

УДК 624.012.45

*А.Г. Тамразян,
Л.А. Аветисян***РАСЧЕТ
ВНЕЦЕНТРЕННОСЖАТЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ
НА КРАТКОВРЕМЕННУЮ
ДИНАМИЧЕСКУЮ
НАГРУЗКУ**

Приведены экспериментальные результаты для железобетонных колонн с жестким защемлением при статическом нагружении. Испытание проводилась как при центральном сжатии, так и при разных эксцентриситетах. Получены величины разрушающих нагрузок для разных эксцентриситетов.

Ключевые слова: железобетонная колонна, динамическая прочность, динамическая нагрузка, несущая способность, эксцентричное нагружение, разрушающая нагрузка.

*A.G. Tamrazyan, L.A. Avetisyan***CALCULATION
OF ECCENTRICALLY-COMPRESSED
CONCRETE ELEMENTS
FOR SHORT-TERM DYNAMIC LOAD**

Accidental impacts effects (explosion or collapse of structures under fire) on buildings pose a great danger nowadays. The research of the behavior of reinforced concrete columns, subjected to the impact effect, is very important, because the columns are the basic carrying elements of the buildings calculation scheme. Accidental impacts can change the design scheme of buildings and its composite structures. That means, the central compressed column after the impact starts working as an eccentrically compressed. Taking into consideration all the above mentioned, in the laboratory of the testing sector of building structures of Moscow State University of Civil Engineering experimental researches were carried out in order to detect differences between breaking loads values of reinforced concrete columns, working under static and dynamic loads under different eccentricities. The article presents the results obtained experimentally for reinforced concrete columns under static loading. The dimensions of reinforced concrete columns are 10×10×600. The bottoms of the columns in the process of experiments were severely pinched. The experiment was carried out both at the central compression, and at different eccentricities. Breaking loads for

different eccentricities were received. In the article the method procedure for eccentrically compressed columns under dynamic impact with clamped rigid supports, analytically derived breaking dynamic loads for the same eccentricities, using data from the strength characteristics of concrete and reinforcement were experimentally obtained. Experimental studies allow the following conclusions:

Under static loadings, increasing of eccentricity decreases the breaking power, with increasing eccentricity from 3 cm to 3,5 cm breaking power is reduced for about 25 %. With increasing eccentricity from 3,5 to 4 cm, it decreased for about 30,5 %.

Under dynamic loadings, eccentricity is increasing from 3 cm to 3,5 cm and the breaking power is reduced for about 19 %. With the increasing eccentricity from 3,5 cm to 4 cm it is reduced for about 30 %.

Key words: reinforced concrete column, dynamic strength, dynamic loading, load bearing capacity, eccentric compression, breaking load.

В настоящее время большую опасность представляют аварийные ударные воздействия на здания (обрушения конструкции при пожаре или взрыве) [1, 2]. Исследование поведения железобетонных колонн, подвергающихся ударным воздействиям [3], очень важно, поскольку в расчетной схеме большинства зданий они являются основными несущими элементами [4]. Ударные воздействия могут изменить расчетную схему зданий и их составных конструкций, т.е. центрально сжатая колонна после удара [5] начинает работать как внецентренно сжатая [6]. В лаборатории сектора испытаний строительных конструкций Московского государственного строительного университета проводились экспериментальные исследования с целью выявления разницы разрушающих нагрузок железобетонных колонн [7], работающих при статических и динамических нагрузках при разных эксцентриситетах.

Были изготовлены 12 железобетонных образцов размерами 10×10×600 мм, для 1 м³ объема бетона использовались следующие материалы: 716 кг гранитного щебня фракцией 20 мм; 358 кг гранитного щебня фракцией 5 мм; 395 кг портландце-

мента М400; 870 кг кварцевого песка; 170 л воды. Осадка конуса составила 1,5 см. При армировании образцов использовалась арматура: продольная 4Ø8 А400, поперечная Ø4 А240 шагом 100 мм (рис. 1).



Рис. 1. Пример армирования опытных образцов

Для определения прочностных характеристик бетона были приготовлены призмы 10×10×40 мм и кубики 15×15×15 см. Прочностные характеристики бетона получены по методике ГОСТ 28570—90¹.

Результаты испытаний на сжатие кубов и призм приведены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты испытаний на сжатие для кубов и призм

Форма образцов	Разрушающая нагрузка, кН
Кубик	354,766
Призма	273,995

Разрушающая нагрузка для железобетонных колонн при статической нагрузке получена по следующей методике. Центрирование образцов при продольном сжатии производилось по геометрическому центру с помощью датчиков часового типа. Загружение образцов проводилось этапами, равными 10 % от разрушающей, с пятиминутной выдержкой на каждом этапе при скорости нагружения 10 кН/с (рис. 2).

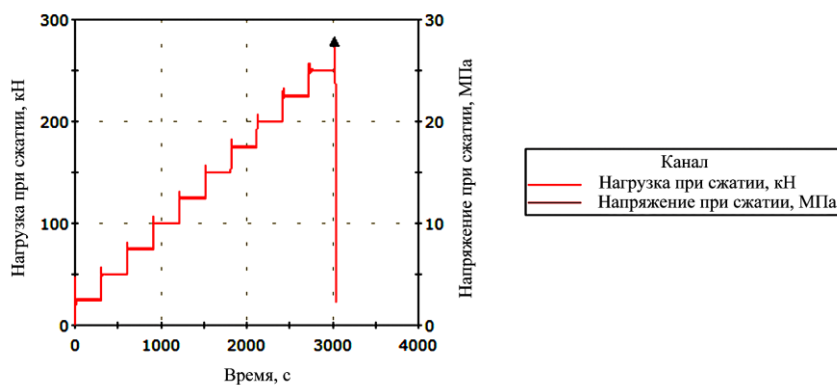


Рис. 2. Зависимость изменения нагрузки от времени для колонны при эксцентриситете 3 см

Величины разрушающих нагрузок при разных эксцентриситетах приведены в табл. 2.

Табл. 2. Результаты испытаний при статической нагрузке при разных эксцентриситетах

Величина эксцентриситета, см	Разрушающая нагрузка, кН	Максимальная деформация в сжатой зоне
Центральное сжатие	396,591	0,001893
3	278,304	0,002586
3,5	223,707	0,00277
4	155,577	0,002965

¹ ГОСТ 28570—90. БЕТОНЫ. Методы определения прочности.

Высоту сжатой зоны внецентренно сжатых железобетонных колонн при разрушающей нагрузке определяем следующим способом:

$$\text{а) при } \xi = \frac{x}{h_o} \leq \xi_R$$

$$\text{по формуле } x = \frac{N + R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b}; \quad (1)$$

$$\text{б) при } \xi = \frac{x}{h_o} > \xi_R$$

$$\text{по формуле } x = \frac{N + R_s A_s \frac{1 + \xi_R}{1 - \xi_R} - R_{sc} A'_s}{R_b b + \frac{2 R_s A_s}{h_o (1 - \xi_R)}}. \quad (2)$$

Значение ξ_R определяется по формуле $\xi_R = \frac{x_R}{h_o} = \frac{0,8}{1 + \varepsilon_{s,el}/\varepsilon_{b2}}$. Экспериментальным путем получены величины ε_b при разрушающей нагрузке². В данном случае по расчету получается $\xi = \frac{x}{h_o} > \xi_R$, т.е. считаем высоту сжатой зоны по случаю б).

Для каждого случая в формулу подставляем свою разрушающую нагрузку и этим способом определяем величину сжатой зоны при разных эксцентриситетах. В исходе эксперимента с использованием тензодатчиков с сопротивлением 120 Ом получены также величины максимальных деформаций для сжатой и растянутой зон элемента.

Использованы максимальные деформации сжатой зоны элемента, поскольку разрушение происходит в этой зоне. Пример разрушения внецентренно сжатой колонны с жестко заземленными концами при статической нагрузке приведены на рис. 3.



Рис. 3. Разрушение внецентренно сжатой железобетонной колонны

В настоящее время современные методы расчета железобетонных конструкций на действие кратковременных динамических нагрузок [8, 9] основываются на использовании диаграмм деформирования элементов, характеризующих их сопротивляемость внешним воздействиям [10]:

1) при условии $\xi_d \leq \xi_{rd}$ разрушение в элементе происходит после образования трещин, когда образуется пластический шарнир в растянутой арматуре.

2) если выполняется условие $\xi_d > \xi_{rd}$, то происходит хрупкое разрушение конструкции при достижении предельных деформаций бетона сжатой зоны и отсутствии пластических деформаций в растянутой арматуре. Диаграмма таких элементов не имеет пластического участка, и в этом случае происходит хрупкое разрушение бетона сжатой зоны.

² СНиП 52.101.2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры.

В рассматриваемом случае разрушение происходит по 2-му типу. После расчета высоты сжатых зон при разрушающих статических нагрузках определяем величину разрушающей динамической нагрузки для разных эксцентриситетов [11, 12]. Полученные данные вводим в формулу (3), из которой можно получить максимальную динамическую разрушающую нагрузку для каждого случая отдельно.

Относительная высота сжатой зоны равна

$$\xi_d = \frac{N + R_s A_s - \gamma_{sv} R_{sc} A'_s}{\gamma_{bv} R_b b h_0}. \quad (3)$$

Для каждого эксцентриситета определяем величину разрушающей нагрузки с помощью максимальных деформаций. Полученные величины подставим в последнюю формулу и находим максимальные разрушающие динамические нагрузки [11] для каждого эксцентриситета отдельно (табл. 3).

$$N_{\max} = \xi_d \gamma_{bv} R_b b h_0 + \gamma_{sv} R_{sc} A'_s - R_s A_s. \quad (4)$$

Табл. 3. Результаты испытаний при разных эксцентриситетах при однократном динамическом ударе

Величина эксцентриситета, см	Максимальная нагрузка N_{\max} , кН
Центральное сжатие	471,94
3	332,768
3,5	266,79
4	185,88

Выводы:

при статическом нагружении с увеличением эксцентриситета уменьшается разрушающая нагрузка: с увеличением эксцентриситета от 3 до 3,5 см разрушающая нагрузка снижается на 25 %, при увеличении эксцентриситета от 3,5 до 4 см — снижается на 30,5 %;

при динамическом нагружении с увеличением эксцентриситета от 3 до 3,5 см разрушающая нагрузка снижается на 19 %, при увеличении эксцентриситета от 3,5 до 4 см она снижается на 30 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Распоргуев Б.С.* Методы расчета зданий на устойчивость против прогрессирующего разрушения // Вестник отделения строительных наук РААСН. 2009. Т. 1. Вып. 13. С. 15—20.
2. *Fuchs M.M., Braml T.H., Keuser M.W.* Structural concrete after high dynamic loading damage identification and repair. *Structural Journal*. 2007, pp. 777—786.
3. Robustness Assessment for Progressive Collapse of Framed Structures Using Pushdown Analysis Method / D.G. Lu, S.S. Cui, P.Y. Song, Z.H. Chen // Proceeding of the 4th International Workshop on Reliable Engineering Computing (REC 2010). University of Harbin. 2010, vol. I, pp. 268—281.
4. *Zeilinski A.J.* Concrete structures under impact loading rate effects. Rappt. Ct. Delft University of technology, 1984.
5. *Тамразян А.Г.* Динамическая устойчивость сжатого железобетонного элемента как вязкоупругого стержня // Вестник МГСУ. 2011. № 1. Т. 1. С. 42—45.
6. *Lokuge W.P., Sanjayan J.G., Setunge S.* Modeling eccentrically loaded high-strength reinforced concrete columns. *Magazine of concrete research*. 2003, 55(4), pp. 331—341.
7. *Majevski T., Bobinski J., Tejehman J.H.* FE analysis of failure behavior of reinforced concrete columns under eccentric compression. *Engineering Structures*. 2008, 30(2), pp. 300—317.
8. *Баженев Ю.М.* Бетон при динамическом нагружении. М.: Стройиздат, 1970. С. 270.
9. *Malaikah Ala, Al-Saif Khalid and Al-Zaid Rajeh.* Prediction of the dynamic modulus of elasticity of concrete under different loading conditions. International Conference On Concrete Engineering and Technology. University Malaya, 2004, pp. 32—39.
10. *Xie J., Elwi A.E., MacGregor J.G.* Numerical investigation of eccentrically loaded High-strength concrete tied columns. *Structural journal*. 1996, 93(4), pp. 449—461.
11. *Ohnuma H., Ito C., Nomachi S.G.* Dynamic response and local rupture concrete beam and slab under impact loading. *J 5/3, Japan*, pp. 179—184.
12. *Louw M.J., Maritz G., Leodolff M.J.* The behavior of RC columns under lateral impact loads. University of Stellenbosch. 1989, pp. 27—88.

REFERENCES

1. Rastorguev B.S. Metody rascheta zdaniy na ustoychivost' protiv progressiruyushchego razrusheniya [The Stability Calculation Methods of the Buildings in Respect of Progressing Destruction]. *Vestnik otdeleniya stroitel'nykh nauk RAASN* [Proceedings of the Construction Department of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences]. 2009, vol. 1, no. 13, pp. 15—20.
2. Fuchs M.M., Braml T.H., Keuser M.W. Structural Concrete after High Dynamic Loading-Damage Identification and Repair. *Structural Journal*. 2007, pp. 777—786.
3. Lu D.G., Cui S.S., Song P.Y., Chen Z.H. Robustness Assessment for Progressive Collapse of Framed Structures Using Pushdown Analysis Method. *Proceeding of the 4th International Workshop on Reliable Engineering Computing (REC 2010)*. University of Harbin. 2010, vol. 1, pp. 268—281.
4. Zeilinski A.J. Concrete Structures under Impact Loading Rate Effects. *Rappt. Ct. Delft University of Technology*, 1984.
5. Tamrazyan A.G. Dinamicheskaya ustoychivost' szhatogo zhelezobetonного элемента как вязкоупругого стержня [Dynamic Stability of the Compressed Reinforced Concrete Element as Viscoelastic Bar]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011, no. 1, vol. 1, pp. 42—45.
6. Lokuge W.P., Sanjayan J.G., Setunge S. Modeling Eccentrically Loaded High-strength Reinforced Concrete Columns. *Magazine of Concrete Research*. 2003, no. 55(4), pp. 331—341.
7. Majeovski T., Bobinski J., Tejehman J.H. FE Analysis of Failure Behavior of Reinforced Concrete Columns under Eccentric Compression. *Engineering Structures*. 2008, no. 30(2), pp. 300—317.
8. Bazhenov Yu.M. *Beton pri dinamicheskom nagruzhении* [Concrete under Dynamic Loading]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1970, pp. 270.
9. Malaikah Ala, Al-Saif Khalid and Al-Zaid Rajeh. Prediction of the Dynamic Modulus of Elasticity of Concrete under Different Loading Conditions. *International Conference on Concrete Engineering and Technology*. University Malaya, 2004, pp. 32—39.
10. Xie J., Elwi A.E., MacGregor J.G. Numerical Investigation of Eccentrically Loaded High-strength Concrete Tied Columns. *Structural Journal*. 1996, no. 93(4), pp. 449—461.
11. Ohnuma H., Ito C., Nomachi S.G. Dynamic Response and Local Rupture Concrete Beam and Slab under Impact Loading. *J 5/3, Japan*, pp. 179—184.
12. Louw M.J., Maritz G., Leodolff M.J. The Behavior of RC Columns under Lateral Impact Loads. *University of Stellenbosch*. 1989, pp. 27—88.

Поступила в редакцию в ноябре 2013 г.

Об авторах: **Тамразян Ашот Георгиевич** — доктор технических наук, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций, **ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, tamrazian@mail.ru;

Аветисян Левон Аветисович — аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций, **ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, avelev90@rambler.ru.

About the authors: **Tamrazyan Ashot Georgievich** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavl'skoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; tamrazian@mail.ru;

Avetisyan Levon Avetisovich — post-graduate student, Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavl'skoe shosse, Moscow; avelev90@rambler.ru.

Для цитирования:

Тамразян А.Г., Аветисян Л.А. Расчет внецентренножатых железобетонных элементов на кратковременную динамическую нагрузку [Электронный ресурс] // *Строительство: наука и образование*. 2013. Вып. 4. Ст. 2. Режим доступа: <http://www.nso-journal.ru>.

For citation:

Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Raschet vnetsentrennoszhatykh zhelezobetonnykh elementov na kratkovremennuyu dinamicheskuyu nagruzku [Calculation of Eccentrically-Compressed Concrete Elements for Short-Term Dynamic Load]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2013. no. 4, paper 2. Available at: <http://www.nso-journal.ru>.