этапы, которые отвечают технологии возведения сборного каркаса.

Расчет каркаса здания на каждом этапе производится при помощи методики, предложенной в работе [3], блок-схема которой приведена на рисунке 1.

Значения изгибных жесткостей участков каркаса, полученные в результате первого этапа расчета, являются исходными при выполнении расчетов на втором этапе.

Рассмотрим применение предложенной методики на примере расчета поперечной рамы железобетонного рамно-связевого каркаса пятиэтажного двухпролетного здания административно-производственного назначения с учетом порядка приложения нагрузок. Шаг поперечных рам каркаса принят равным 6,0 м. По действующим нормативным документам [2] выполнен сбор постоянной и временной нагрузок на каждый этаж. Расчетная схема возведенного здания по традиционной расчетной схеме при приложении полной расчетной нагрузки приведена на рисунке 2.

Расчет выполнен при помощи программы, основанной на численно-аналитическом МГЭ, позволяющей учитывать процессы трещинообразования [1, 3, 4].

Первоначально произведен расчет окончательно возведенного каркаса здания на действие полных расчетных нагрузок в предположении упругой работы конструкции. По результатам расчета принято армирование и выполнено конструирование элементов железобетонного каркаса.

Стойки армируются симметрично 3Ø16 А400С.

Ригель армируется:

– в пролете: в растянутой зоне: 2Ø16+2Ø18 А400С, в сжатой зоне: 2Ø16 А400С;
– на опорах: в растянутой зоне 2Ø16+2Ø25 А400С, в сжатой зоне 2Ø16 А400С (рисунок 3).

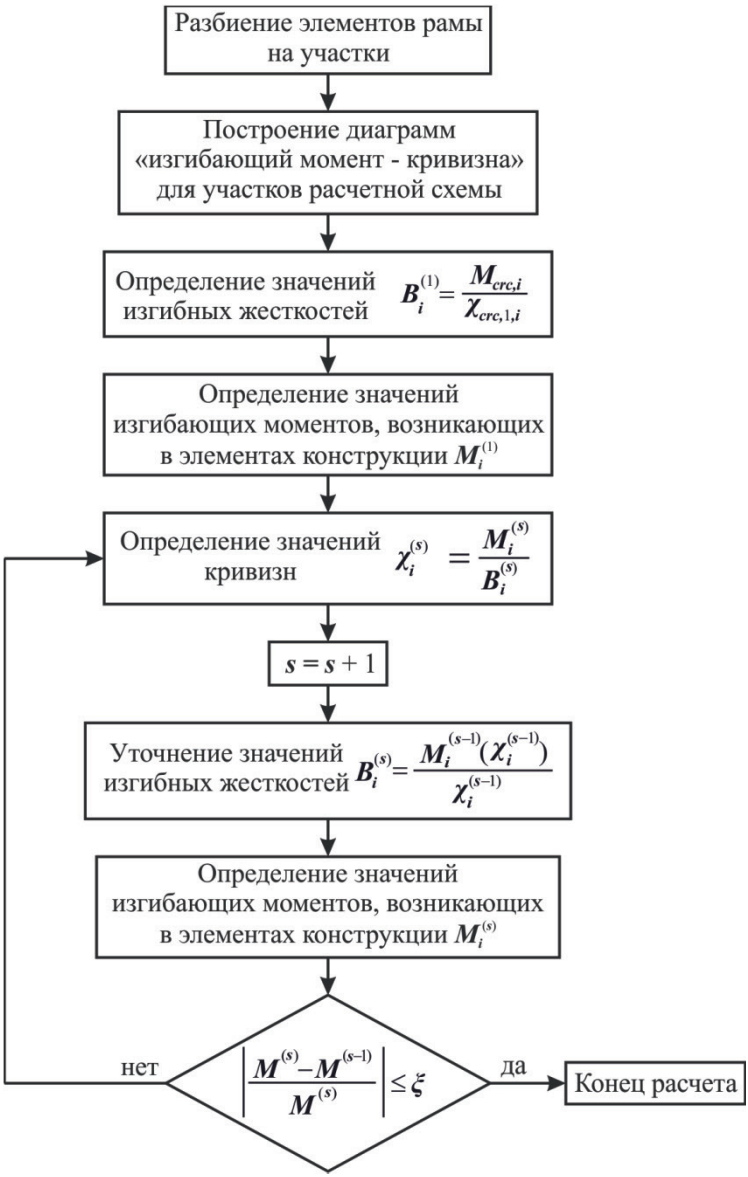

Рисунок 1. Блок-схема определения жесткостей изгибаемых элементов

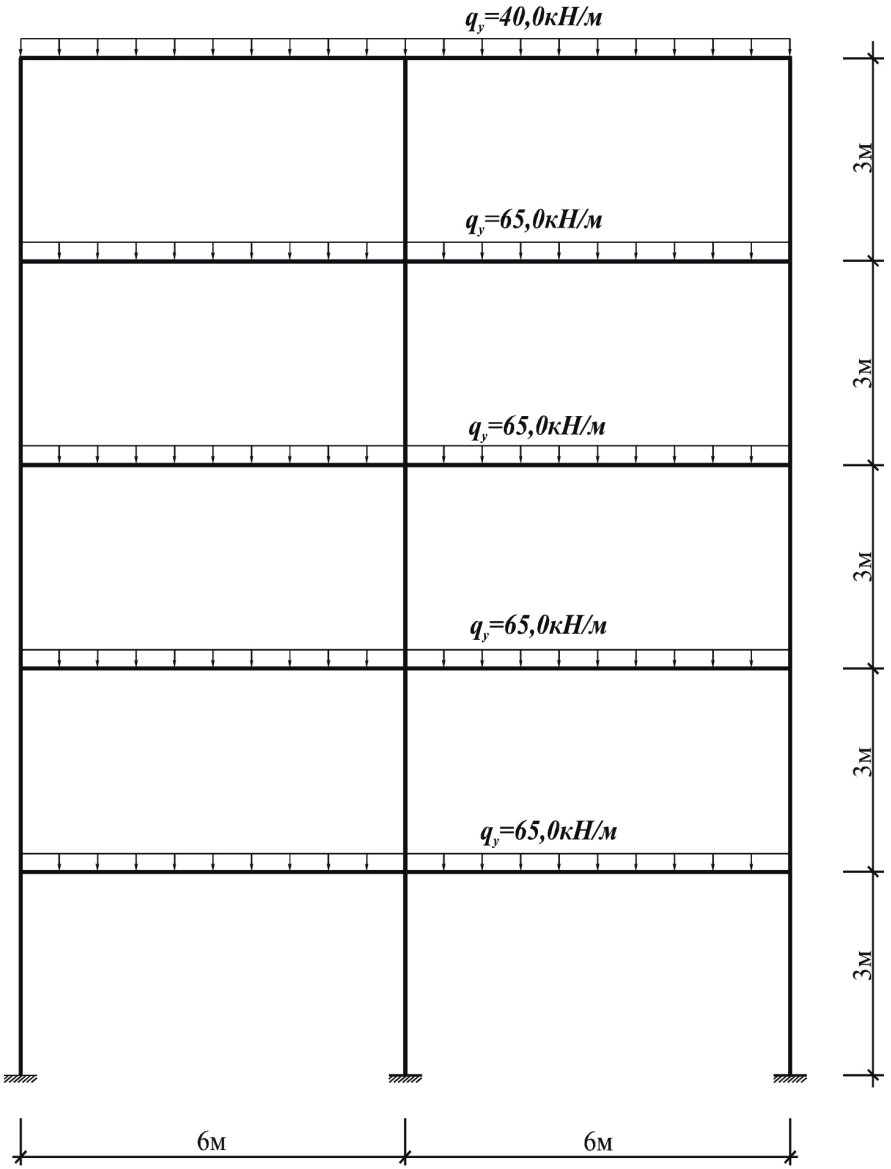

Рисунок 2. Расчетная схема пятиэтажного двухпролетного железобетонного рамно-связевого каркаса на действие полной расчетной нагрузки

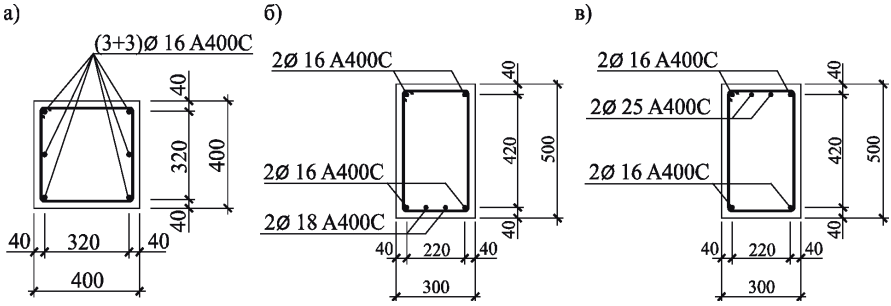

Рисунок 3. Армирование поперечных сечений: а) колонн; б) ригеля (пролетное сечение) в) ригеля (опорное сечение)

Выполнен расчет запроектированного каркаса с учетом процессов трещинообразования.

Далее произведен расчет каркаса здания с учетом последовательности создания расчетной схемы и приложения расчетных нагрузок с использованием расчетных свойств материалов.

Первоначально принимается шарнирное опирание ригелей на колонны, при этом считается, что нагрузка на колонны передается центрально. В качестве нагрузки принимается расчетная нагрузка от несущих конструкций (ригелей и панелей перекрытия), равная $\boldsymbol{q} = 23$ кН/м.

На втором этапе, приняв жесткости элементов по результатам первого этапа, рамная система загружена полной расчетной нагрузкой $\boldsymbol{q} = 65$ кН/м, приведенной на рисунке 2.

На рисунке 4 приведены эпюры изгибающих моментов, возникающих в железобетонном рамном каркасе, возведенном по традиционной расчетной схеме с учетом этапов формирования расчетной схемы при действии полных расчетных нагрузок с учетом трещинообразования.

Анализ результатов расчетов свидетельствует о том, что учет порядка загружения расчетной нагрузкой с учетом нелинейности и трещинообразования на каждом этапе приводит к увеличению пролетного изгибающего момента от действия вертикальной нагрузки до 80% в ригелях покрытия и до 64% в ригелях перекрытия по сравнению с результатами расчета по традиционной

расчетной схеме. При этом значения изгибающих моментов превышают расчетную несущую способность сечений.

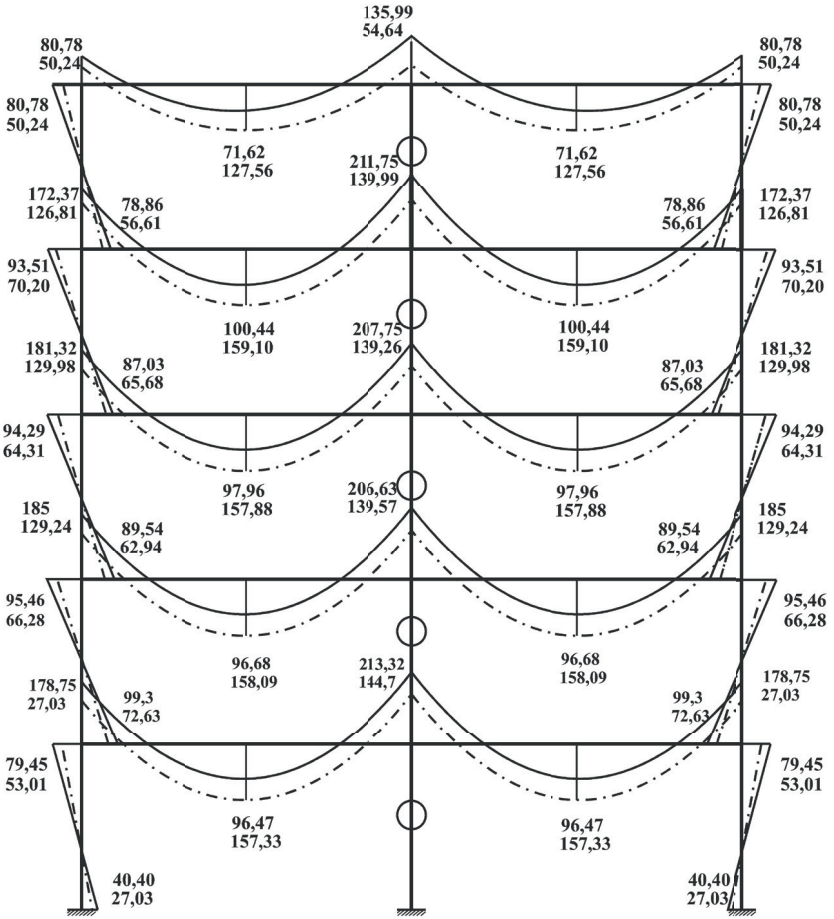

Рисунок 4. Эпюры изгибающих моментов, возникающих в железобетонном рамно-связевом каркасе с учетом трещинообразования на действие полной расчетной нагрузки

——— В возведенном каркасе по традиционной расчетной схеме
—·—·—·— С учетом этапности возведения

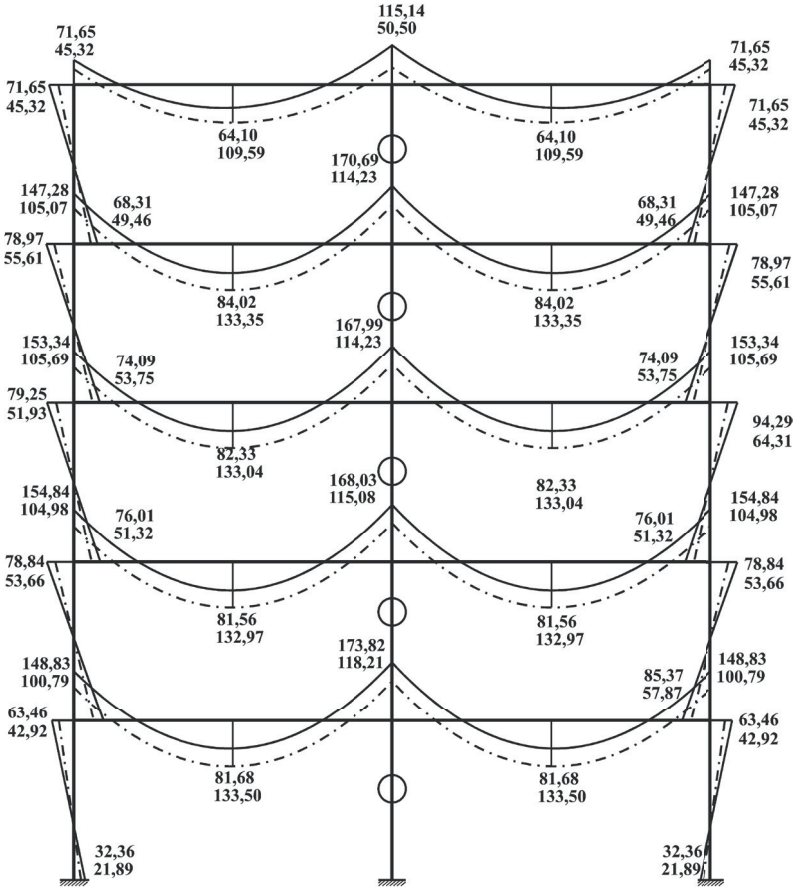

Рисунок 5. Эпюры изгибающих моментов, возникающих в железобетонном рамно-связевом каркасе с учетом трещинообразования на действие полной характеристической нагрузки

———— В возведенном каркасе по традиционной расчетной схеме
—·—·—·— С учетом этапности возведения

В связи с тем, что большинство зданий, возведенных с указанными нарушениями технологии продолжают эксплуатироваться, произведен расчет каркаса с учетом характеристических свойств материалов на действие характеристических нагрузок, которые составляют:

– нагрузка от собственного веса конструкций перекрытия и покрытия $q = 20$ кН/м;
– нагрузка от полной характеристической нагрузки $q = 49{,}2$ кН/м.

На рисунке 5 приведены эпюры изгибающих моментов, возникающих в железобетонном рамном каркасе, возведенном по традиционной расчетной схеме с учетом этапов формирования расчетной схемы при действии характеристической нагрузки.

Анализ результатов расчета свидетельствует о том, что учет порядка загружения и трещинообразования при действии характеристических нагрузок на каждом этапе приводит к увеличению изгибающих моментов в пролетах на 63…71 % по сравнению с результатами расчета по традиционной расчетной схеме. В опорных сечениях ригелей значения изгибающих моментов уменьшаются на 31…37 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учет нарушений технологии возведения каркасных зданий из железобетонных сборных элементов при расчете с поэтапным формированием расчетной схемы позволяет получить более достоверную информацию о НДС уже возведенного здания, что позволяет принять решение о его последующей реконструкции.

Выполнение исследований свидетельствует о том, что нарушение технологии возведения каркасов создает опасность физической потери несущей способности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баженов, В. А. Строительная механика. Специальный курс. Применение метода граничных элементов / В. А. Баженов, Л. В. Коломиец, В. Ф. Оробей.– Одесса: Астропринт, 2003.– 288 с.
2. ДБН В.1.2–2:2006. Нагрузки и воздействия.– Киев: Минстрой Украины, 2006.– 57 с.
3. Дорофеев, В. С. Определение напряженно-деформированного состояния железобетонных рамных конструкций с учетом процессов трещинообразования / В. С. Дорофеев, А. В. Ковров, А. В. Ковтуненко, А. М. Кушнир // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» / НУ «Львівська політехніка».– Львів, 2010.– Вип. № 662.– С. 169–174.
4. Оробей, В. Ф. Решение задач статики, динамики и устойчивости стержневых систем. Применение метода граничных элементов / В. Ф. Оробей, А. В. Ковров.– Одесса, 2004.– 122 с.
5. Русаков, А. И. Учет последовательности возведения здания при расчетах НДС каркаса / А. И. Русаков // Расчет и проектирование железобетонных конструкций (к 85-летию Р. Л. Маиляна) / Ростовский государственный строительный университет.– Ростов-на-Дону, 2009.– С. 42–51.

REFERENCES

1. Bazhenov V. A. *Stroitelnaya mekhanika. Spetsialnyy kurs. Primeneniye metoda granichnykh elementov* [Construction Mechanics. Special course. Applying of Finite Element Method]. Odessa: Astroprint, 2003. 288 p.
2. DBNV. 1.2–2:2006. *Nagruzki i vozdeystviya* [Loads and Effects]. Kiyev, Minstroy Ukrainy, 2006. 57 p.
3. Dorofeyev V. S. Kovrov A. V., Kovtunenko A. V., Kushnir A. M. *Visnyk Natsionalnogo universitety «Lvivska politekhnica»*. Vol. 662. pp. 169–174.

4. Orobey V. F., Kovrov A. V. *Resheniye zadach statiki, dinamiki i ustoichivosti sterzhnevykh sistem. Primeneniye metoda granichnykh elementov* [Exercising in Statics, Dynamics and Bar Systems Stability. Applying of Finite Element Method]. Odessa, 2004. 122 p.
5. Rusakov A. I. *Uchet posledovatelnosti vozvedeniya zdaniya pri raschetakh NDS karkasa* [Considering Succession of Building Erection while Designing Sceleton State of Tense-Strain] // Raschet I proektirovaniye zhelezobetonnykh konstruktsyy (k 85-letiyu R. L. Mailyana). Rostov-na-Donu, 2009. pp. 42–51.

Статья поступила в редколлегию 21.11.2016.