

- Engineering. – 2014. – Vol. 10. – Issue 5. – P. 589–603.
15. Probability-based assessment of dam safety using combined risk analysis and reliability methods—application to hazards studies / L. Peyras, C. Carvajal, H. Felix [ and others ] // European Journal of Environmental and Civil Engineering. – 2012. – Vol. 16. – Issue 7. – P. 795-817.
  16. A reliability-based approach to evaluating the stability of high rockfill dams using a nonlinear shear strength criterion / Z.Y. Wu, Y.L. Li, J.K. Chen [and others] // Computers and Geotechnics. – 2013. – Vol. 51. – P.42–49.
  17. Penalty function-based method for obtaining a reliability indicator of gravity dam stability / Y. Li, Y. Sun, B. Li [and others] // Computers and Geotechnics. – 2016. – Vol. 81. – P.19-25.
  18. Плотины из грунтовых материалов: СНиП 2.06.05-84\*. – М.: Госстрой СССР, 1985. – 68 с.
  19. Руководство по определению нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения (волновых, ледовых и от судов) / ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – Л.: Типография ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1977. – 316 с.

УДК 624.042: 624.046

Руденко В.В.

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

## ВЛИЯНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ НА КОЭФФИЦИЕНТ ДИНАМИЧНОСТИ ПРИ РАСЧЕТЕ НА 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  $K_d=1,15 \div 1,33$  [1].

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.

### 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  $\varepsilon_{cmd}$  – 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  $\varepsilon_{buld}$  – 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  $\varepsilon_{c1}$  и  $\varepsilon_{cu3}$ , так и деформативных характеристик арматурной стали  $\varepsilon_{s1}$  и  $\varepsilon_{su3}$ .

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:

1. При относительных деформациях сжатия бетона  $\varepsilon_{c1}$ ;
2. При относительных предельных деформациях сжатия бетона  $\varepsilon_{cu1}$

В табл. 1 приведены значения относительных деформаций сжатия бетона  $\varepsilon_{c1}$ , относительные предельные деформации сжатия бетона  $\varepsilon_{cu1}$ , 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  $\varepsilon_{c1}$ ;  $\varepsilon_{cu1}$  и  $f_{ck}$  для различных классов бетона

Класс бетона	$\varepsilon_{c1}$	$\varepsilon_{cu1}$	$f_{ck}$ , 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 табл. 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(B15)  $\xi_c = 0,2$ ;
- для бетона класса С16/20 (B20)  $\xi_c = 0,205$ ;
- для бетона класса С25/30 (B30)  $\xi_c = 0,215$ ;
- для бетона класса С32/40 (B40)  $\xi_c = 0,225$ .

Расчет коэффициента динамичности по нагрузке при относительных деформациях сжатия бетона при классе бетона С12/15 и С16/20  $\varepsilon_{c1}$  приведен в табличной форме (табл. 3-4):

Таблица 3 - Расчет коэффициента динамичности по нагрузке при относительных деформациях сжатия бетона  $\varepsilon_{c1}$  для класса С12/15.

Класс бетона	С12/15			
	А240	А400С	А500С	А600С
Класс арматуры				
$\varepsilon_{um}$	0,00161	0,00161	0,00161	0,00161
$f_{c,}$ МПа	11	11	11	11
$\gamma_{bv}$	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
$\varepsilon_{cmd}$	0,005	0,005	0,005	0,005
$E_s$ , Мпа	$2,1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$
$\xi_c$	0,2	0,2	0,2	0,2
$f_{yk}$ , МПа	236,25	401,5	517,5	540
$\gamma_{sv}$	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

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 4 - Расчет коэффициента динамичности по нагрузке при относительных деформациях сжатия бетона  $\epsilon_{cu1}$  для класса C16/20.

Класс бетона	C16/20			
Класс арматуры	A240	A400C	A500C	A600C
$\epsilon_{um}$	0,00166	0,00166	0,00166	0,00166
$f_{c,}$ , МПа	15	15	15	15
$\gamma_{bv}$	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
$\epsilon_{cmd}$	0,005	0,005	0,005	0,005
$E_s$ , МПа	$2,1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$
$\xi_c$	0,205	0,205	0,205	0,205
$f_{yk}$ , МПа	236,25	401,5	517,5	540
$\gamma_{sv}$	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

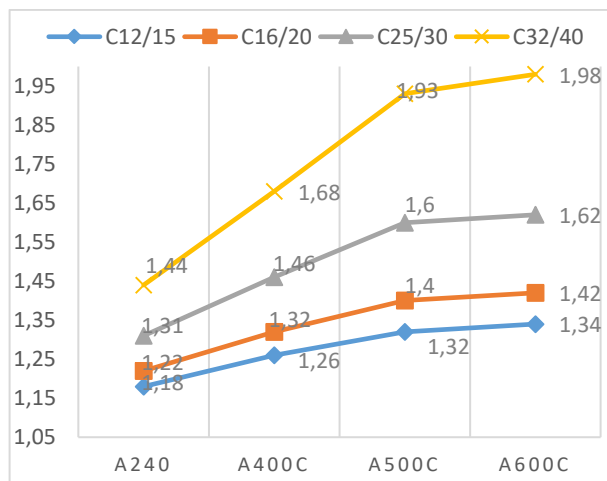


Рис. 1. Зависимость коэффициента динамичности по нагрузке  $K_d$  от класса бетона и класса арматуры при относительных деформациях сжатия бетона  $\epsilon_{cu1}$

Из представленного графика видно, что с увеличением класса арматуры при

относительных деформациях сжатия бетона  $\epsilon_{cu1}$  (от A240 до A600C) возрастает коэффициент динамичности от 1,18 до 1,34 при классе бетона C12/15. А анализирую 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  $\epsilon_{cu1}$  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  $\epsilon_{cu1}$  (рис. 2).

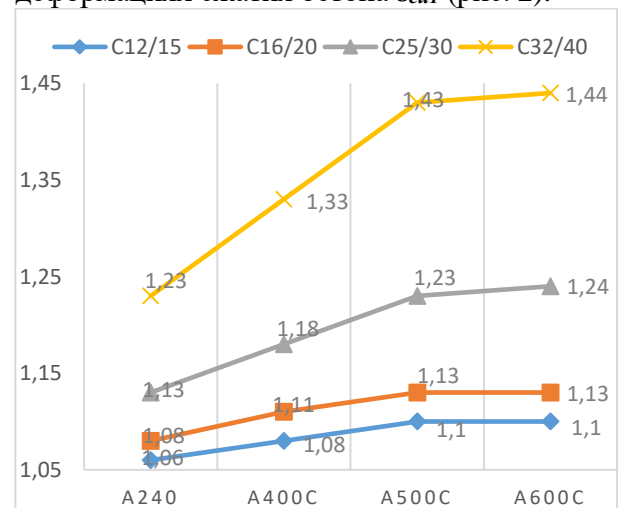


Рис. 2. Зависимость коэффициента динамичности по нагрузке  $K_d$  от класса бетона и класса арматуры при относительные предельные деформации сжатия бетона  $\epsilon_{cu1}$

Анализируя полученные результаты теоретических исследований изменения коэффициента динамичности с увеличением классов бетона (от C12/15 до C32/40) и классов арматуры (от A240 до A600C) при относительные предельные деформации сжатия бетона  $\epsilon_{cu1}$  можно наблюдать плавную картину роста коэффициента динамичности от 1,06 до 1,1 при C12/15 и от 1,23 до 1,44 при классе бетона C32/40.

### 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. 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.
3. Тихонов, И. Н. Армирование элементов железобетонных зданий. Пособие по проектированию./ С.26-33.
4. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. С.75.
5. 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.129-130.
6. 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.
7. 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.

УДК 539.3

Савін О.Б., Соболев В.М.

*Харківський національний університет будівництва та архітектури*

## ПОВЗУЧИСТЬ ТА ПОШКОДЖУВАНІСТЬ СТЕРЖНІВ І ЦИЛІНДРІВ НА БАЗІ ЗМІШАНОГО ВАРІАЦІЙНОГО ФУНКЦІОНАЛА

**Вступ.** Аналіз міцності машинобудівної техніки в сучасних умовах неможливо виконати без залучення науково обґрунтованих методів механіки й інформаційних технологій. Умови експлуатації й

виготовлення деталей такої техніки й елементів конструкцій характеризуються високим рівнем температури, що спричиняє розгляд такого явища, як повзучість. Повзучість елементів конструкцій супроводжується необоротним деформуванням,