

В. Ф. Оробей, д.т.н., О. Ф. Дащенко, д.т.н., Л. В. Коломієць, д.т.н., О. М. Лимаренко, к.т.н.

ДО РОЗРАХУНКУ КРУТИЛЬНИХ КОЛИВАНЬ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Наведено рішення задачі Коші крутильних коливань тонкостінних стержнів, які є складовими елементами несучої системи підйомно-транспортних машин, з урахуванням всіх членів рівняння В.З. Власова. Показано застосування цих рішень для задач динаміки крутильних коливань тонкостінних стержневих систем за алгоритмом методу граничних елементів. Результати рішень наведені в чисельній і візуальній формах.

Ключові слова: підйомно-транспортні машини, Matlab, метод граничних елементів, тонкостінний стержень, чисельні методи, крутильні коливання.

V. F. Orobie, DSc, A. F. Dashchenko, DSc, L. V. Kolomic, DSc, A. M. Lymarenko, PhD

THE CALCULATION OF TORSIONAL VIBRATIONS OF CONSTRUCTIVE ELEMENTS LIFTING MACHINERY BOUNDARY ELEMENT METHOD

The solutions of the Cauchy problem of torsional vibrations of thin rods, which are the constituent elements of the support system handling machines, including all members of V. Z. Vlasov's equations are given. The application of these solutions for the problems of the dynamics of torsional vibrations of thin-walled rod systems on the boundary element method algorithm is shown. Results of solutions in numerical and visual forms are shown

Keywords: lifting machinery, Matlab, boundary element method, thin-wall bar, numerical methods, torsional vibrations.

УДК 666:691.32

И. П. Солоненко, к.т.н.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса

ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ ЦЕМЕНТОБЕТОНА

В статье рассматривается влияние количества проведенных испытаний на прочность при сжатии для материалов дорожного покрытия из цементобетона на точность полученных результатов. Получены закономерности влияния количества испытаний образцов на показатели точности результатов измерений, таких как: среднее значение, среднеквадратичная ошибка, доверительный интервал погрешности измерения и величина относительной погрешности результатов измерений. Полученные результаты и рекомендации могут быть использованы при проведении научно-исследовательских работ, в инженерно-строительной практике, а также в учебном процессе.

Ключевые слова: испытание, автомобильные дороги, прочность при сжатии, цементобетон, точность измерения.

Введение

Развитие экономики Украины, не возможно без развития транспортной инфраструктуры. Она включает в себя строительство, ремонт и реконструкцию автомобильных дорог.

Наметившаяся концепция увеличения массы грузовых транспортных средств ведет к необходимости применения в дорожном строительстве материалов с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками [1].

Особенно это актуально для дорожного покрытия, на которое непосредственно воздействуют нагрузки, вызванные транспортным потоком.

Наиболее высокие эксплуатационные показатели имеют материалы дорожного покрытия, выполненные на основе цементобетона. Такие материалы обладают высокими физико-механическими, технологическими и экологическими качествами. Это обусловило широкое распространение

цементобетонных покрытий (ЦБП) в США, Канаде, Японии и других странах мира [2].

Программа развития автомобильных дорог в Украине [1] также предусматривает применение в дорожном строительстве покрытий из ЦБП, что говорит о важности и необходимости разработки и внедрения таких материалов. Успешное решение этой сложной научно-технической задачи требует обеспечения качества при производстве этого материала, что, в свою очередь, обуславливает контроль точности измерений.

Анализ последних исследований и публикаций

Решением научных проблем, связанных с применением ЦБП в транспортном строительстве, занимались в разные годы такие ученые как: Батраков В. Г. [3], Радовский Б. С. [4], Солодкий С. И. [5], Мишутин А. В. [6] и др. Ими на основе теоретических исследований и испытаний были разработаны современные методы определения показателей качества для ЦБП.

Одним из показателей качества дорожного покрытия для автомобильных дорог является прочность при сжатии (ДСТУ Б В.2.7-214:2009) [7]. К сожалению, в рассматриваемом нормативном документе отсутствуют четкие указания о необходимом количестве испытаний. Так в ДСТУ Б В.2.7-214:2009 даны рекомендации, которые заключаются только в том, что количество измерений на прочность при сжатии должно быть не менее трех.

Такое указание не конкретно и позволяет при выполнении измерений руководствоваться субъективным мнением и личным опытом исследователя. Это подтверждается значительным разбросом в характеристиках вяжущего применяемого при строительстве дорожного покрытия (рис. 1).

Как видно из приведенного сертификата качества для портландцемента значения прочности при сжатии на 28 сутки лежит в пределах от 50 до 55 МПа. Следовательно, бетон, изготовленный с применением такого цемента, будет так же иметь существенные отклонения. Величина, которых будет превышать требования ДСТУ (0,1 МПа) [7].

Анализ практического выполнения таких измерений полученных при выполнении научных исследований [2] показал, что малое количество выполненных измерений ведет к значительному разбросу результатов и, как следствие, к возрастанию погрешности.

Уменьшение величины ошибки измерений физико-механических показателей материала для ЦБП может быть достигнуто за счет определения

рационального количества требуемых измерений с последующей их обработкой.

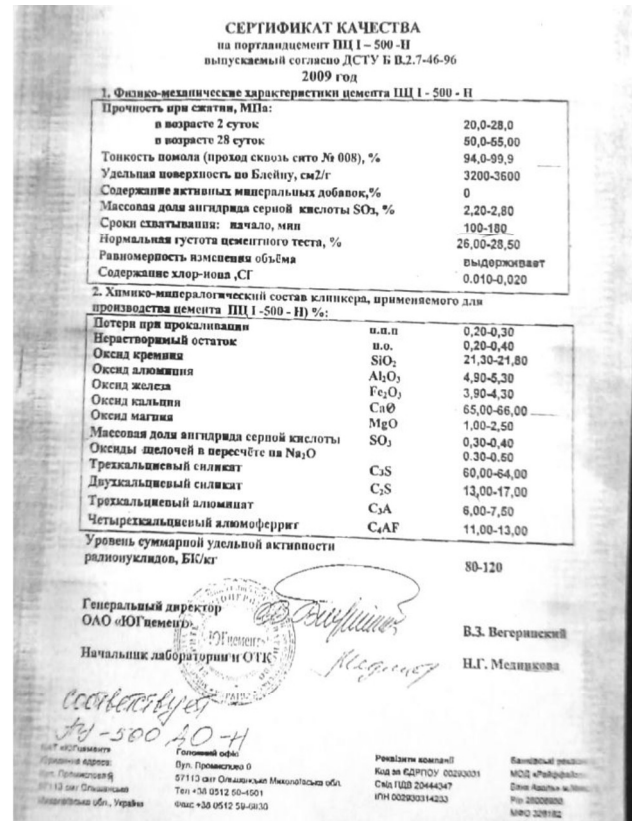


Рисунок 1 – Сертификат качества на портландцемент ПЦ – I – Н 500

Цель статьи

Опираясь на результаты, приведенные в работах [1-6], была сформулирована цель статьи: определение рационального количества измерений показателя прочности при сжатии для материала ЦБП, которое обеспечивало бы требуемую точность решения инженерно-технологических и научных задач.

Основной материал

Исследования точности измерений характеристик ЦБП проводились для показателя – прочность при сжатии ($R_{сж}$).

В качестве материала ЦБП подвергавшегося испытанию использовался состав, описанный в работе [2] (табл. 1).

Таблица 1 – Состав материала

| № п/п | Компонент | Количество |
|-------|--|------------------------|
| 1 | Портландцемент ПЦ – I – Н 500 | 470 кг/м ³ |
| 2 | Щебень гранитный кубической формы (фр. 5-20) | 1055 кг/м ³ |
| 3 | Песок ($M_{кр} 2,5$) | 578 кг/м ³ |
| 4 | Добавка Marefluid № 200 | 1% от m Ц |

Образцы изготавливались в лаборатории кафедры строительных материалов в Одесской государственной академии строительства и архитектуры. После изготовления и до испытания они выдерживались в условиях нормального твердения в течение 28 суток (при $t=20\pm 3^\circ\text{C}$, $W=95\pm 5\%$) согласно [7].

Каждому образцу, присваивался порядковый номер – №_i (табл. 2). Перед проведением измерений проводилась рандомизация порядка испытания образцов (№_p) (табл. 2).

Измерения проводились в лаборатории завода ПАО «Хальдерберг Цемент Украина» на гидравлическом прессе TESTING PL 100, имеющем погрешность измерения $\delta = \pm 1\%$. Результаты испытаний представлены в табл. 2. Диаграмма распределения измерений значений $R_{\text{сж}}$ представлены на рисунке 2, для серий 3, 7, 10, 20, 50 и 100 испытаний.

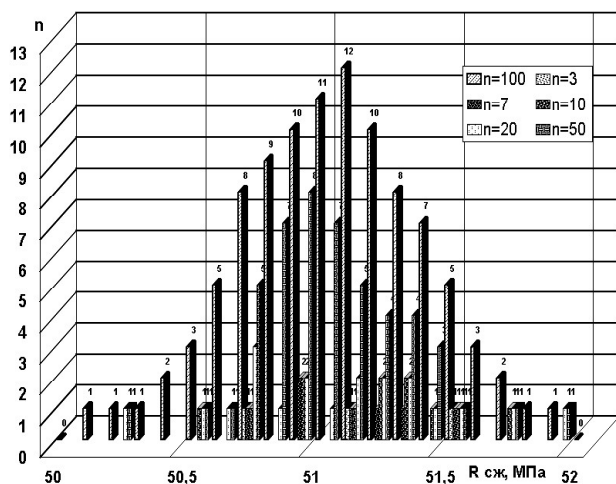


Рисунок 2 – Диаграмма распределения значений прочности при сжатии ($R_{\text{сж}}$) для 3-х, 7, 10, 20, 50 и 100 измерений

На рис. 3, представлены образцы до испытания. Вид образца после испытания, представлен на рис. 4.



Рисунок 3 – Образцы исследуемого материала на прочность при сжатии

Таблица 2 – Результаты испытаний

| №_i | №_p | $R_{\text{сж}}$ | №_i | №_p | $R_{\text{сж}}$ |
|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|-----------------|
| 1 | 18 | 51,1 | 51 | 37 | 50,6 |
| 2 | 28 | 50,7 | 52 | 30 | 51,0 |
| 3 | 93 | 51,5 | 53 | 07 | 50,4 |
| 4 | 65 | 50,9 | 54 | 63 | 51,2 |
| 5 | 27 | 51,2 | 55 | 83 | 50,5 |
| 6 | 79 | 50,9 | 56 | 73 | 51,1 |
| 7 | 78 | 51,4 | 57 | 46 | 51,3 |
| 8 | 33 | 50,5 | 58 | 71 | 50,6 |
| 9 | 92 | 51,2 | 59 | 20 | 50,1 |
| 10 | 96 | 51,7 | 60 | 40 | 51,2 |
| 11 | 26 | 51,3 | 61 | 11 | 51,1 |
| 12 | 42 | 50,6 | 62 | 85 | 51,4 |
| 13 | 51 | 50,8 | 63 | 80 | 50,6 |
| 14 | 00 | 51,1 | 64 | 16 | 51,5 |
| 15 | 55 | 51,9 | 65 | 41 | 51,2 |
| 16 | 04 | 50,7 | 66 | 61 | 50,3 |
| 17 | 69 | 51,0 | 67 | 66 | 51,1 |
| 18 | 31 | 51,3 | 68 | 86 | 50,6 |
| 19 | 95 | 50,2 | 69 | 60 | 51,0 |
| 20 | 21 | 50,7 | 70 | 77 | 50,4 |
| 21 | 32 | 51,2 | 71 | 68 | 51,5 |
| 22 | 13 | 50,8 | 72 | 82 | 50,9 |
| 23 | 58 | 51,0 | 73 | 35 | 51,1 |
| 24 | 15 | 51,2 | 74 | 02 | 50,7 |
| 25 | 72 | 50,9 | 75 | 97 | 51,4 |
| 26 | 67 | 51,1 | 76 | 54 | 51,3 |
| 27 | 25 | 50,7 | 77 | 81 | 51,2 |
| 28 | 17 | 51,4 | 78 | 98 | 50,8 |
| 29 | 50 | 50,8 | 79 | 36 | 51,1 |
| 30 | 12 | 51,4 | 80 | 57 | 51,7 |
| 31 | 10 | 50,9 | 81 | 49 | 51,6 |
| 32 | 87 | 51,0 | 82 | 94 | 51,5 |
| 33 | 84 | 50,9 | 83 | 90 | 50,7 |
| 34 | 62 | 50,8 | 84 | 74 | 51,6 |
| 35 | 48 | 50,7 | 85 | 09 | 51,8 |
| 36 | 03 | 51,0 | 86 | 100 | 51,0 |
| 37 | 56 | 51,1 | 87 | 75 | 51,3 |
| 38 | 44 | 50,8 | 88 | 52 | 51,6 |
| 39 | 88 | 51,3 | 89 | 06 | 51,5 |
| 40 | 05 | 51,0 | 90 | 24 | 50,8 |
| 41 | 01 | 50,8 | 91 | 59 | 51,1 |
| 42 | 38 | 51,0 | 92 | 14 | 51,2 |
| 43 | 99 | 50,9 | 93 | 08 | 51,4 |
| 44 | 29 | 50,8 | 94 | 45 | 51,0 |
| 45 | 34 | 51,2 | 95 | 19 | 50,7 |
| 46 | 89 | 51,0 | 96 | 23 | 51,4 |
| 47 | 70 | 51,3 | 97 | 76 | 51,1 |
| 48 | 64 | 50,9 | 98 | 43 | 51,2 |
| 49 | 91 | 51,2 | 99 | 39 | 50,9 |
| 50 | 22 | 50,9 | 100 | 47 | 51,3 |



Рисунок 4 – Образец после испытания на прочность при сжатии

Полученные результаты обрабатывались в следующие последовательности:

- Вычислялось среднее значение из n измерений, согласно формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

- Погрешность отдельного измерения определялась по формуле:

$$\Delta x_i = x_i - \bar{x} \quad (2)$$

- Вычисление среднеквадратичной ошибки среднего арифметического, производилось из выражения:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}{n(n-1)}} \quad (3)$$

- Значение надежности (P) принималось: $P=0,95$.

- Определение коэффициента Стьюдента (t) для надежности $P = 0,95$ и числа произведенных измерений n , принималась по таблице, приведенной в работе [8].

- Доверительный интервал погрешность измерения, определялся по формуле

$$\Delta x = S_x \cdot t \quad (5)$$

- Полученный результат записывался в виде

$$x = \bar{x} \pm \Delta x \quad (6)$$

- Оценка относительной погрешности результатов измерений, вычислялась из выражения:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% \quad (7)$$

Полученные результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты обработки данных измерений $R_{сж}$

| № п/п | \bar{x} | S_x | Δx | ε |
|-------|-----------|-------|------------|---------------|
| 3 | 51,37 | 0,667 | 2,870 | 5,893 |
| 7 | 50,93 | 0,565 | 1,382 | 2,781 |
| 10 | 51,25 | 0,448 | 1,013 | 2,362 |
| 20 | 51,10 | 0,338 | 0,707 | 1,419 |
| 50 | 51,11 | 0,175 | 0,352 | 0,704 |
| 100 | 51,08 | 0,124 | 0,245 | 0,490 |

Выводы

Как показали проведенные исследования, с повышением количества измерений растет точность результата, так при увеличении с 3 до 7 повышается примерно в два раза, с 3 до 10 в 2,5 раз, а с 3 до 20 в 2,7 раза. Дальнейшее измерение не приводят к существенному увеличению точности измерений.

Таким образом, можно сделать вывод, что для получения результата с отклонением среднего значения ε не превышающим 3 % количество выполняемых испытаний должно быть не менее 7.

Для получения $\varepsilon=1,5\%$, требуемое количество испытаний не менее 20, а если необходимо обеспечить $\varepsilon=1\%$, то количество испытаний требуется увеличить до 20. Дальнейший рост количества испытаний не значительно увеличивает точность измерений. Так для 50 наблюдений $\varepsilon=0,7\%$, а для 100 соответственно $\varepsilon=0,5\%$. Такое большое количество испытаний требует значительных материальных затрат, времени и не всегда целесообразно.

Список использованных источников

1. Сколько в Украине будет стоить ремонт дорог, и какие трассы улучшат. По материалам: Сегодня. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: domik.ua. (Доступно: 02.02. 2016 г.).
2. Солоненко И. П. Структура и свойства модифицированных цементобетонных покрытий для автомобильных дорог: дис. на соискание ученой степени к-та тех. наук: спец. 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» / И. П. Солоненко // – Одесса: 2015. – 155 с.
3. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. – 2-е изд., [перераб. и доп.] / Батраков В. Г. – М., 1998. – 768 с.

4. Радовский Б. С. Строительство дорог с цементобетонными покрытиями в США: новые тенденции (организация и направления исследований в области цементобетонных покрытий) / Б. С. Радовский // «Дорожная техника». – Санкт-Петербург, 2010. – № 10. – С. 62 – 70.

5. Солодкий С. Й. Зміна тріщиностійкості дорожнього бетону в експлуатаційній стадії / С. Й. Солодкий, С. М. Толмачев // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2014. – № 55. – С. 230 – 235.

6. Дворкін Л. Й. Гідротехнічні та дорожні бетони / Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін, В. С. Дорофєєв, А. В. Мішутін // Навчальний посібник. – Одеса: Евен, 2012. – 214 с.

7. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. – [Чинний від 2009-12-22]. – К: Держкоммістобудування України, 2009. – 35 с.

8. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. 2-е изд. – М.: Наука, 1976. – 280 с.

Поступила в редакцію 16.05.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Братченко Г. Д., Одесская государственная академия технического регулирования и качества, г. Одесса.

І. П. Солоненко, к.т.н.

ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ З ЦЕМЕНТОБЕТОНУ

У статті розглядався вплив кількості проведених випробувань на міцність при стисненні для матеріалів дорожнього покриття з цементобетону, на точність отриманих результатів. Отримано закономірності впливу кількості випробувань зразків на показники точності результатів вимірювань, таких як: середнє значення, середньоквадратична помилка, довірчий інтервал похибок та величина відносної похибки результатів вимірювань. Отримані результати та рекомендації можуть бути використані при проведенні науково-дослідних робіт, у інженерно-будівельній практиці, а також у навчальному процесі.

Ключові слова: випробування, автомобільні дороги, міцність при стиску, цементобетон, точність вимірювання.

I. Solonenko, PhD

MATERIALS TESTING WITH CEMENT-CONCRETE PAVEMENT

The paper examines the impact of the number of tests carried out on the compressive strength of the material for the pavement of cement concrete, the accuracy of the results. Regularities of influence of the number of samples to test the accuracy of performance measurements, such as mean, standard error, confidence interval measurement error and the value of the relative error of the measurement results. The results and recommendations can be used for carrying out research works, engineering construction practice, as well as in the educational process.

Keywords: testing, roads, compressive strength, cement concrete, the measurement accuracy.