УДК 691.32 DOI: 10.18324/2077-5415-2018-1-85-90

Проверка надежности ускоренных методов определения морозостойкости бетона

О.Н. Перцева[a], А.Д. Селезнева[b], Д.А. Пульникова[c]

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая 29,
Санкт-Петербург, Россия
[a]olya_perceva@mail.ru, [b]anna.selezneva31@gmail.com, [c]pulnikova.d@gmail.com
[a]https://orcid.org/0000-0003-3185-2970, [b]https://orcid.org/0000-0002-1732-1594,
[c]https://orcid.org/0000-0002-7610-0695
Статья поступила 09.01.2018, принята 30.01.2018

Статья представляет результаты исследования в области ускоренного определения морозостойкости бетона. Для современных методов характерны высокая трудоемкость и малая оперативность, а, следовательно, низкая эффективность и нерациональное использование ресурсов. Более того, до сих пор нет регламентированных методов для определения морозостойкости бетона в области инновационных материалов с добавлением суперабсорбирующих полимеров, фибробетонов, высокопрочных бетонов и др. Таким образом, необходимо обоснование нового ускоренного метода, обеспечивающего достаточную точность. Ранее были предложены два таких метода, один из которых основан на замере энергии разрушения, другой — на оценке относительной остаточной деформации после разрушения. Главная цель данного исследования — выявить наиболее эффективный метод, так как оба обладают высокой оперативностью и не отнимают много времени, но обеспечивают разную точность. Для проверки точности методов было протестировано 10 бетонных образцов-кубов, и полученные результаты сопоставлены с испытаниями аналогичных образцов по базовому методу.

Ключевые слова: бетон; морозостойкость; термоциклирование; неразрушающий контроль; прочность; SAP; суперабсорбирующие полимеры; повреждение; материаловедение.

Verification of the reliability of the accelerated method of determination of concrete frost resistance

O.N. Pertseva[a], A.D. Selezneva[b], D.A. Pulnikova[c]

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; 29, Politekhnicheskaya St., St. Petersburg, Russia
[a]olya_perceva@mail.ru, [b]anna.selezneva31@gmail.com, [c]pulnikova.d@gmail.com
[a]https://orcid.org/0000-0003-3185-2970, [b]https://orcid.org/0000-0002-1732-1594,
[c]https://orcid.org/0000-0002-7610-0695
Received 9.01.2018, accepted 30.01.2018

The article presents the results of research in the field of accelerated definition of frost resistance of concrete. The present rapid methods have high complexity and low operativeness, consequently low efficiency and misallocation of resources. Moreover, there is still no regulated method for determination of frost resistance of concrete in the field of innovative materials with the use of superabsorbent polymers (SAP), fiber-reinforced concrete, high strength concrete etc. Therefore, it is necessary to substantiate new accelerated method that ensures sufficient accuracy. Previously, two new accelerated methods were proposed, one based on the measurement of fracture energy, the other on the estimation of the relative residual deformation after failure. The main goal of this study is to identify the most effective method, since both of them are highly operational and do not take a lot of time, but differ in accuracy assurance. To test the accuracy of the methods, 10 concrete sample cubes were tested, and the results were compared with tests of similar samples using the basic method.

Keywords: concrete; frost resistance; thermocycling; unbreakable control; strength; SAP; superabsorbent polymers; damage; Material Science.

Введение

В настоящий момент в сфере бетонного производства все чаще используются различные нетрадиционные смеси, состав которых имеет научное обоснование. Примерами таких продуктов могут служить, например, самоуплотняющиеся, самоупрочняющиеся и высокопрочные бетоны [1–3], а также смеси с добавлением суперабсорбентов [4]. В отличие от обыкновенного бетонного камня, где преобладает капиллярный тип пористости и происходит разрушение путем гидравлического и осмотического давления [5], упомянутые инновационные материалы характеризуются нетиповой структурой внутренней матрицы [6]. Высокопрочные бетоны состоят из очень плотной структуры, которая формируется путем подбора вяжущего вещества и заполнителя очень мелких размеров, способных заполнить все образующиеся пустоты, при низком водоцементном отношении [7, 8]. Более того, при добавлении суперабсорбентов (современная альтернатива воздухововлекающим добавкам [9]) образуются закрытые поры, которые не содержат свободной воды, способной расширяться при замерзании, разрушая при этом стенки матрицы [10, 11]. Таким образом, в новых сортах бетонов при термоциклировании действуют иные механизмы разрушения, отличающиеся от общеизвестных (например, рыхление материала при циклических нагрузках).

К сожалению, традиционные методы измерения морозостойкости, основанные на сборе статистической базы данных, учитывают разрушение только при гидравлическом давлении в капиллярах. В частности, базовые методы [12] требуют проведения большого объема испытаний для обеспечения достаточного коэффициента вариации (необходимо прямое термоциклирование, для тяжелых бетонов — около 50 образцов и более 100 циклов, что занимает более 3-х месяцев). Существующие ускоренные методы (например, дилатометрический) основаны на зависимостях, полученных базовым методом, и при испытании новых составов требуют установления этих зависимостей. Данные обстоятельства не позволяют исследовать новые бетоны, описанные ранее, стандартными методами, несостоятельность которых была неоднократно продемонстрирована [13].

Более того, высокопрочные бетоны характеризуются высокой степенью шелушения поверхности при все еще высоком значении остаточной прочности [14], что не позволяет использовать такой критерий разрушения, как потеря массы (присутствует в российских и европейских нормах [15, 16]), для испытаний этого типа состава.

Таким образом, требуется обоснование новых ускоренных методов определения морозостойкости бетонов, позволяющих определять долговечность камня с наименьшей трудоемкостью и высокой оперативностью. Ниже предлагается возможное решение данной проблемы в виде обоснования двух ускоренных методов определения морозостойкости (энергетический метод и метод остаточных деформаций), основанных на общепринятых принципах деформирования анизотропной твердой среды, что позволяет заявить об их фундаментальности и возможности использования для более широкого спектра бетонных материалов.

Энергетический метод. Данный метод [17] основан на замере энергии разрушения и включает следующие шаги:

1. Измерение дилатометром относительной остаточной деформации каждого водонасыщенного образца θ_{ten} после одного цикла замораживания – размораживания (в данном случае использовался дилатометр ДОД-100-К).

2. Измерение методом акустической эмиссии [18] максимальной неразрушающей нагрузки L_0 образца в условиях растяжения (в данном случае использовался комплекс АФ-15 АЕ Кишиневского завода), по которой определяется долгосрочный предел прочности R_{lt} в условиях растяжения.

3. Измерение краткосрочного предела прочности R.

Если значение L_0 известно, то долгосрочный предел прочности R_{lt} в условиях растяжения находится по формуле:

$$R_{lt} = 2L_0/\pi S, \quad (1)$$

где S — площадь поверхности образца, перпендикулярной сжатию; L_0 — максимальная неразрушающая нагрузка в условиях растяжения.

Определение относительной остаточной деформации и долгосрочного предела прочности позволяет рассчитать энергию W_{tc}, рассеянную образцом в процессе разрушения путем замораживания – размораживания, по формуле:

$$W_{tc} = \theta_{ten} R_{lt}, \quad (2)$$

где θ_{ten} — относительная остаточная деформация образца; R_{lt} — долгосрочный предел прочности в условиях растяжения.

Далее образец нагружают в условиях одноосного сжатия до максимальной нагрузки, после чего регистрируют значения продольной нагрузки и продольной остаточной деформации, соответствующей этой нагрузке. Это позволяет определить энергию, рассеянную единицей образца в процессе его сжатия, путем численного интегрирования зависимости продольного нагружения от продольных деформаций. Значение энергии, рассеянной в единице объема образца в процессе его сжатия до экстремальной нагрузки, пропорционально значению квадрата соответствующего краткосрочного предела прочности:

$$W_{com} = \alpha R^2, \quad (3)$$

где R — краткосрочный предел прочности; α — коэффициент пропорциональности.

После логарифмирования (3) и последующего дифференцирования получаем зависимость между относительным снижением энергии, рассеянной в единице объема образца в процессе его сжатия до экстремальной нагрузки, и относительным снижением кратковременного предела прочности:

$$\Delta W/W_{com} = 2[\Delta R/R], \quad (4)$$

где $[\Delta R/R]$ — стандартное (регламентируемое) относительное снижение предела прочности ($[\Delta R/R]$ = 0,05…0,15); ΔW — допустимое абсолютное изменение энергии, рассеянной в единице объема образца.

В таком случае марка бетонного образца по морозостойкости определяется как количество циклов замораживаний – оттаиваний, на каждый из которых затрачивается энергия, рассеянная в единице объема образца в процессе замораживания – размораживания, в пределах допустимого абсолютного изменения энергии, рассеянной в единице объема образца:

$$F_{sam} = [\Delta W]/W_{tc} \, . \tag{4}$$

Зная ранее полученное значение энергии, рассеянной в единице объема в процессе замораживания – оттаивания, морозостойкость образца определяем по формуле:

$$F_{sam} = 2[\Delta R/R]W_{com}/W_{tc} \, . \tag{5}$$

Морозостойкость бетона принимается средней по всем испытанным образцам.

Метод остаточных деформаций. Второй предлагаемый [19, 20] метод реализуется следующим путем:

1. При помощи дифференциального объемного дилатометра измеряется относительная остаточная деформация ε_{Tij} после каждого термоцикла, для каждого образца в серии (для данного метода выборка образцов составляет от 5 до 10 шт.).

2. После термоциклирования каждый образец нагружают в условиях одноосного сжатия по режиму, отраженному на рис. 1, с целью индикации значения максимальной нагрузки первого нагружения $L_{\max} = L_1$ и значения экстремальной нагрузки второго нагружения L_2.

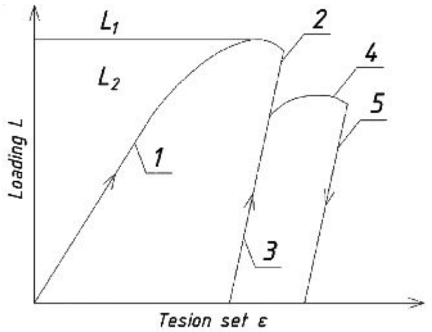

Рис. 1. Режим нагружения образца в условиях одноосного сжатия после термоциклирования: *1* — кривая первого нагружения; *2* — прямая первого разгружения; *3* — прямая второго нагружения; *4* — кривая второго нагружения; *5* — прямая второго разгружения; ε_n — относительная продольная остаточная деформация; L_1 — экстремальная нагрузка первого нагружения; L_2 — экстремальная нагрузка второго нагружения

3. После окончания первого разгружения необходимо замерить (без перемещения образца) остаточную деформацию i-го образца в направлении, перпендикулярном сжатию.

Относительная остаточная деформация ε_{0i} в направлении, перпендикулярном сжатию, рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon_{0i} = \frac{\Delta a}{a_0} \, , \tag{6}$$

где a_0 — размер *i*-го образца до начала сжатия в направлении, перпендикулярном сжатию; Δa_i — относительное изменение этого размера.

Для *i*-го образца рассчитывается отношение z_i относительного снижения предела прочности к относительной остаточной деформации образца в направлении, перпендикулярном сжатию, по формуле:

$$z_i = \frac{L_{1i} \quad L_{2i}}{L_{1i}\varepsilon_{0i}} \, , \tag{7}$$

где L_{1i} и L_{2i} — экстремальная нагрузка *i*-го образца при первом и втором нагружении соответственно; ε_{0i} — относительная остаточная деформация в направлении, перпендикулярном сжатию, для *i*-го образца.

Затем определяется значение относительной остаточной деформации ε_m, которая соответствует относительному снижению предела прочности, регламентируемого стандартом. Для *i*-го образца она определяется по формуле:

$$\varepsilon_{mi} = \frac{\Delta R/R}{z_i} \, , \tag{8}$$

где $[\Delta R/R]$ — относительное снижение прочности, регламентируемое стандартом.

Постоянная материала λ определяется как тангенс угла наклона соответствующего графика ($\lambda = tg\alpha$) через значения ε_{Tij} (рис. 2).

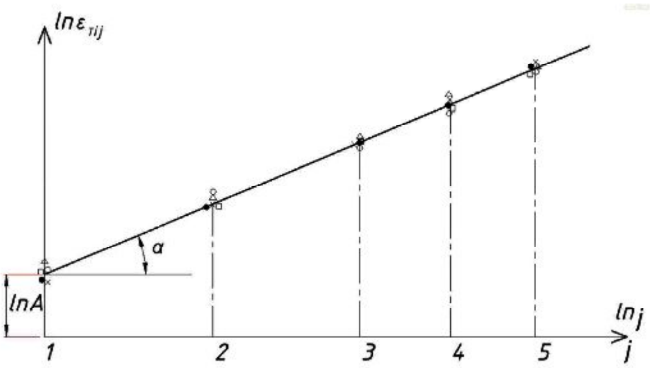

Рис. 2. График для определения параметров A и λ зависимости остаточной деформации $\varepsilon_{Tij} = Aj^{\lambda}$ по данным об относительных остаточных деформациях ε_{Tij} для *i*-го образца после *j*-го термоцикла: *j* — количество термоциклов; *A* — температурная относительная остаточная деформация после первого термоцикла; α — угол наклона прямой к горизонтали; □, ○, ◊, Δ, × — точки, полученные по результатам испытаний соответственно I, II, III, IV и V образцов

Согласно зависимостям $\varepsilon_{Tij} = Aj^{\lambda}$ и $\varepsilon_{mj} = AF_i^{\lambda}$, где *A* — остаточная деформация после первого цикла (замораживание – размораживание или нагружение – разгружение), морозостойкость может быть получена по формуле:

$$\frac{\varepsilon_{mj}}{\varepsilon_{Tij}} = \frac{F_i}{j}^{\lambda} \qquad F_i = j \, \frac{\varepsilon_{mi}}{\varepsilon_{Tij}}^{\frac{1}{\lambda}} \, , \tag{9}$$

где F_i — морозостойкость *i*-го образца; ε_{Tij} — относительная остаточная деформация *i*-го образца после *j* термоциклов; ε_{mi} — относительная остаточная деформация i-го образца после сжатия; j — количество термоциклов.

Морозостойкость материала определяется как среднее значение морозостойкости всех образцов.

Методы реализации и результаты. Для проверки методов было испытано по 10 образцов (кубы со стороной 10 см в возрасте 88 дней). Кроме того, 100 аналогичных образцов испытывались базовым методом. Образцы были изготовлены из бетонной смеси одного состава: портландцемент марки 400 — 1 весовая часть, песок — 2 весовые части, гранитный щебень 5…20 мм — 4,5 весовые части, вода — 0,6 весовой части. Согласно базовому методу, морозостойкость для смеси такого состава составляет 105 циклов. Результаты испытаний ускоренными методами приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Результаты испытаний по энергетическому методу

№	$\overline{R_{lt}}$, *МПа*	$\theta_{ten} \cdot 10^4$	$W_{tc} \cdot 10^4$, *МПа*	$W_{com} \cdot 10^4$, *МПа*	$\Delta W \cdot 10^2$, *МПа*	F_i
1	1,5	2,7	4,05	0,9990	2,997	74
2	1,7	3,1	5,27	1,7215	5,165	98
3	1,8	1,8	3,24	1,2312	3,694	114
4	1,9	2,6	4,90	1,6796	5,039	102
5	2,0	2,5	5,00	1,4333	4,300	86
6	2,1	1,9	4,00	1,4364	4,309	108
7	2,2	2,6	5,72	2,2308	6,692	117
8	2,3	2,1	4,83	1,3846	4,154	86
9	2,9	1,8	5,22	1,6008	4,802	92
10	3,1	1,5	4,65	1,8600	0,558	120
Среднее	2,15	2,1	4,69	1,5577	–	99,7

Таблица 2

Результаты испытаний по методу остаточных деформаций

№	$\Delta R/R$	$\varepsilon_{0i} \cdot 10^3$	z_i	$\varepsilon_{Ti5} \cdot 10^5$	$\frac{\varepsilon_{mi}}{\varepsilon_{Ti5}}$	F_i
1	0,093	8,86	10,50	56	24,78	76
2	0,077	6,99	11,02	42	33,04	97
3	0,105	9,91	10,60	40	34,69	102
4	0,081	7,49	10,82	38	36,5	106
5	0,092	7,95	11,57	38	36,5	106
6	0,063	5,83	10,80	37	37,5	109
7	0,114	10,16	11,22	36	38,54	111
8	0,080	7,66	10,40	34	40,81	117
9	0,106	9,53	11,12	33	42,05	120
10	0,096	9,55	10,05	31	44,76	127
Среднее	0,92	8,40	10,81	–	–	107

Выводы

Проведенное исследование показало, что оба метода требуют значительно меньше времени на испытания по сравнению с базовым методом благодаря сокращению необходимого количества образцов. Следовательно, описанные методы обладают более высокой оперативностью и меньшей трудоемкостью. Кроме того, методы обеспечивают результаты с достаточно высокой точностью: расхождение энергетического метода с базовым составило 5,3 %, а метода остаточных деформаций — 1,9 %. Таким образом, метод остаточных деформаций дает наибольшую точность, а значит, лучше подходит для определения морозостойкости бетона.

Литература

1. Vatin N.I., Barabanshchikov Yu.G., Komarinskiy M.V., Smirnov S.I. Modification of the cast concrete mixture by air-entraining agents // Magazine of Civil Engineering. 2015. № 4 (56). P. 3-10.

2. Nagrockien D., Girskas G., Skripkiunas G. Cement freezing-thawing resistance of hardened cement paste with synthetic zeolite // Construction and Building Materials. 2014. № 66. P. 45-52.

3. Skripkiunas G., Nagrockiene D., Girskas G., Vaičiene M., Baranauskaite E. The cement type effect on freeze-thaw and deicing salt resistance of concrete // Procedia Engineering. 2013. № 57. P. 1045-1051.

4. Смирнова О.М. Совместимость портландцемента и суперпластификаторов на поликарбоксилатной основе для получения высокопрочного бетона сборных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 6 (66). С. 12-22.

5. Kewalramani M.A., Gupta R. Concrete compressive strength prediction using ultrasonic pulse velocity through artificial neural networks // Automation in Construction. 2006. Vol. 15, № 3. P. 374-379.

6. Köliö A., Rantala T., Lahdensivu J., Nurmikolu A. Freeze-thaw resistance testing of concrete railway sleepers // 5th International Conference on Concrete Repair: Concrete Solutions. Proceedings of Concrete Solutions. 2014. P. 533-539.

7. ГОСТ 10060–2012 [Электронный ресурс]. Бетоны. Методы определения морозостойкости. Доступ из справ.-павовой системы «Консультант Плюс».

8. ГОСТ 10180–2012 [Электронный ресурс]. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Доступ из справ.-павовой системы «Консультант Плюс».

9. Судаков В.Б. Пути совершенствования технологии бетона гидротехнических сооружений // Гидротехнический бетон и его работа в сооружении: материалы конференций и совещаний по гидротехнике. Л.: Энергоатомиздат, 1984. С. 4-16.

10. Liisma E., Raado L.M. Internal and external damages of concrete with poor quality of coarse limestone aggregate // Europe towards Sustainable Building 2013: Sustainable Building and Refurbishment for Next Generations. Prague, 2013. P. 1-4.

11. Алексеев А.В., Дикун А.Д., Фишман В.Я., Дикун В.Н. Опыт экспрессного определения морозостойкости бетона транспортных сооружений // Строительные материалы. 2005. № 8. С. 55-57.

12. BS EN 206:2013 [Электронный ресурс]. Concrete. Specification, performance, production and conformity // Engineer standards: сайт. URL/http//www.cecstandards.com. (дата обращения: 12.12.2017).

13. Антонова М.В., Глушко Д.В., Беляева С.В. Сравнительный анализ Европейской и Российской технической документации строительных материалов // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 4 (19). С. 34-50.

14. RILEM Technical Committee. TDC, CDF Test, Test Method for the Freeze-Thaw-Resistance of concrete with sodium chloride solution, RILEM TC 117–FDC Recommendation. Germany, 2001. P. 27.

15. Swedish Standard. Concrete testing – Hardened Concrete Frost Resistance, SS 137244. Sweden, 2005.

16. Radlinski M., Oleic J., Zhang Q., Peterson K. Evaluation of the critical air-void system parameters for freeze-thaw resistant ternary concrete using the manual point-count and the flatbed scanner methods // ASTM International. 2010. Vol. 7, № 4. P. 64-85.

17. Никольский С.Г., Никольская Т.С. Влияние температуры на пороговые параметры прочности керамики // Петербургский журнал электроники. 2011. № 1. С. 25-28.

18. Кунцевич О.В. Бетон высокой морозостойкости для сооружений крайнего севера. Л.: Стройиздат, 1983. С. 132.

19. Воронцова Е.А., Никольский С.Г. Рекомендации по выбору водоцементного отношения при проектировании бетона из условия его морозостойкости // XL Неделя науки СПБГПУ: материалы науч.-практической. конф. СПб., 2011. С. 344-345.

20. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. М.: Наука, 1971. С. 576.

21. Никольский С.Г., Перцева О.Н. Способ определения морозостойкости пористых материалов: пат. 2609791 Рос. Федерация. № 2014116713; заявл. 24.04.14; опубл. 03.02.17, Бюл. № 4.

22. Никольский С.Г., Перцева О.Н. Способ определения марки бетона по морозостойкости [Электронный ресурс]: пат. 2543669. Рос. Федерация; заявл.04.06.13; опубл. 10.03.15. // Free patent: сайт.URL. http://www.freepatent.ru (дата обращения: 23.11.2017).

References

1. Vatin N.I., Barabanshchikov Yu.G., Komarinskiy M.V., Smirnov S.I. Modification of the cast concrete mixture by air-entraining agents // Magazine of Civil Engineering. 2015. № 4 (56). P. 3-10.

2. Nagrockien D., Girskas G., Skripkiunas G. Cement freezing-thawing resistance of hardened cement paste with synthetic zeolite // Construction and Building Materials. 2014. № 66. P. 45-52.

3. Skripkiunas G., Nagrockiene D., Girskas G., Vaičiene M., Baranauskaite E. The cement type effect on freeze-thaw and deicing salt resistance of concrete // Procedia Engineering. 2013. № 57. P. 1045-1051.

4. Smirnova O.M. Compatibility of portlandcement and polycarboxylate-based superplasticizers in high-strength concrete for precast constructions // Magazine of Civil Engineering. 2016. № 6 (66). P. 12-22.

5. Kewalramani M.A., Gupta R. Concrete compressive strength prediction using ultrasonic pulse velocity through artificial neural networks // Automation in Construction. 2006. Vol. 15, № 3. P. 374-379.

6. Köliö A., Rantala T., Lahdensivu J., Nurmikolu A. Freeze-thaw resistance testing of concrete railway sleepers // 5th International Conference on Concrete Repair: Concrete Solutions. Proceedings of Concrete Solutions. 2014. P. 533-539.

7. GOST 10060-2012 [Elektronnyi resurs]. Concretes. Methods for determining frost resistance. Dostup iz sprav.-pavovoi sistemy «Konsul'tant Plyus».

8. GOST 10180-2012 [Elektronnyi resurs]. Concretes. Methods for determining the strength of control samples. Dostup iz sprav.-pavovoi sistemy «Konsul'tant Plyus».

9. Sudakov V.B. Ways of improving the technology of concrete hydraulic engineering structures // Gidrotekhnicheskii beton i ego rabota v sooruzhenii: materialy konferentsii i soveshchanii po gidrotekhnike. L.: Energoatomizdat, 1984. P. 4-16.

10. Liisma E., Raado L.M. Internal and external damages of concrete with poor quality of coarse limestone aggregate // Europe towards Sustainable Building 2013: Sustainable Building and Refurbishment for Next Generations. Prague, 2013. P. 1-4.

11. Alekseev A.V., Dikun A.D., Fishman V.Ya., Dikun V.N. Experience of rapid determination of frost resistance of concrete transport facilities // Stroitel'nye Materialy. 2005. № 8. P. 55-57.

12. BS EN 206:2013 [Elektronnyi resurs]. Concrete. Specification, performance, production and conformity // Engineer standards: sait. URL/http//www.cecstandards.com. (data obrashcheniya: 12.12.2017).

13. Antonova M.V., Glushko D.V., Belyaeva S.V. A comparative analysis of European and Russian technical documentation of building materials // Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. № 4 (19). P. 34-50.

14. RILEM Technical Committee. TDC, CDF Test, Test Method for the Freeze-Thaw-Resistance of concrete with sodium chloride solution, RILEM TC 117-FDC Recommendation. Germany, 2001. P. 27.

15. Swedish Standard. Concrete testing - Hardened Concrete Frost Resistance, SS 137244. Sweden, 2005.

16. Radlinski M., Oleic J., Zhang Q., Peterson K. Evaluation of the critical air-void system parameters for freeze-thaw resistant ternary concrete using the manual point-count and the flatbed scanner methods // ASTM International. 2010. Vol. 7, № 4. P. 64-85.

17. Nikol'skii S.G., Nikol'skaya T.S. Influence of temperature on threshold parameters of a strength of ceramics // Petersburg electronics journal. 2011. № 1. P. 25-28.

18. Kuntsevich O.V. Concrete of high frost resistance for constructions of the extreme north. L.: Stroiizdat, 1983. P. 132.

19. Vorontsova E.A., Nikol'skii S.G. Recommendations for the choice of water-cement ratio in the design of concrete from the condition of its frost-resistance // XL Nedelya nauki SPBGPU: materialy nauch.-prakticheskoi. konf. SPb., 2011. P. 344-345.

20. Mitropol'skii A.K. The technique of statistical computations. M.: Nauka, 1971. P. 576.

21. Nikol'skii S.G., Pertseva O.N. A method of determining the freeze-thaw resistance of cellular material: pat. 2609791 Ros. Federatsiya. № 2014116713; zayavl. 24.04.14; opubl. 03.02.17, Byul. № 4.

22. Nikol'skii S.G., Pertseva O.N. A method of determining the brand of concrete for frost resistance [Elektronnyi resurs]: pat. 2543669. Ros. Federatsiya; zayavl.04.06.13; opubl. 10.03.15. // Free patent: sait.URL. http://www.freepatent.ru (data obrashcheniya: 23.11.2017).

УДК 69.05

DOI: 10.18324/2077-5415-2018-1-90-93

Формирование инструмента оценки комплексного показателя качества в строительстве

А.А. Лапидус[1 a], Я.В. Шестерикова[2 b]

[1]Московский государственный строительный университет, Ярославское шоссе, 26, Москва, Россия
[2]Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, ул. Садовая-Самотечная 10/23, Москва, Россия
[a]lapidus58@mail.ru, [b]jana.shesterikova@yandex.ru
[a]https://orcid.org/0000-0001-7846-5770, [b]https://orcid.org/0000-0002-9367-5239
Статья поступила 10.12.2017, принята 18.01.2018

Обоснована необходимость формирования методологического инструмента по оценке комплексного показателя качества в строительстве. Предложено использовать в качестве такого инструмента интегральный потенциал комплексного показателя качества в строительстве как совокупность единичных потенциалов. Проведены экспертные исследования для выявления основных параметров, влияющих на показатели единичного потенциала. Значимость (вес) параметров определялась по методу экспертных оценок и теории математической статистики. По результатам исследований выделены десять наиболее значимых параметров, которые оказывают влияние на качество строительного объекта более чем на 95 %. Доказано, что для оценки качества строительства при различном сочетании выбранных десяти факторов надо осуществить строительство 236 196 объектов. С учетом сложности и масштабности строительного производства осуществление подобного замысла невозможно. Предложено сократить количество факторов при помощи методологии факторного анализа, а также использования близких по свойствам D-оптимальных планов при построении матрицы планирования. Определено направление проведения дальнейших исследований, позволяющих при помощи математической модели вносить корректировки для достижения требуемых уровней качества и надежности в целом на любых этапах реализации строительного проекта.

Ключевые слова: комплексный показатель качества в строительстве; интегральный потенциал комплексного показателя качества в строительстве; единичный интегральный потенциал; экспертные исследования.

Formation of complex quality index assessment tool in construction

A.A. Lapidus[1 a], Ya.V. Shesterikova[2 b]

[1]Moscow State (National Research) University of Civil Engineering; 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, Russia
[2]Ministry of Construction and Housing Utilities of the Russian Federation; 10/23, Sadovaya-Samotechnaya, Moscow, Russia
[a]lapidus58@mail.ru, [b]jana.shesterikova@yandex.ru
[a]https://orcid.org/0000-0001-7846-5770, [b]https://orcid.org/0000-0002-9367-5239
Received 10.12.2017, accepted 18.01.2018

The necessity of forming a tool for assessing the complex quality index in construction is substantiated. It is suggested to use as an instrument such an integral potential of a complex quality index in construction as a set of single potentials. Expert studies have been carried out to identify the main parameters that affect the indices of a single potential. The importance (weight) of the parameters was determined by the method of expert estimates and the theory of mathematical statistics. As the results of the research, the most significant 10 parameters were identified, which affect the quality of the construction site more than 95%. It is proved that in order to assess the quality of construction at different combinations of the selected ten parameters, it is necessary to build 236196 objects. Taking into account the complexity and scale of the construction industry, the implementation of such a plan is impossible. It is proposed to reduce the number of factors using the methodology of factor analysis, as well as the use of similar properties of D-optimal plans in the construction to plan matrix. The direction of further research is determined, giving opportunity in case of use mathematical model to make adjustments to achieve the required levels of quality and reliability in general at any stage of the of the construction project.