

УДК 624.042: 624.046

В.В. Руденко

Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, Харьков

УЧЕТ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНА И АРМАТУРЫ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧНОСТИ

В статье приводится детальный анализ теоретической зависимости коэффициента динамичности от классов бетона и классов арматуры. Подчеркнута методика расчета коэффициента динамичности с учетом коэффициента пластичности. Выявлена особенность изменения коэффициента динамичности с повышением классов бетона и классов арматуры в случае прогрессирующего обрушения.

Ключевые слова: коэффициент динамичности, коэффициент пластичности, прогрессирующее обрушение.

Основные проблемы и цель исследования

На сегодняшний день расчетная методика многоэтажных зданий на прогрессирующее обрушение базируется на допущении о динамическом характере воздействия постоянной и длительной составляющей переменной нагрузки на существующие конструкции. Учитывается этот фактор с помощью коэффициента динамичности по нагрузке K_d , который при расчете в упругой стадии равен двум, а при допущении в конструкции пластических деформаций его значение изменяется в пределах $K_d = 1.15 \div 1.33$.

Целью предложенного расчета является определение зависимости коэффициента динамичности от прочностных характеристик материалов, а именно, от класса бетона и класса арматуры с учетом ДБН В. 2.6-98:2009.

Анализ последних исследований и достижений

В настоящее время для обеспечения надежности и безопасной эксплуатации зданий и сооружений необходимы поэтапные отдельные разработки по развитию усовершенствованной методики оценки уязвимости конструктивных систем и их совершенствования для смягчения воздействия прогрессирующего обрушения при различных вариантах опасности. Инженеры нуждаются в простых методах проектирования и расчетах, способных предотвратить потенциальную опасность лавинообразного прогрессирующего обрушения зданий или уменьшить степень его влияния на людей и окружающую среду. Конкретные задачи, связанные с проблемой оценки состояния прочности и устойчивости железобетонных конструкций в случае возникновения прогрессирующего обрушения, рассматриваются рядом отечественных и зарубежных ученых. К их числу следует отнести работы В.О. Алмазова [1], А.В. Перельмутера [2],

И.Н. Тихонова [3,4], Choi H.J, Krauthamer T. [8]. В этих работах не акцентируется внимание на зависимость коэффициента динамичности от коэффициента пластичности с учетом изменения класса бетона и класса арматуры.

Основная часть

Существует несколько подходов в оценке коэффициента динамичности K_d при помощи простейших аналитических зависимостей. Так, например, согласно предложению И. Н. Тихонова [2,3] данный коэффициент можно определить по формуле (1):

$$K_d = \frac{k_{pl}}{k_{pl} - 0.5}, \quad (1)$$

где K_{pl} – коэффициент пластичности, определяемый по формуле (2):

$$k_{pl} = \frac{\varepsilon_{cmd} w_d E_s (0.78 - \xi_c)}{(f_{cd} + 0.002 E_s) \xi_c} \quad (2)$$

где ε_{cmd} – краевые относительные деформации бетона при сжатии;

$\xi_c = \frac{x}{d}$ (принимается для С 12/15=0,2; для С 16/20= 0,205)

$$\varepsilon_{cmd} = \frac{\varepsilon_{buld}}{\left(1 - \frac{w_d}{1.1}\right)} \quad (3)$$

где ε_{buld} – относительные деформации бетона при центральном сжатии

$$w_d = 0.85 - 0.008 \cdot f_{cd} \quad (4)$$

Значение величины k_{pl} зависит как от деформативных характеристик бетона ε_{c1} и ε_{cu3} , так и деформативных характеристик арматурной стали ε_{s1} и ε_{su3} .

Для анализа влияния различных классов бетона и различных классов арматуры на развитие

коэффициента пластичности k_{pl} , а следовательно, и коэффициента динамичности K_d были рассмотрены наиболее употребительные классы бетона С12/15, С16/20, С25/30, С32/40 и классы арматуры А240, А400С, А500С, А600С. Для этих материалов были выбраны деформативные характеристики и прочностные параметры согласно указаниям ДБН В.2.6-98:2009 [4].

Расчет коэффициента пластичности выполнялся для двух случаев:

при относительных деформациях сжатия бетона ε_{c1} ;

при относительных предельных деформациях сжатия бетона ε_{cu1}

В таблице 1 приведены значения относительных деформаций сжатия бетона ε_{c1} , относительные предельные деформации сжатия бетона ε_{cu1} , характеристическое значение прочности бетона f_{ck} для классов бетона С 12/15, С 16/20, С 25/30 и С 32/40.

Таблица 1.

Значения ε_{c1} ; ε_{cu1} и f_{ck} для различных классов бетона

Класс бетона	ε_{c1}	ε_{cu1}	f_{ck} , МПа
С 12/15	0,00161	0,0044	11
С 16/20	0,00166	0,00415	15
С 25/30	0,00176	0,00355	22
С 32/40	0,00186	0,003	29

В таблице 2 приведены модуль упругости арматуры E_s , характеристическое значение предела прочности арматуры f_{yk} для классов арматуры А240, А400с, А500с, А600с.

Таблица 2.

Значения f_{yk} и E_s для различных классов арматуры

Класс арматуры	E_s , МПа	f_{yk} , МПа
А 240	$2,1 \cdot 10^5$	236,25
А 400с	$2 \cdot 10^5$	401,5
А500с	$1,9 \cdot 10^5$	517,5
А 600с	$1,9 \cdot 10^5$	540

Нормативные значения сопротивления сжатию получены путем умножения расчетных сопротивлений арматуры сжатию на динамический коэффициент упрочнения по арматуре.

В расчетные прочностные характеристики материалов бетона и арматуры вводились коэффициенты динамического упрочнения материалов.

Условно принимаем: $\gamma_{sv} = \gamma_{cd} = 1,2$.

для бетона класса С12/15(В15) $\xi_c = 0,2$;

для бетона класса С16/20(В20) $\xi_c = 0,205$;

для бетона класса С25/30(В30) $\xi_c = 0,215$;

для бетона класса С32/40(В40) $\xi_c = 0,225$.

Расчет коэффициента динамичности по нагрузке при относительных деформациях сжатия

бетона при классе бетона С12/15 и С16/20 ε_{c1} приведен в табличной форме (табл.3, табл.4):

Для классов бетона С25/30 и С32/40 были произведены аналогичные расчеты, на основании которых удалось установить зависимость коэффициента динамичности K_d от различных классов бетона и классов арматуры. Эта зависимость приведена на рис. 1.

Таблица 3.

Расчет коэффициента динамичности по нагрузке при относительных деформациях сжатия бетона ε_{c1} для класса С12/15.

Класс бетона	С12/15			
Класс арматуры	А240	А400С	А500С	А600С
ε_{um}	0,00161	0,00161	0,00161	0,00161
$f_{c,}$, МПа	11	11	11	11
γ_{bv}	1,2	1,2	1,2	1,2
f_{cd} , МПа	13,2	13,2	13,2	13,2
W_d	0,744	0,744	0,744	0,744
ε_{cmd}	0,005	0,005	0,005	0,005
E_s , Мпа	$2,1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$
ξ_c	0,2	0,2	0,2	0,2
f_{yk} , МПа	236,25	401,5	517,5	540
γ_{sv}	1,2	1,2	1,2	1,2
f_{yd} , МПа	283,5	481,8	621	648
K_{pl}	3,21	2,44	2,04	1,99
K_d	1,18	1,26	1,32	1,34

Таблица 4.

Расчет коэффициента динамичности по нагрузке при относительных деформациях сжатия бетона ε_{c1} для класса С16/20.

Класс бетона	С16/20			
Класс арматуры	А240	А400С	А500С	А600С
ε_{um}	0,00166	0,00166	0,00166	0,00166
$f_{c,}$, МПа	15	15	15	15
γ_{bv}	1,2	1,2	1,2	1,2
f_{cd} , МПа	18	18	18	18
W_d	0,706	0,706	0,706	0,706
ε_{cmd}	0,005	0,005	0,005	0,005
E_s , Мпа	$2,1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$
ξ_c	0,205	0,205	0,205	0,205
f_{yk} , МПа	236,25	401,5	517,5	540
γ_{sv}	1,2	1,2	1,2	1,2
f_{yd} , МПа	283,5	481,8	621	648
K_{pl}	2,74	2,08	1,74	1,7
K_d	1,22	1,32	1,4	1,42

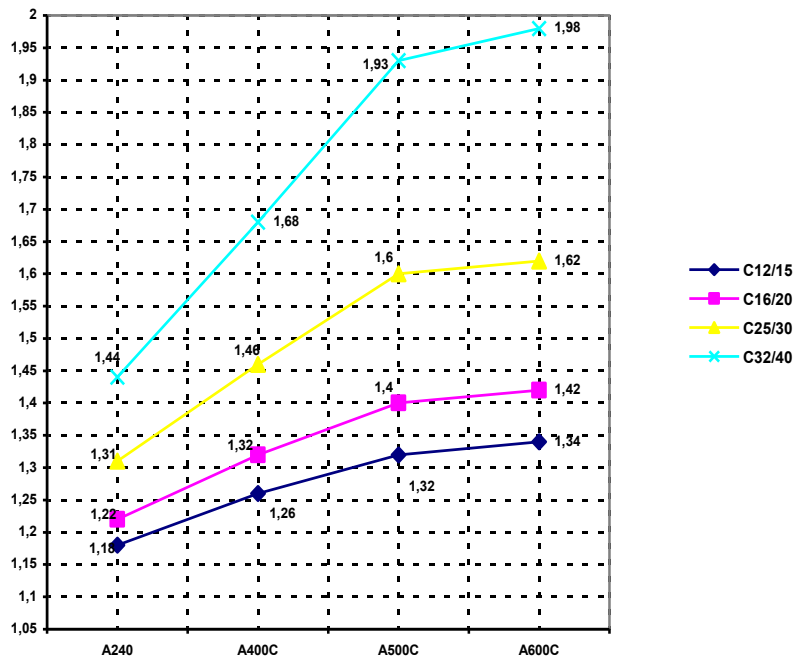


Рис.1. Зависимость коэффициента динамичности по нагрузке K_d от класса бетона и класса арматуры при относительных деформациях сжатия бетона ϵ_{c1}

Из представленного графика видно, что с увеличением класса арматуры при относительных деформациях сжатия бетона ϵ_{c1} (от A240 до A600C) возрастает коэффициент динамичности от 1,18 до 1,34 при классе бетона C12/15. А анализируя класс бетона C16/20 видно, что коэффициент динамичности увеличивается от 1,22 до 1,42. Также можно наблюдать плавный рост коэффициента динамичности с увеличением класса бетона от 1,18

до 1,44 при классе арматуры A240 и от 1,34 до 1,98 при классе арматуры C32/40.

Расчет коэффициента динамичности по нагрузке при относительных деформациях сжатия бетона ϵ_{cu1} производился аналогичным путем, в результате аналогично была получена зависимость коэффициента динамичности по нагрузке K_d от класса бетона и класса арматуры при относительных деформациях сжатия бетона ϵ_{cu1} (рис.2).

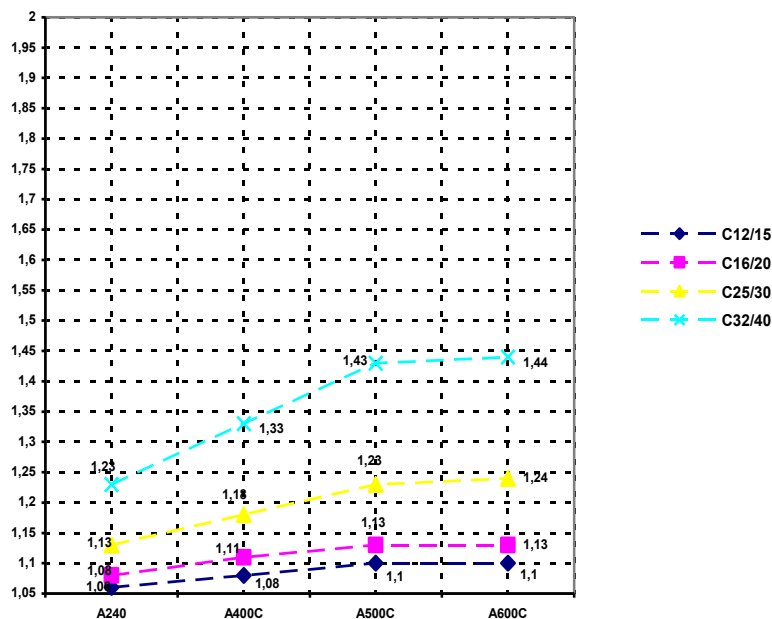


Рис.2. Зависимость коэффициента динамичности по нагрузке K_d от класса бетона и класса арматуры при относительных предельных деформациях сжатия бетона ϵ_{cu1}

Анализируя полученные результаты теоретических исследований изменения коэффициента динамичности с увеличением классов бетона (от С12/15 до С32/40) и классов арматуры (от А240 до А600С), при относительной предельной деформации сжатия бетона ε_{cu1} можно наблюдать плавную картину роста коэффициента динамичности от 1,06 до 1,1 при С12/15 и от 1,23 до 1,44 при классе бетона С32/40.

Выводы

Таким образом, на основании теоретических исследований удалось выявить особенность изменения коэффициента динамичности, а именно: увеличение класса бетона приводит и к увеличению коэффициента динамичности, что неблагоприятно сказывается на развитии усилий в случае прогрессирующего обрушения. Поэтому стремиться к повышению прочностных характеристик материалов при расчете на прогрессирующее обрушение не всегда целесообразно. Отмечается также еще одна примечательная особенность развития пластических деформаций, заключающаяся в том, что учет полной диаграммы деформирования бетона (с учетом ниспадающей ветви) приводит к существенному снижению коэффициента динамичности; так для класса бетона С32/40 это снижение составляет от 1,98 до 1,45, а для класса бетона С12/15 от 1,34 до 1,1. Класс арматуры сказывается на коэффициенте динамичности только в пределах от А400С до А500С. Более рациональным следует считать класс А400С[5]. Снижение коэффициента динамичности при учете модуля прогрессирующего обрушения приводит к уменьшению разрушающих усилий в конструкции [6,7].

Литература

1. Алмазов, В.О., Плотников, А.И., Расторгуев, Б.С. Проблемы сопротивления зданий прогрессирующему разрушению. //Вестник МГСУ 2/2011.- С.15-20.
2. Перемутьер, А. В. О расчетах сооружений на прогрессирующее обрушение [Текст] / А. В. Перемутьер // Вестник МГСУ. -2008. -№1. -С. 119-128.
3. Тихонов, И.Н., Мешков В.З. Армирование железобетонных конструкций с целью предотвращения прогрессирующего обрушения.// Бетон и железобетон взгляд в будущее. 3-я Всероссийская (2-я Международная) конференция по бетону и железобетону 12-16 мая 2014г. Т.1- С. 379-388.
4. Тихонов, И.Н. Армирование элементов железобетонных зданий. Пособие по проектированию./ С.26-33.
5. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні

конструкції. Основні положення. С.75.

6. Шаповалов А.Н., Руденко В.В. / Расчетные параметры в оценке зданий при прогрессирующем обрушении // 3-я Всеукраинская студенческая научно-техническая конференция «Устойчивое развитие городов».- Харьков 2010,-ч.1-С.129130.
7. Шаповалов А.Н., Руденко В.В. / Некоторые закономерности изменения внутренних усилий в многоэтажных зданиях при аварийном разрушении отдельных колонн. // «Коммунальное хозяйство городов». -Харьков:ХНУГХ им. А.Н.Бекетова, 2013-вып.107.-С.102-109.
8. Choi, H.J, Krauthamer T. Investigation of Progressive Collapse Phenomenal in a Multi Story Building // 11 th International Symposium on the Interaction of the Effects of Munitions with Structures, Mannheim, Germany, 5-9 May 2003.

References

1. Almazov, B.O., Plotnikov, A. I., Rastorguev, B.S. Problems of resistance of building to making progress collapse. //Vestnik MGSU 2/2011,15-20.
2. Peremulter, AV On Calculations of Structures for Progressive Collapse [Text] / A. V. Perelmutter // Vestnik MSSU. -2008. -№1. -FROM. 119-128.
3. Tihonov, I.N., Meshkov, V.Z. / Reinforcement of reinforce-concrete constructions with the purpose of prevention of the making progressive collapse. Concrete and reinforced concrete look in the future.3th All-russian (2th International) conference on aconcrete and reinforced concrete of May, 12-16 of 2014г.Т.1- P. 379-388.
4. Tihonov, I.N. / Reinforcement of elements of reinforce-concrete buildings. Manual on planning./ P.26-33
5. ДБН В.2.6-98:2009. Concrete and reinforce-concrete constructions. Substantive provisions.- P.75.
6. Shapovalov, A. N., Rudenko, V. V. / Calculation parameters in the estimation of buildings at the progressive collapse. // 3- th the Allukrainian student scientific and technical conference «Steady development of cities».- Kharkov 2010, -p.1- P.129-130.
7. Shapovalov, A. N., Rudenko, V. V. / Some conformities to law of change of internal efforts in multistory buildings at emergency destruction of separate columns. // the «Communal economy of cities». - the name of A.N.Beketova, 2013- p.107.-P.102-109.
8. Choi, H. J, Krauthamer T. Investigation of Progressive Collapse Phenomenal in a Multi Story Building // 11 th International Symposium on the Interaction of the Effects of Munitions with Structures, Mannheim, Germany, 5-9 May 2003.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. С. Шмуклер,
Харьковский национальный университет городского
хозяйства им. А.Н. Бекетова, Харьков.

Автор: РУДЕНКО Виктория Владимировна
Харьковский национальный университет городского
хозяйства им. А.Н. Бекетова, Харьков.
E-mail – Rudikv@ukrl.net

ВРАХУВАННЯ МІЦНОСТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНУ ТА АРМАТУРИ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ВЕЛИЧИНИ КОЕФІЦІЄНТА ДИНАМІЧНОСТІ

В.В. Руденко

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, Харків

У статті проводиться детальний аналіз теоретичної залежності коефіцієнта динамічності від класів бетону та класів арматури. Підкреслено методику розрахунку коефіцієнта динамічності з урахуванням коефіцієнта пластичності. Виявлено особливість зміни коефіцієнта динамічності з підвищенням класу бетону та класу армування у випадку прогресуючого руйнування.

Ключові слова: коефіцієнт динамічності, коефіцієнт пластичності, прогресуюче обвалення.

ACCOUNT OF THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF CONCRETE AND REINFORCEMENT IN DETERMINING THE VALUE OF THE DYNAMIC FACTOR

V. Rudenko

O.M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Kharkiv

*To the article gives a detailed analysis of the theoretical dependence of the coefficient of dynamic classes of concrete and reinforcement classes for the two cases: when *otnositelnye* strains of compression concrete ε_{c1} ; *otnositelnye* ultimate compression strain of concrete ε_{cu1} . Accented by the method of calculation of the dynamic factor with the factor of plasticity. The identified feature changes of the dynamic loadings with increasing grades of concrete and reinforcement classes in the case of progressive collapse. The increase of concrete leads to an increase of the dynamic factor that adversely affects the development effort in case of progressive collapse, there is a gradual growth of dynamic factor with the increase of the concrete class from 1.18 to 1.44 if class of reinforcement A240 and of 1.34 to 1.98 when the rebars grade C32/40. Marked feature of the development of plastic deformation, which consists in taking into account the full diagram of deformation of concrete leading to significant reduction of dynamic factor: for concrete grade C32/40 - from 1,98 to 1.45; for concrete class C12/15 - from 1,34 to 1.1. A more rational should be considered a class A400.*

Keywords: coefficient dynamic, coefficient of plasticity, progressive collapse.