

А. А. КОМАРОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

Д. А. КОРОЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, доцент, директор Института комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

ФАН ТУАН АНЬ, аспирант кафедры гидравлики и водных ресурсов, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ptuananh26789@gmail.com)

УДК 614.834

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧНОСТИ ПРИ ИМПУЛЬСНЫХ НАГРУЗКАХ

Рассмотрена методология оценки коэффициента динамичности при ударных нагрузках, сопровождающих, например, взрывы, падение массивных тел, гидроудары. Отмечены особенности, связанные с определением коэффициента динамичности при импульсных нагрузках, свойственных многим чрезвычайным ситуациям. Выявлены недостатки метода по определению коэффициента динамичности при импульсных нагрузках. Проведено интегрирование уравнения для нескольких видов нагрузок и различных соотношений между длительностью нагрузки и периодом собственных колебаний конструкции. Определены значения коэффициента динамичности для различных соотношений между длительностью нагрузки и периодом собственных колебаний конструкции при нагрузках пяти видов. Приведены критерии, при которых коэффициент динамичности определяется только импульсом ударной нагрузки и не зависит от ее формы. Установлены соотношения для определения коэффициента динамичности при ударных нагрузках, сопровождающих чрезвычайные ситуации.

Ключевые слова: статическая нагрузка; динамическая нагрузка; коэффициент динамичности; расчет строительных конструкций; типовые нагрузки; период собственных колебаний конструкции.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.37-43

Введение

В практике строительного проектирования принято приводить нестационарные нагрузки к эквивалентным статическим нагрузкам [1–4]. При расчетах последствий динамического воздействия на строительные конструкции используется следующая методология. Динамическая нагрузка заменяется эквивалентной ей по действию статической нагрузкой P_3 , которая определяется по формуле [5–10]:

$$P_3 = P_{\max} K_d, \quad (1)$$

где P_{\max} — максимальная динамическая нагрузка; K_d — коэффициент динамичности, равный максимальному значению функции динамичности $T(t)$, описывающей движение (перемещение сечений) конструкции во времени.

Как следует из выражения (1), для замены динамической нагрузки эквивалентной ей статической необходимо определить коэффициент динамичности K_d . Величину K_d при нагрузке треугольной фор-

мы проектировщики часто определяют по графикам (рис. 1), приведенным во многих справочниках по прочностному расчету сооружений, где круговая частота основного тона собственных колебаний конструкций ω_k определяется методами строительной механики.

Из графика рис. 1 следует, что если величина θ_1 стремится к нулю (при нагрузке пилообразной формы), то численное значение коэффициента динамичности приближается к двум. Исходя из этих соображений проектировщики любую нагрузку пилообразной формы при проведении статических расчетов удваивают. Однако этот подход неправомерен для кратковременных (импульсных) нагрузок. Именно этот вопрос и рассматривается в настоящей статье.

При чрезвычайных ситуациях (ЧС) достаточно часто возникают кратковременные нагрузки [11–14]. При взрывах зарядов взрывчатых веществ (ВВ), при аварийном падении массивных тел (например, транспортных контейнеров в бассейны выдержки на АЭС),

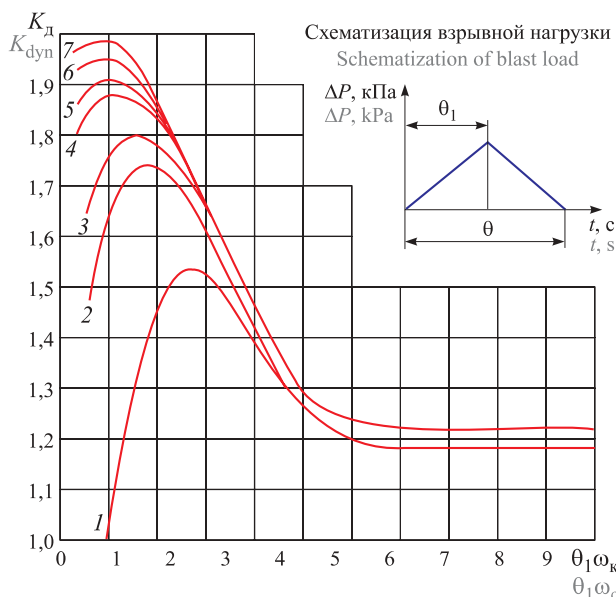


Рис. 1. Графики для определения коэффициента динамичности K_{dyn} : 1 — $\theta/\theta_1 = 2$; 2 — $\theta/\theta_1 = 6$; 3 — $\theta/\theta_1 = 10$; 4 — $\theta/\theta_1 = 20$; 5 — $\theta/\theta_1 = 50$; 6 — $\theta/\theta_1 = 100$; 7 — $\theta/\theta_1 \geq 200$; θ и θ_1 — время соответственно действия динамической нагрузки и ее нарастания до максимальной величины; ΔP — взрывная нагрузка
Fig. 1. Graphs for determining of dynamic amplification factors K_{dyn} : 1 — $\theta/\theta_1 = 2$; 2 — $\theta/\theta_1 = 6$; 3 — $\theta/\theta_1 = 10$; 4 — $\theta/\theta_1 = 20$; 5 — $\theta/\theta_1 = 50$; 6 — $\theta/\theta_1 = 100$; 7 — $\theta/\theta_1 \geq 200$; θ и θ_1 — time respectively of the action of the dynamic load and its increase to the maximum value; ΔP — blast load

при гидроударах и т. д. формируются нагрузки, длительность которых исчисляется миллисекундами при очень высоких давлениях [15–20].

Цель нашей работы заключается в выявлении некоторых особенностей, связанных с расчетом коэффициента динамичности при импульсных нагрузках, свойственных многим чрезвычайным ситуациям. В связи с этим необходимо установить критерии, при которых коэффициент динамичности определяется только импульсом ударной нагрузки, а также привести соотношения для определения коэффициента динамичности при ударных нагрузках, сопровождающих взрывы, падение массивных тел, гидроудары и т. д.

Теоретические расчеты

Рассмотрим методологию оценки коэффициента динамичности при подобных нагрузках. В своих рассуждениях будем придерживаться принятых в динамике сооружений подходов.

Известно, что движение конструкции в стадии упругих деформаций описывается уравнением

$$\frac{d^2 T}{dt^2} + \omega^2 T = \omega^2 f(t), \quad (2)$$

где $T(t)$ — относительное перемещение конструкции или функция динамичности; $T(t) = S(t)/S_{\max}$;

$S(t)$ — смещение конструкции при статическом воздействии на нее нагрузки P ;

S_{\max} — смещение конструкции при статическом воздействии на нее нагрузки P_{\max} ;

ω_k — круговая частота собственных колебаний конструкции;

$f(t)$ — функция, описывающая изменение безразмерной динамической нагрузки во времени; $f(t) = P(t)/P_{\max}$.

Решение уравнения (2) при нулевых начальных условиях имеет вид:

$$\begin{aligned} T(t) &= \omega \int_0^t f(u) \cdot \sin(\omega(t-u)) du = \\ &= \omega \left(\sin \omega \cdot t \int_0^t f(u) \cdot \cos(\omega u) du - \right. \\ &\quad \left. - \cos \omega \cdot t \int_0^t f(u) \cdot \sin(\omega u) du \right), \end{aligned} \quad (3)$$

где u — модуль упругости конструкции.

Численное интегрирование выражения (3) дает функцию перемещения конструкции под действием силы $f(t)$ во времени. Максимальное значение функции перемещения $T(t)$ есть коэффициент динамичности K_d .

Для определения коэффициента динамичности необходимо знать частоту основного тона собственных колебаний конструкций ω_k , которая определяется по формуле [4]:

$$\omega_k = \frac{\alpha}{L^2} \sqrt{\frac{B}{M_k}}, \quad (4)$$

где α — коэффициент, определяемый по справочной литературе (например, [4]);

L — длина пролета конструкции;

B — изгибная жесткость; $B = EI$;

E — динамический модуль упругости;

I — осевой момент инерции сечения;

M_k — погонная масса конструкции; $M_k = q/g$;

q — погонная нагрузка от взрыва плюс нагрузка от собственного веса конструкции;

g — ускорение свободного падения.

Решение уравнения (2) можно получить, численно разрешив систему дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\frac{dU}{dt} = -\omega^2 T + \omega^2 f(t); \quad \frac{dT}{dt} = U, \quad (5)$$

где U — энергия упругой деформации.

К недостаткам описанного метода следует отнести следующее обстоятельство. В расчетах предполагается, что колебательный процесс каждого элемента происходит на определенной частоте (как правило, на частоте основного тона), хотя в действительности колебания происходят во всем спектре

собственных частот упругого элемента. Кроме того, в данном методе произвольные граничные условия можно задавать с определенными приближениями. Тем не менее при расчетах строительных конструкций на прочность при ЧС, когда в качестве исходных данных принимаются максимально возможные нагрузки, которые маловероятны, данный подход в определении K_d в некоторой степени оправдан.

На рис. 2 приведены значения коэффициента динамичности для различных соотношений между длительностью действия нагрузки $T_{нагр}$ и периодом собственных колебаний конструкции T_0 при нагрузках пяти типов.

Из рис. 2 видно, что временной характер нагрузки влияет на коэффициент динамичности только при соотношении между длительностью действия нагрузки и периодом собственных колебаний конструкции, превышающем $0,5T_0$. Этот факт, собственно, и отражает рис. 1, который построен применительно к достаточно продолжительным (по отношению к периоду собственных колебаний конструкций), а не импульсным нагрузкам.

На рис. 3 приведены значения коэффициента динамичности для различных соотношений между

длительностью действия нагрузки и периодом собственных колебаний конструкции, при нагрузке ударного вида $K = 0$ и нагрузке, имеющей только фазу нарастания, $K = 1$. Условно их можно считать “крайними” формами нагрузок — ударной и плавной.

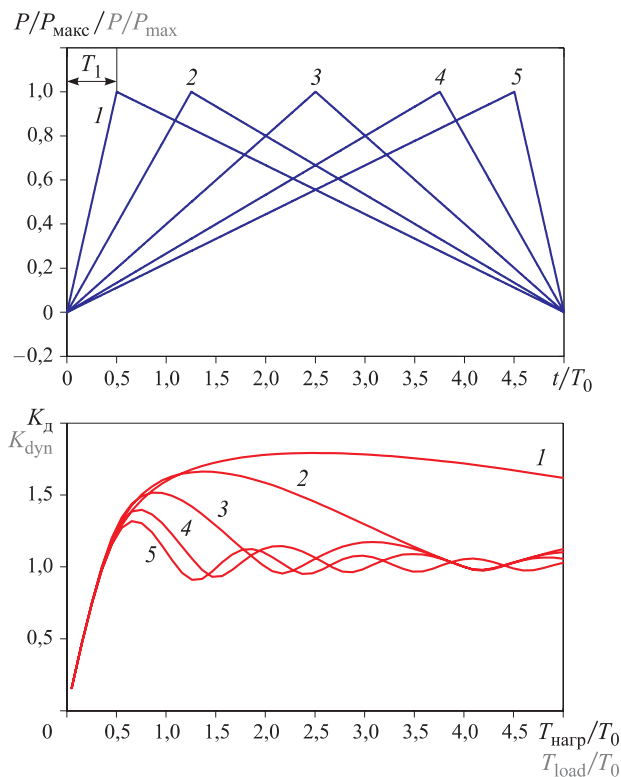


Рис. 2. Коэффициенты динамичности при нагрузках пяти типов: 1 — $K = 0,10$; 2 — $K = 0,25$; 3 — $K = 0,50$; 4 — $K = 0,75$; 5 — $K = 0,90$; $K = T_1/T_{нагр}$; T_1 — длительность нарастания нагрузки; $T_{нагр}$ — длительность действия нагрузки
Fig. 2. Dynamic amplification factors under loads of five types: 1 — $K = 0,10$; 2 — $K = 0,25$; 3 — $K = 0,50$; 4 — $K = 0,75$; 5 — $K = 0,90$; $K = T_1/T_{load}$; T_1 — load rise duration; T_{load} — load action duration

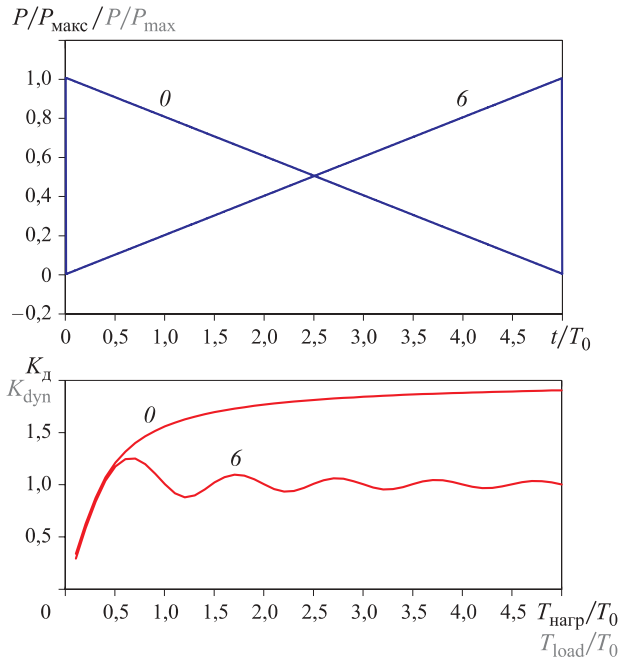


Рис. 3. Коэффициенты динамичности при нагрузках двух “крайних” типов — $K = 0$; $K = 6$
Fig. 3. Dynamic amplification factors under loads of two “extreme” types — $K = 0$; $K = 6$

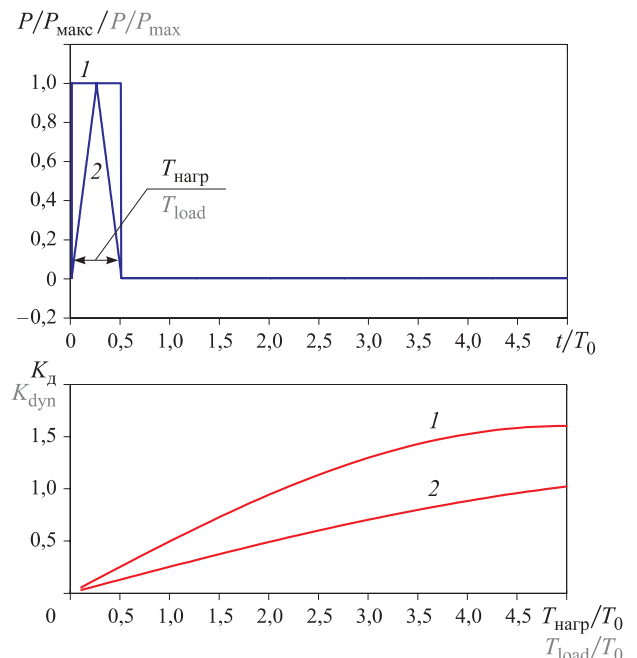


Рис. 4. Коэффициенты динамичности для $T_{нагр}/T_0 < 0,5$ при нагрузках прямоугольного (1) и треугольного (2) типов
Fig. 4. Dynamic amplification factors for ratios of $T_{load}/T_0 < 0,5$ under rectangular (1) or triangular (2) type of loads

Для соотношений $T_{\text{нагр}}/T_0 < 0,5$, как указывалось ранее (см. рис. 2), форма нагрузки не влияет на численные значения коэффициента динамичности. Основное влияние на него оказывает импульс давления $I = \int P(t) dt$. Это видно из рис. 4, где приведены значения коэффициента динамичности при нагрузках треугольной ($I = 0,5P_{\text{макс}}T_{\text{нагр}}$) и прямоугольной ($I = P_{\text{макс}}T_{\text{нагр}}$) формы.

В результате проведенных расчетов было получено, что коэффициент динамичности при кратковременных нагрузках ($T_{\text{нагр}}/T_0 < 0,5$) приближенно можно определить по следующей формуле:

$$K_d = \frac{2T_{\text{нагр}}}{T_0} \left[2 - 1,5 \left(1 - \frac{I}{P_{\text{макс}}T_{\text{нагр}}} \right) \right]. \quad (6)$$

Тогда имеем:

- для нагрузки треугольной формы ($I = 0,5P_{\text{макс}}T_{\text{нагр}}$):

$$K_d = 1,25 \frac{2T_{\text{нагр}}}{T_0}; \quad (7)$$

- для нагрузки прямоугольной формы ($I = P_{\text{макс}}T_{\text{нагр}}$):

$$K_d = 2,0 \frac{2T_{\text{нагр}}}{T_0}. \quad (8)$$

Выводы

Отмечены особенности, связанные с определением коэффициента динамичности при импульсных нагрузках, свойственных многим чрезвычайным ситуациям. Было проведено интегрирование уравнения (2) для различных соотношений между длительностью нагрузки $T_{\text{нагр}}$ и периодом собственных колебаний конструкции T_0 при нагрузках нескольких типов. Приведены критерии, при которых коэффициент динамичности определяется только импульсом ударной нагрузки и не зависит от ее формы. Установлены соотношения для определения коэффициента динамичности при ударных нагрузках, сопровождающих чрезвычайные ситуации (взрывы ВВ, падение массивных тел, гидроудары и т. д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаров В. П., Коротовских Я. В. Компьютерные технологии прогнозирования пожаровзрывоопасности производственных объектов // Технологии техносферной безопасности. — 2010. — № 5. — С. 21–26.
2. Ефремов К. В., Лисанов М. В., Софьин А. С., Самусева Е. А., Сумской С. И., Кириенко А. П. Расчет зон разрушения зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах // Безопасность труда в промышленности. — 2011. — № 9. — С. 70–77.
3. Yan S., Wang J.-H., Wang D., Zhang L. Mechanism analysis on progressive collapse of RC frame structure under blast effect // Gongcheng Lixue / Engineering Mechanics. — 2009. — No. 26 (suppl. 1). — P. 119–123, 129.
4. Chen H. L., Xia Z. C., Zhou J. N., Fan H. L., Jin F. N. Dynamic responses of underground arch structures subjected to conventional blast loads: Curvature effects // Archives of Civil and Mechanical Engineering. — 2013. — Vol. 13, Issue 3. — P. 322–333. DOI: 10.1016/j.acme.2013.04.004.
5. Попов Н. Н., Расторгуев Б. С. Динамический расчет железобетонных конструкций. — М.: Стройиздат, 1974. — 207 с.
6. Расторгуев Б. С. Методические указания по проектированию новых и обследованию существующих строительных конструкций зданий взрывоопасных производств. — М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 1996. — 227 с.
7. СНиП 2.01.07–85. Нагрузки и воздействия (с изм. № 1, 2). URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200280> (дата обращения: 15.01.2018).
8. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия. Справочник проектировщика / Под ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. — М.: Стройиздат, 1981. — 218 с.
9. Polandov Iu., Korolchenko D. The consideration of the turbulence influence on the gas explosion expansion in non-closed areas // MATEC Web of Conferences. — 2017. — Vol. 106, Art. 01040. — 8 p. DOI: 10.1051/mateconf/201710601040.
10. Korolchenko D., Pizhurin A. Simulating operational control of production in lumber house building businesses // MATEC Web of Conferences. — 2017. — Vol. 117, Art. 00084. — 7 p. DOI: 10.1051/mateconf/201711700084.
11. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Byakov A. V. The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water // Advanced Materials Research. — 2014. — Vol. 1073-1076. — P. 2353–2357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
12. Komarov A., Bazhina E., Bobrov Yu. Relationship between gas-dynamic flows and impacts of emergency explosions indoors // MATEC Web of Conferences. — 2016. — Vol. 86, Art. 04048. — 5 p. DOI: 10.1051/mateconf/20168604048.

13. Сулименко В. А., Комаров А. А., Васюков Г. В., Загуменников Р. А. Особенности расчета параметров процесса возникновения взрывоопасных смесей при аварийных ситуациях // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — № 4(62) — С. 109–116.
14. Kabantsev O., Perelmuter A. Modeling transition in design model when analyzing specific behaviors of structures // Procedia Engineering. — 2013. — Vol. 57. — P. 479–488. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.04.062.
15. Fialko S. Yu. Iterative methods for solving large-scale problems of structural mechanics using multi-core computers // Archives of Civil and Mechanical Engineering. — 2014. — Vol. 14, Issue 1. — P. 190–203. DOI: 10.1016/j.acme.2013.05.009.
16. Fialko S. Parallel finite element solver for multi-core computers // Federated Conference on Computer Science and Information Systems (September 9–12, 2012, Wrocław, Poland). — 2012. — Art. 6354298. — P. 525–532.
17. Юдаков А. А., Бойков В. Г. Численные методы интегрирования уравнений движения многокомпонентных механических систем, основанные на методах прямого интегрирования уравнений динамики метода конечных элементов // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. — 2013. — Вып. 1. — С. 131–144.
18. Котляревский В. А. Коррекция динамических испытаний конструкций на моделях при наличии масштабных эффектов // Строительная механика и расчет сооружений. — 2014. — № 1(252). — С. 43–48.
19. Котляревский В. А. Особенности вибрационной диагностики в строительстве // Наука и безопасность. — 2013. — Вып. 4(9). — С. 2–10.
20. Кашеварова Г. Г., Пепеляев А. А. Моделирование и ретроспективный анализ взрыва бытового газа в кирпичном здании // Строительная механика и расчет сооружений. — 2010. — № 2. — С. 31–36.

Материал поступил в редакцию 25 января 2018 г.

Для цитирования: Комаров А. А., Корольченко Д. А., Фан Туан Ань. Особенности определения коэффициента динамичности при импульсных нагрузках // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 2-3. — С. 37–43. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.37-43.

English

FEATURES OF DETERMINATION OF THE DYNAMIC AMPLIFICATION FACTOR UNDER IMPULSE LOADS

KOMAROV A. A., Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

KOROLCHENKO D. A., Candidate of Technical Sciences, Docent, Head of Institute of Integrated Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ikbs@mgsu.ru)

PHAN TUAN ANH, Postgraduate Student of Hydraulics and Water Resources Department, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: ptuananh26789@gmail.com)

ABSTRACT

It is accepted to lead non-stationary loads to equivalent static loads in practice of construction design. Different methodologies are used to calculate the effects of dynamic impact on building structures. This article describes evaluation methodology of dynamic amplification factor under impact loads, arising in case of explosions, falling of massive bodies, hydraulic impact. To calculate the dynamic amplification factor it was determined frequency of fundamental tone of natural oscillation. A shortcoming of described evaluation method of dynamic amplification factor under impact loads is the assumption that oscillation process of each element happens at a certain frequency (usually at the fundamental tone frequency); though in fact oscillations happen in all range of natural frequencies of elastic element. Besides, any boundary conditions for this methodology can be set with certain approximations. Nevertheless structural analysis of building constructions in conditions of emergency situation, when the maximum possible loadings have been taken as initial data, such approach in determination

of K_{dyn} is justified in a certain degree. The integrating equations for different types of loads and various ratios between load duration and natural oscillation period has allowed to determine values of dynamic amplification factor for such ratios at five types of loads. It have been shown that temporality of loading influences dynamic amplification factor only at certain ratios between load duration and natural oscillation period. This fact can be attributed to a sufficiently long (in ratio to the natural oscillation period), but not to impulse loads. Values of dynamic amplification factor for various ratios between load duration and natural oscillation period under the impact forces and under the growth phase load were given. The type of load have not affect numerical values of dynamic amplification factor for the presented ratios. The main influence on dynamic amplification factor is the pressure pulse.

Keywords: static load; dynamic load; dynamic amplification factor; structural analysis; typical loads; natural oscillation period.

REFERENCES

1. Nazarov V. P., Korotovskikh Ya. V. Computer technology prediction fire and explosion hazard of production objects. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2010, no. 5, pp. 21–26 (in Russian).
2. Efremov K. V., Lisanov M. V., Sofin A. S., Samuseva E. A., Sumskey S. I., Kirienko A. P. Calculation of buildings and structures destruction zones resulted from explosions of fuel-air mixtures at hazardous production facilities. *Bezopasnost truda v promyshlennosti / Occupational Safety in Industry*, 2011, no. 9, pp. 70–77 (in Russian).
3. Yan S., Wang J.-H., Wang D., Zhang L. Mechanism analysis on progressive collapse of RC frame structure under blast effect. *Gongcheng Lixue / Engineering Mechanics*, 2009, no. 26 (suppl. 1), pp. 119–123, 129.
4. Chen H. L., Xia Z. C., Zhou J. N., Fan H. L., Jin F. N. Dynamic responses of underground arch structures subjected to conventional blast loads: Curvature effects. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2013, vol. 13, issue 3, pp. 322–333. DOI: 10.1016/j.acme.2013.04.004.
5. Popov N. N., Rastorguev B. S. *Dinamicheskiy raschet zhelezobetonnykh konstruksiy* [Dynamic calculation of reinforced concrete structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1974. 207 p. (in Russian).
6. Rastorguev B. S. *Metodicheskiye ukazaniya po proyektirovaniyu novykh i obsledovaniyu sushchestvuyushchikh stroitelnykh konstruksiy zdaniy vzryvoopasnykh proizvodstv* [Methodology on design the new buildings and on inspection the explosive production premises]. Moscow, Association of Higher Construction Institutions Publ., 1996. 227 p. (in Russian).
7. Construction norms and rules 2.01.07–85. *Loads and impacts* (with changes No. 1, 2) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/5200280> (Accessed 15 January 2018).
8. Korenev B. G., Rabinovich I. M. (eds.). *Dinamicheskiy raschet sooruzheniy na spetsialnyye vozdeystviya. Spravochnik proyektirovshchika* [Dynamic calculation of structures for special impacts. Reference book of the designer]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1981. 218 p. (in Russian).
9. Polandov Iu., Korolchenko D. The consideration of the turbulence influence on the gas explosion expansion in non-closed areas. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 106, art. 01040. 8 p. DOI: 10.1051/mateconf/201710601040.
10. Korolchenko D., Pizhurin A. Simulating operational control of production in lumber house building businesses. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 117, art. 00084. 7 p. DOI: 10.1051/mateconf/201711700084.
11. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Byakov A. V. The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1073-1076, pp. 2353–2357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
12. Komarov A., Bazhina E., Bobrov Yu. Relationship between gas-dynamic flows and impacts of emergency explosions indoors. *MATEC Web of Conferences*, 2016, vol. 86, art. 04048. 5 p. DOI: 10.1051/mateconf/20168604048.
13. Sulimenko V. A., Komarov A. A., Vasjukov G. V., Zagumennikov R. A. Features of calculation of parameters the occurrence of explosive mixtures at emergency. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, no. 4(62), pp. 109–116 (in Russian).
14. Kabantsev O., Perelmuter A. Modeling transition in design model when analyzing specific behaviors of structures. *Procedia Engineering*, 2013, vol. 57, pp. 479–488. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.04.062.
15. Fialko S. Yu. Iterative methods for solving large-scale problems of structural mechanics using multi-core computers. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2014, vol. 14, issue 1, pp. 190–203. DOI: 10.1016/j.acme.2013.05.009.

16. Fialko S. Parallel finite element solver for multi-core computers. In: *Federated Conference on Computer Science and Information Systems* (September 9–12, 2012, Wrocław, Poland), 2012, art. 6354298, pp. 525–532.
17. Yudakov A. A., Boikov V. G. Numerical methods of multibody mechanical system's dynamic equations integration, based on methods of direct integration of finite element method's dynamic equations. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Matematika. Mekhanika. Komp'yuternye nauki / The Bulletin of Udmurt University. Mathematics. Mechanics. Computer Science*, 2013, issue 1, pp. 131–144 (in Russian).
18. Kotlyarevsky V. A. Correction of structures dynamic tests on models under influence of scale effects. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy / Structural Mechanics and Analysis of Constructions*, 2014, no. 1(252), pp. 43–48 (in Russian).
19. Kotlyarevsky V. A. Features of vibration diagnostics in construction. *Nauka i bezopasnost / Science and Safety*, 2013, issue 4(9), pp. 2–10 (in Russian).
20. Kashevarova G. G., Pepelyaev A. A. Modeling and retrospective analysis for the domestic gas explosion in brick building. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy / Structural Mechanics and Analysis of Constructions*, 2010, no. 2, pp. 31–36 (in Russian).

For citation: Komarov A. A., Korolchenko D. A., Phan Tuan Anh. Features of determination of the dynamic amplification factor under impulse loads. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 2-3, pp. 37–43 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.37-43.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Г. И. Смелков, В. Н. Черкасов,
В. Н. Веревкин, В. А. Пехотиков, А. И. Рябиков

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие



Приводятся новые, отвечающие современной нормативной базе, требования по классификации горючих смесей и пожаровзрывоопасных зон; рекомендации по выбору и использованию оборудования, включая кабельные изделия во взрывопожароопасных зонах.

Издание предназначено для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием и монтажом электроустановок, работников пожарной охраны и специалистов широкого профиля в качестве учебного пособия для подготовки и повышения квалификации в области пожаровзрывобезопасности электроустановок.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru