

## **АНАЛИЗ СХЕМ ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ СЕЙСМОСТОЙКИХ ЗДАНИЙ И ИХ УЧЕТ ПО НОРМАМ УКРАИНЫ И ЕВРОКОДА 8**

Колчунов В.И., Яковенко И.А.  
Национальный авиационный университет

Марьенков Н.Г.  
ГП «Государственный научно-исследовательский институт  
строительных конструкций»  
г. Киев, Украина

**АННОТАЦИЯ:** Запропоновано нову класифікацію базових тріщин у залізобетонних конструкціях сейсмостійких будівель, в основу якої покладено геометричну, силову (деформаційну) і межсредовищну концентрацію напружено-деформованого стану з відповідними джерелами-концентраторами.

**АННОТАЦИЯ:** Предложена новая классификация базовых трещин в железобетонных конструкциях сейсмостойких зданий, в основу которой положена геометрическая, силовая (деформационная) и межсредовая концентрация напряженно-деформированного состояния с соответствующими источниками-концентраторами.

**ABSTRACT:** It is proposed the new classification of basic cracks in the reinforced concrete constructions of earthquake-resistant buildings, which is based on geometric, strength (deformation), and cross-media concentration of the stress-strain state with appropriate sources of source-hub.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** базовые трещины, смежные трещины, источники-концентраторы,

Процесс трещинообразования в элементах железобетонных конструкций – явление достаточно сложное, для феноменологического описания которого требуется привлечение ряда гипотез о совместной

работе двух материалов. При этом для железобетонных конструкций сейсмостойких зданий трещинообразование еще более усложняется.

Задача построения расчетного аппарата по образованию трещин в железобетонных конструкциях весьма сложная уже потому, что основная гипотеза механики твердого деформируемого тела (гипотеза сплошности), здесь неприменима, – сплошность нарушается наличием макротрещин. Использование упрощенных подходов здесь также невозможно, так как допускаемая при этом погрешность превышает саму отыскиваемую характеристику ширины раскрытия трещин –  $a_{cr}$ , измеряемую в опытах с помощью микроскопа.

Поэтому до настоящего времени задача не имеет удовлетворительного решения. Однако, несмотря на полярность мнений, найдены и точки их соприкосновения. Так, общепризнано, что расчетные зависимости должны иметь инженерно-обозримый вид, четкий физический смысл, позволяющий более эффективно и творчески использовать их в инженерной практике, которая требует решения далеко не тривиальных задач прикладного характера. С другой стороны, вряд ли следует прибегать к слишком категоричным формулировкам, например, при полном отрицании использования интегро-дифференциальных уравнений, приводящих, как правило, к инженерно-необозримым результатам. Это происходит лишь в случае формализованных приближенных решений таких уравнений. Здесь важно выйти на уровень их аналитической разрешимости, тогда могут быть получены весьма изящные решения.

Важной особенностью напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций в стадии, предшествующей образованию трещин, является наличие неупругих деформаций в растянутом бетоне. В тавровых, двутавровых и предварительно напряженных балках на участках совместного действия изгибающих моментов и поперечных сил растянутый бетон в средней части высоты сечения по направлению действия главных растягивающих напряжений деформируется в стесненных условиях без разрушения.

В сжатом бетоне уровень напряжений, как правило, далек от предельного, однако здесь доля неупругих деформаций может оказывать заметное влияние на характер изменения напряженно-деформированного состояния.

При определении  $\alpha$  – угла наклона главных площадок, будем руководствоваться гипотезой о том, что в неупругой стадии работы бетона (как и в упругой) направления главных деформаций совпадают с направлениями главных напряжений, а направления наибольших сдвигов – с наибольшими касательными напряжениями. Это дает основание определять угол наклона элементарной площадки с главными

деформациями удлинения по формуле Л. В. Кузнецова [1] с введением в нее нормативного коэффициента  $\gamma_{b4}$ . Формула для коэффициента условий работы бетона  $\gamma_{b4}$  получена на основе экспериментальных данных с целью учета влияния на прочность бетона при растяжении главных сжимающих напряжений, а также вида и класса бетона. Применительно к деформациям такая задача до сих пор не ставилась, и опытные данные практически отсутствуют. Если учесть, что в экспериментальных исследованиях обычно измеряются деформации, и затем эти деформации (для широкого диапазона уровней напряжений) переводятся в напряжения на основе линейной зависимости, на данном этапе (впредь до накопления достаточно надежных опытных данных) было решено в качестве первого приближения для определения  $\gamma_{b4}$  пользоваться формулой норм [2, 3].

Для успешного исследования напряженно-деформированного состояния в окрестностях трещин и его анализа, необходимо располагать четкой классификацией трещин, а также неискаженными результатами экспериментов. На сегодняшний день, в работах [4 - 6] рассмотрена классификация трещин, касающихся лишь стержневых железобетонных элементов, в соответствии с которой в железобетонных изгибаемых элементах в зависимости от внешних силовых воздействий образуются трещины трех типов (рис. 1):

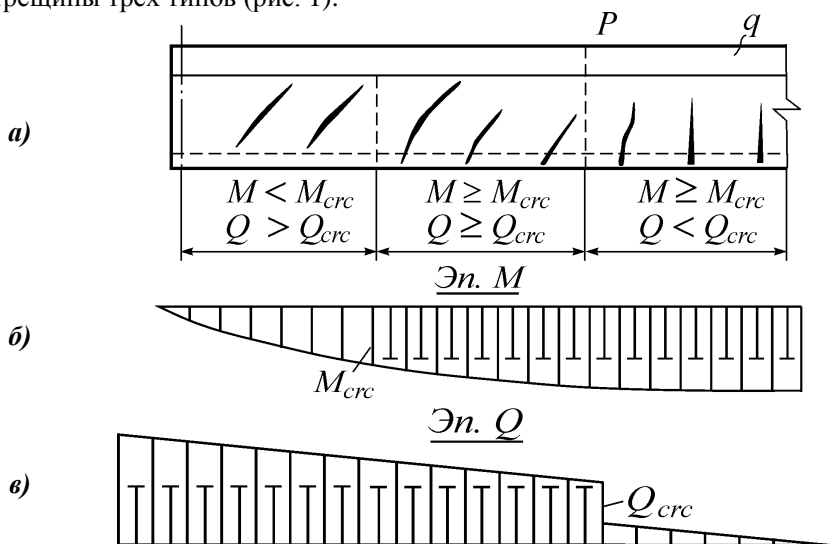


Рис. 1. К классификации трещин:

*a* — граничные условия образования трещин; *б* и *в* — эпюры изгибающих моментов и поперечных сил, соответственно

- нормальные к продольной оси элемента, пересекающие продольную и поперечную арматуру; образуются на участках, где  $M \geq M_{crc}$ , а  $Q < Q_{crc}$ ;

- наклонные к продольной оси элемента, пересекающие продольную и поперечную арматуру; образуются на участках, где  $M < M_{crc}$  и  $Q \geq Q_{crc}$ ; – второго типа;

- наклонные к продольной оси элемента, пересекающие поперечную арматуру, образуются на участках, где  $M > M_{crc}$  и  $Q > Q_{crc}$ , – третьего типа. Здесь  $M_{crc}$  и  $Q_{crc}$  — изгибающий момент и поперечная сила, отвечающие исчерпанию сопротивления поперечных сечений, образованию трещин, соответственно нормальных (со стороны растянутой грани) и наклонных (на уровне нейтральной оси);  $M$  и  $Q$  — максимальные значения изгибающего момента и поперечной силы на рассматриваемом участке.

Данная классификация позволяет выявить условия образования трещин, выделить участки (по длине элемента), на которых возможно образование того или иного типа трещин, и вносит уточнения в постановку исследований и определение круга решаемых задач.

Определение момента образования трещин в растянутой зоне, в том числе предварительно-напряженных конструкций, выполняется, в основном, по методу ядровых моментов. Этот метод вычисления усилия трещинообразования дает расхождения до 5% по сравнению с точными методами расчета. При этом следует отметить, что применение метода расчета железобетонных конструкций одного вида (например, расчет трещиностойкости обычных конструкций) для аналогичных конструкций другого вида (составных) не всегда правомерен.

Принимая во внимание вышерассмотренную классификацию трещин [4–6], и сохраняя ее в необходимых случаях, ниже предложена новая классификация базовых трещин в железобетонных конструкциях сейсмостойких зданий, в основу которой положена *геометрическая, силовая* (деформационная) и *межсредовая* концентрация напряженно-деформированного состояния, с соответствующими источниками-концентраторами.

I Развитие базовых трещин к зонам концентрации напряженно-деформированного состояния (рис. 2):

1. Наклонные базовые трещины, развивающиеся к зонам или из зон *геометрической концентрации* напряженно-деформированного состояния. Это зоны изменения геометрических размеров поперечных сечений, входные углы концентрации, концентрации от некруглых отверстий (рис.2, б).

2. Наклонные базовые трещины, развивающиеся к зонам или из зон *концентрации силового и деформационного нагружения* рис. 2, а, в–е):

- места расположения опорных реакций и сосредоточенных сил;

– места изменения интенсивности нагружения по контуру конструкции;

– места деформационного нагружения от просадок.

Особое значение на картину развития трещин имеет характер нагружения: изгибное, сдвиговое, сжатие (растяжение), рис. 2, *з-е* и рис.3–5.

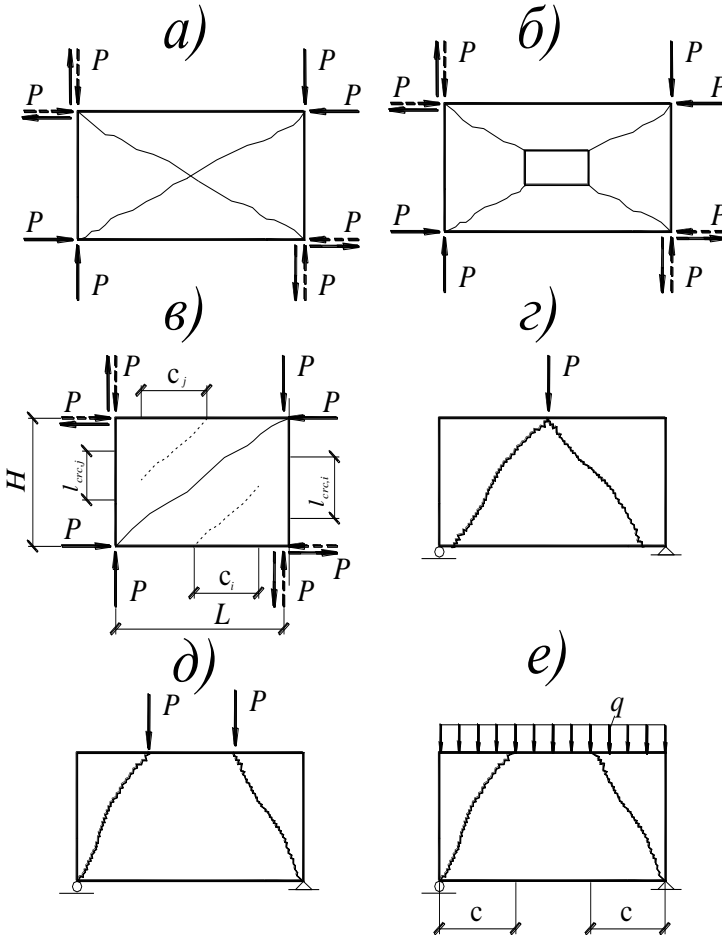


Рис. 2. К предлагаемой классификации трещин: *а-е* – примеры геометрической и силовой концентрации базовых трещин

3. Продольные базовые трещины, развивающиеся в зонах межсредовой концентрации деформаций (рис. 3, *а, б*):

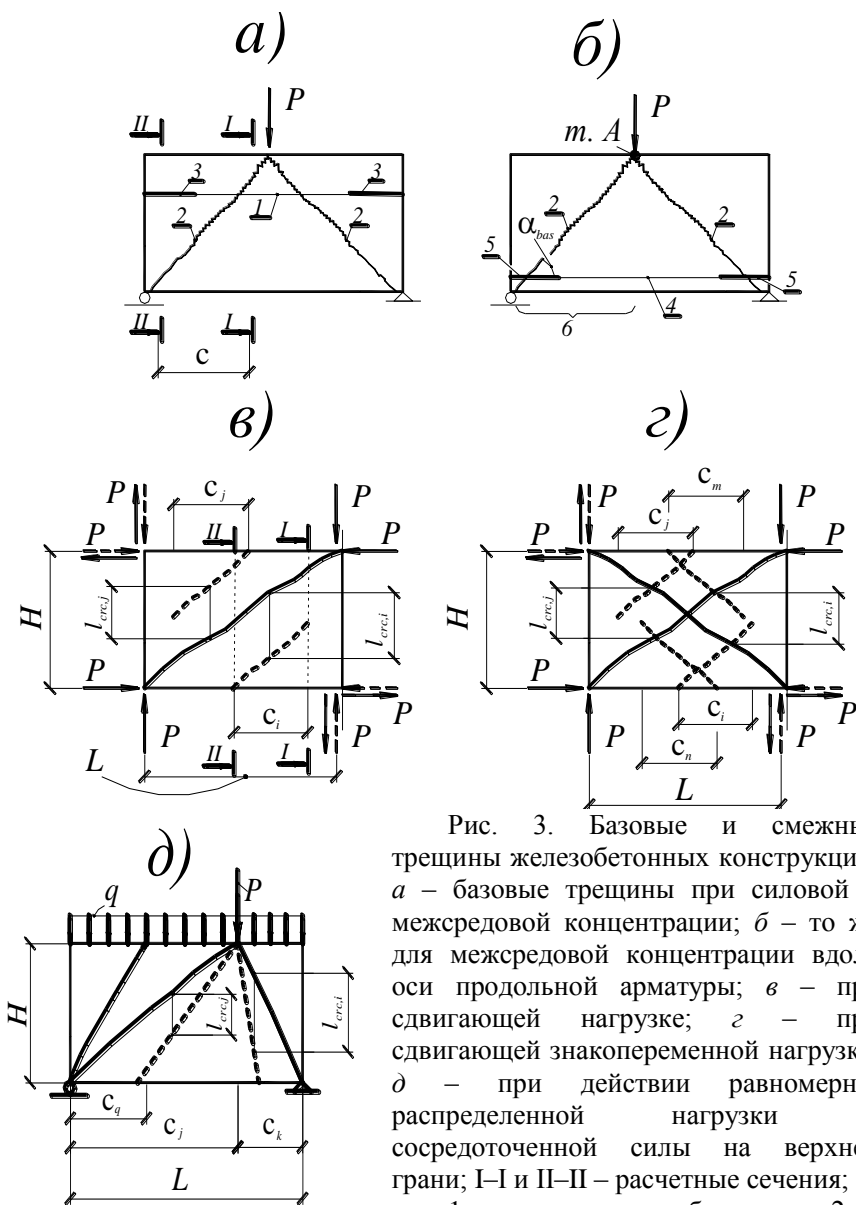


Рис. 3. Базовые и смежные трещины железобетонных конструкций: а – базовые трещины при силовой и межрядовой концентрации; б – то же для межрядовой концентрации вдоль оси продольной арматуры; в – при сдвигающей нагрузке; г – при сдвигающей знакопеременной нагрузке; д – при действии равномерно-распределенной нагрузки и сосредоточенной силы на верхней грани; I-I и II-II – расчетные сечения;

— базовые трещины;  
 - - - смежные трещины

1 – шов между бетонами; 2 – трещины силовой концентрации; 3, 5 – трещины межрядовой концентрации; 4 – ось рабочей арматуры, 6 – верш смежных трещин с полюсом в точке А

- в швах между бетонами плосконапряженных железобетонных составных конструкциях;
- вдоль продольной арматуры в зонах заанкеривания.

Возможно также наложение рассмотренных базовых и смежных трещин (рис. 3, г, д, рис. 4, 5).

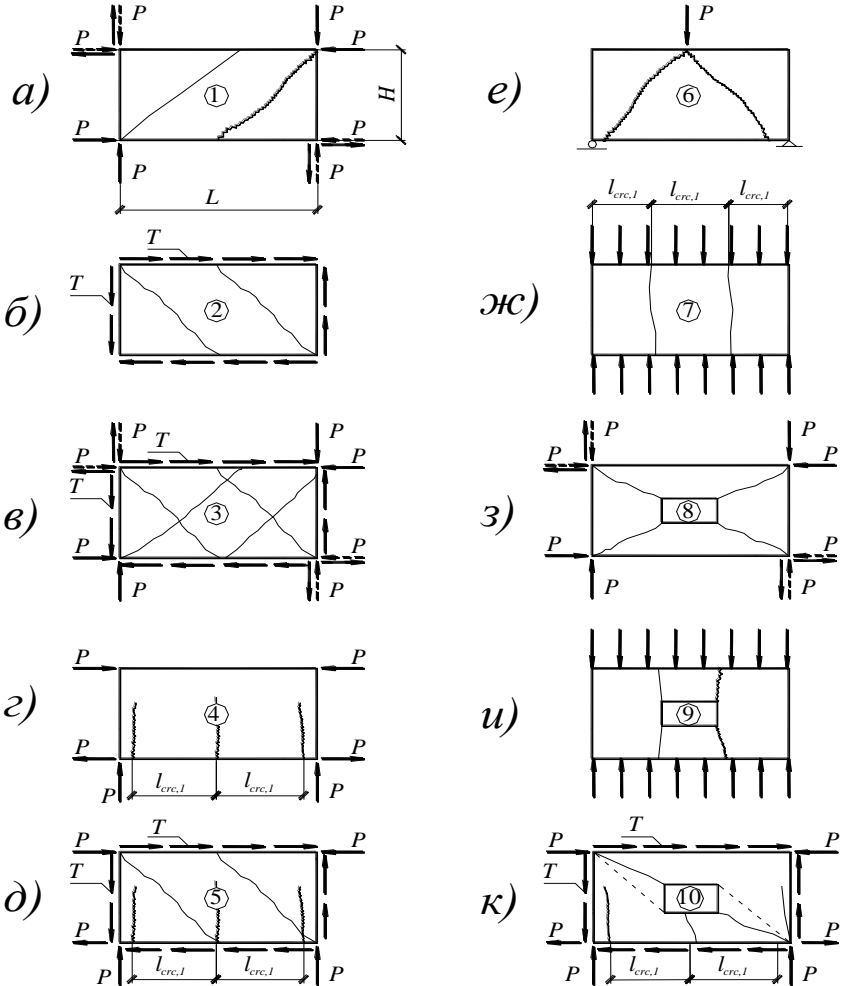


Рис. 4. Анализ напряженно-деформированного состояния стеновых панелей по результатам исследований (с наложением различных силовых воздействий): а – перекос; б – сдвиг; в – перекос со сдвигом; г – изгиб; д – сдвиг с изгибом; е – изгиб; ж – сжатие; з – перекос (с окном); и – сжатие (с окном); к – сдвиг с изгибом (с окном)

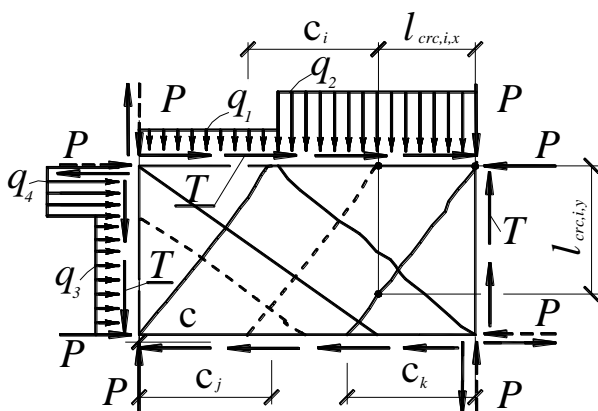


Рис. 5. Пример базовых и смежных трещин плосконапряженных железобетонных конструкций при наложении геометрической и силовой концентрации:  
 — — — — смежные трещины;  
 — — — — базовые трещины

Эти схемы нагружения наиболее часто встречаются в практике строительства сейсмостойких зданий [6–10].

Таким образом, на основании проведенных численных [6, 7], экспериментальных [6, 7, 10] и теоретических [8, 9, 10] исследований, приведена следующая классификация базовых трещин.

В железобетонных конструкциях (плосконапряженных) сейсмостойких зданий [6–10] могут иметь место следующие базовые трещины (рис. 2–5):

1) трещины, развивающиеся к зонам или из зон геометрической концентрации напряженно-деформированного состояния (в местах изменения размеров поперечных сечений, входные углы концентрации, концентрация от некруглых отверстий и т.п.);

2) трещины, развивающиеся к зонам или из зон концентрации силового и деформационного нагружения (места расположения опорных реакций и сосредоточенных сил, места изменения интенсивности нагружения по контуру конструкции, места деформационного нагружения от просадок; особое значение имеет вид нагружения, – изгибное, сдвиговое, сжатие – растяжение);

3) продольные трещины, развивающиеся в зонах межсредовой концентрации деформаций (например, в швах между бетонами в плосконапряженных железобетонных составных конструкциях, вдоль продольной арматуры в зонах заанкеривания и т.п.).



## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Л.В. Трещиностойкость косых сечений предварительно напряженных железобетонных балок / Л.В. Кузнецов : автореф. дисс...канд. техн. наук. – К., 1969. – 22 с.
2. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування : ДСТУ Б.В.2.6–156:2010. – [Чинний з 2011-06-01]. – К. : Мінеріонбуд України, 2011. – 118 с. – (Національний стандарт України).
3. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01–84\*. – [Введены в действие с 1986–01–01]. – М. : ЦТИП Госстроя СССР, 1989. – 88 с. – (Строительные нормы и правила).
4. Гольшев А. Б. Соппротивление железобетона / А. Б. Гольшев, В.И. Колчунов. – К.: Основа, 2009. – 432 с.
5. Усенко Н. В. Образование наклонных трещин третьего типа в железобетонных составных конструкциях / Н.В. Усенко, И.А. Яковенко, В.И. Колчунов // Будівництво України. – 2013. – Вип. 2. – С. 24–28.
6. Колчунов В. И. К образованию наклонных трещин последующих уровней в железобетонных составных конструкциях / В.И. Колчунов, И.А. Яковенко, Н.В. Усенко // Зб. наук. праць (галузеve машинобудування, будівництва). – Полтава : ПолтНТУ, 2013. – Вип.4(39). – Т. 1. – С. 140–149.
7. Численный анализ экспериментальных исследований фрагмента монолитного бескаркасного здания при динамических воздействиях вибромашины / [Марьенков Н. Г., Бабик К. Н., Колчунов В. И. и др.] // Будівельні конструкції : міжвідом. наук.-техн. зб. наук. праць (будівництва) / ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Міністерства регіонального розвитку та будівництва України. – К. : ДП НДІБК, 2009. – Вип. 72. – С. 561–571.
8. Численный анализ экспериментальных исследований железобетонной рамы со стеновым заполнением при сейсмических нагрузках / [Марьенков Н. Г., Гончар В. В., Недзведская О.Г. и др.] // Будівельні конструкції : зб. наук. праць. – К. : ДП НДІБК, 2012. – Вип. 76. – С.529–539.
9. Методика определения жесткости плосконапряженных и стержневых железобетонных составных конструкций при сейсмических воздействиях / [Колчунов В.И., Марьенков Н.Г., Омельченко Е.В. и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – М. : 2014. – №2. – С. 12–15.
10. Расчет жесткости плосконапряженных стен с привлечением ПК «Ли́ра-Про» по методике новых норм / [В.И. Колчунов, Т.В. Тугай, И.А. Яковенко, Н.Г. Марьенков] // Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. збірник – К. : КНУБА, 2014. – Вип. 53. – С. 209– 221.
11. Соппротивление плосконапряженных стен перекоосу при наличии диагональной трещины с привлечением программного комплекса «Ли́ра-Про» / [В.И. Колчунов, Н.Г. Марьенков, Т.В. Тугай, И.А. Яковенко] // Зб. наук. праць (галузеve машинобудування, будівництва). – Полтава : ПолтНТУ, 2015. – Вип. 1(43). – Т. 1. – С. 178–190.

## REFERENCES

1. Kuznetsov L.V. Crack firmness cross sections of prestressed concrete beams / L.V. Kuznetsov: Author. Diss ... cand. tehn. Sciences. - K., 1969. - 22 p.
2. Concrete and reinforce-concrete constructions from a heavy concrete. Planning rules : DSTU B.V.2.6-156: 2010. - [Effective from 2011-06-01]. - K.: Mingerionbud Ukraine, 2011. - 118 p. - (State standard of Ukraine).
3. Concrete and reinforced concrete construction: SNIP 2.03.01-84 \*. - [Effective from 1986-01-01]. - M.: TSTIP USSR State Construction Committee, 1989. - 88 p. - (Building regulations).
4. Golishev A.B. resistance concrete / A.B. Golishev, V.I. Kolchunov. - K.: Basis, 2009. - 432 p.
5. N. Usenko Education inclined cracks of the third type in reinforced concrete composite structures / N.V. Usenko, I. Yakovenko, V.I. Kolchunov // Budivnitstvo of Ukraine. - 2013. - Vol. 2. - P. 24-28.
6. Kolchunov V.I. to the formation of inclined cracks in the subsequent levels of concrete composite structures / V.I. Kolchunov, I. Yakovenko N. Usenko // ST. Sciences. Prace. - Poltava: PoltNTU, 2013. - Vol. 4 (39). - T.1. - P. 140-149.
7. Numerical analysis of experimental research piece monolithic frameless building under dynamic impacts vibrator / [Maryenkov N.G., Babik K.N., Kolchunov V.I. et al.] // Budivelni konstrukttsii: mizhvidom. nauk. techno. ST. Sciences. Prace (building) / - K.: NDIBK, 2009. - Vol. 72. - P. 561-571.
8. Numerical analysis of experimental studies of reinforced concrete frame filled with wall under seismic loads / [Maryenkov N., Gonchar V.V., Nedzvedskaya O.G. et al.] // Building constructions. - K.: NDIBK, 2012. - Vol.76. - P. 529-539.
9. Method of determining the stiffness core concrete composite structures under seismic actions / [Kolchunov V.I., Maryenkov N.G., Omelchenko E.V. et al.] // Industrial and civil construction. - Moscow: 2014. - №2. - P. 12-15.
10. Kolchunov V.I. Calculation of stiffness walls, involving PC "Lira-Pro" by the method of the new standards / V.I. Kolchunov, T.V. Tugay, I. Yakovenko, N.G. Maryenkov // Col.scient. works. - K.: KNUBA, 2014. - Vol. 53. - P. 209- 221.
11. Kolchunov V.I. flat tense walls sag resistance in the presence of a diagonal crack with the involvement of «Lira-Rro» / V.I. Kolchunov, N.G.Maryenkov, T.V. Tugay, I. Yakovenko // ST. Sciences. Prace. - Poltava: PoltNTU, 2015. - Vip. 1 (43). - T. 1. - P. 178-190.

Статья поступила в редакцию 15.08.2015 г.