

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Александров, А. В. Основы теории упругости и пластичности / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – М.: Высшая школа, 1990 – 400 с.

2 Лукаш, П. А. Основы нелинейной строительной механики / П. А. Лукаш. – М.: Стройиздат, 1971. – 271 с.

3 Быховцев, В. Е. Компьютерное объектно ориентированное моделирование нелинейных систем деформируемых твердых тел / В. Е. Быховцев. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2007.– 219 с.

4 Босаков, С. В. Вариационно-разностный подход к решению контактной задачи для нелинейно упругого неоднородного основания. Плоская деформация. Теория расчета / С. В. Босаков, О. В. Козунова // Вестник БНТУ. – № 1. – 2009. – С. 5–13.

5 Козунова, О. В. Нелинейный расчет балочных плит на слоистых основаниях с биогенными включениями / О. В. Козунова // Геотехника Беларуси: теория и практика. – Минск: БНТУ, 2008. – С. 37–65.

O. V. KOZUNOVA, D. I. BOCHKAREV, E. A. SIGAI **COMPUTATION OF LAMINATED FOUNDATION USING POWER FUNCTIONS IN THE LAW OF NONLINEAR-ELASTIC DEFORMATION**

In the present paper we use the variation-differential approach to solving the contact problems nonlinear to the theory of elasticity (plane strain) which is important as a practical application in computations of beams and beam-plates on elastic foundation. The laminated foundation is modelled by a set of elastic layers of finite width with a variable modulus of deformation. The law of nonlinear-elastic deformation of the foundation is described as the dependence in the power functional form. The deformation modulus of the elastic foundation is variable. Poisson's ratio of each layer because of its minor changes within the layer is assumed to be constant.

Получено 25.02.2011

**ISBN 978-985-468-924-1. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 5. Гомель, 2011**

УДК 539.4.015.2

Г. М. КУЗЁМКИНА, О. И. ЯКУБОВИЧ, А. О. ШИМАНОВСКИЙ
Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ

В работе на основе анализа литературных источников установлены факторы, влияющие на прочность конструкций, изготовленных из железобетонного композита. Выполнено конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния армированной балки с учетом возможного изменения модуля упругости бетона, обусловленного изменением его свойств в процессе эксплуатации.

На современном этапе в машиностроении, строительстве, на транспорте широкое применение получили композитные материалы. Исследования конструкций из них предполагают анализ действительной работы объекта под нагрузкой. Сложность математических моделей контактного взаимодействия элементов конструкций из гетерогенных материалов обусловила недостаточную изученность их напряженно-деформированного состояния. Ранее нами были разработаны модели деформирования волокнистого композита, учитывающие свойства контактного взаимодействия между его фазами [1]. В процессе эксплуатации конструкции их физические свойства могут изменяться. Поэтому в работе поставлена задача по установлению факторов, влияющих на прочность строительных конструкций, изготовленных из такого композитного материала, как железобетон.

Вода, насыщающая бетон, является одним из главных факторов, определяющих его деформационные свойства. Так, влажностная усадка и набухание своим возникновением всецело обязаны влагообмену между бетоном и окружающей его средой. Вода, находящаяся в бетоне, оказывает сильное влияние и на интенсивность развития деформаций при кратковременных и длительных нагружениях. Причем, в последнем случае роль воды особенно значительна.

Первым, кто обратил на это внимание, был Смит, сообщивший в 1916 году, что в водной среде бетон ползет в меньшей степени, чем в воздушной [2]. В 1925 году Г. Девис приступил к систематическим исследованиям влияния различных условий среды нахождения опытных образцов на деформации бетона [3]. В результате экспериментов он установил, что с уменьшением влажности среды, в которой находились нагруженные (сжатые) образцы, ползучесть бетона развивалась более интенсивно.

В последующие годы было проведено большое число исследований влияния влажности среды на развитие деформации под длительно действующей нагрузкой как бетонных, так и железобетонных образцов. Результаты этих экспериментов, как правило, указывали на то, что под длительной нагрузкой деформации опытных образцов во влажной среде или в воде протекали менее интенсивно, чем в сухой среде [4, 5].



Рисунок 1 – Влияние влажности среды на ползучесть бетона [6]

В качестве примера на рисунке 1 приведены графики, построенные в ходе многолетних наблюдений за деформациями бетона в средах с различной относительной влажностью воздуха [6].

При водонасыщении прочность пористых каменных пород, а также бетона, снижается. Во ВНИИГ им. Б. Г. Веде-

неева по инициативе Д. З. Басевича 1947 г. были поставлены опыты для изучения влияния водонасыщения на прочность цементного раствора при разрыве [7, 8], в результате которых было установлено, что предел прочности бетона является функцией количества содержащейся в нем влаги и что с ростом водосодержания снижается прочность зрелого бетона.

Г. Д. Цискрели пришел к заключению, что при водонасыщении прочность бетона на разрыв растет [9]. Были испытаны четыре группы образцов, из которых две группы хранились в воде и две на воздухе. В результате испытаний на разрыв было установлено, что при средней прочности образцов водного хранения в 2,4 МПа высушивание приводило к снижению прочности до 2,0 МПа. Наоборот, средняя прочность образцов сухого хранения – 1,15 МПа с водонасыщением возрастала до 1,4 МПа. Г. Д. Цискрели исследовал также влияние водонасыщения на прочность бетона при сжатии. При этом было установлено, что с насыщением бетона его прочность падает.

Изучая зависимость прочности бетона при растяжении от его влажности, В. М. Москвин и А. М. Подвальный в качестве экспериментальных образцов выбрали бетонные диски [10]. Испытав их на раскалывание, авторы установили, что кривая зависимости прочности бетона при растяжении от его влажности имеет максимум (рисунок 2).

Для исследования механизма влияния насыщающей бетон воды на прочность при сжатии А. В. Михайлов испытывал образцы, которые сначала твердели в воде, а затем разное



Рисунок 2 – Зависимость предела прочности бетонных образцов от их влажности: 1; 2; 3 и 4 – отдельные серии испытания [10]

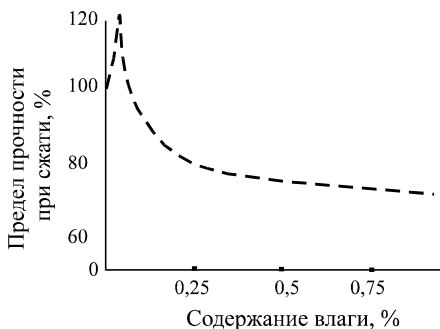


Рисунок 3 – Прочность бетона в зависимости от содержания влаги [11]

время подсушивались в сушильном шкафу [11]. На рисунке 3 приведены результаты экспериментов, из которых видно, что в области малых насыщений прочность достигала максимальных значений (при степенях насыщения 0,01–0,05 от полного, прочность была на 20 % выше прочности сухих образцов). Минимальная прочность наблюдалась при полном насыщении пор водой.

Учитывая важность знания характера влияния влажности на механические свойства дорожных це-

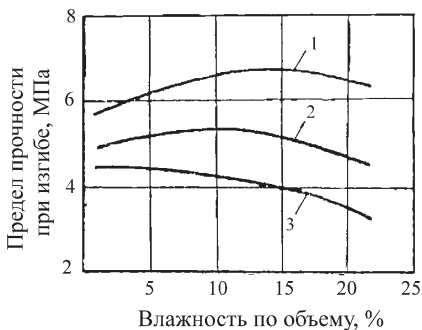


Рисунок 4 – Влияние содержания влаги на прочность бетона [12]

гружения наибольшая прочность соответствовала высушенным образцам.

Выполненные в последние годы исследования [13] показали, что бетоны в возрасте 33 лет, которые характеризуются повышенной степенью гидратации цемента и преобладанием в их структуре гелевых и контракционных пор более чувствительны к изменению прочности при разной влажности.

Таким образом, анализ найденной информации о влиянии свойств окружающей среды на физические свойства бетона показал, что основными параметрами, изменяющимися при эксплуатации железобетонных конструкций, являются пределы прочности при растяжении и сжатии, значения которых могут уменьшаться в 2 раза и более по сравнению с максимально возможными. В то же время наблюдается и некоторое изменение модуля упругости бетона.

Выполнены расчеты по анализу влияния модуля упругости бетона на напряженно-деформированное состояние конструкции. В качестве объекта исследования рассматривалась консольная балка прямоугольного поперечного сечения 20×30 см длиной 1 м, армирование которой обеспечивалось пятью стальными стержнями диаметром 2 см, модель которой подробно описана в наших предыдущих работах [14, 15].

На рисунке 5 показана зависимость максимальных напряжений в бетоне от модуля упругости. Увеличение модуля упругости примерно в 2 раза приводит к увеличению максимальных по Мизесу напряжений на 14 %, а первых главных – на 16 %. Рисунок 6 демонстрирует уменьшение максимальных напряжений в арматуре почти на 35 % при увеличении модуля уп-

ментных бетонов, М. И. Волков, И. М. Грушко и А. Г. Ильин провели специальное исследование [12], при котором образцы после изготовления в течение одного месяца хранились в воде, а затем в течение 1,5 лет на воздухе. Результаты испытаний (рисунок 4) показали, что при высокой скорости нагружения максимальная прочность соответствовала влажности, равной 80 % от полного насыщения водой, при стандартной – 40 %, а при медленной скорости на-

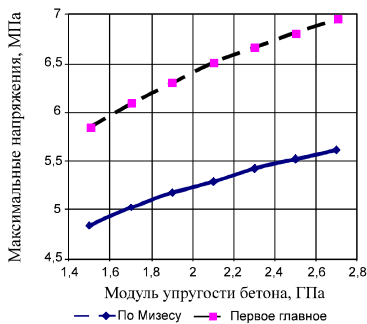


Рисунок 5 – Зависимость максимальных напряжений в бетоне от его модуля упругости

ругости бетона в 2 раза. На рисунке 7 приведена зависимость максимальных смещений точек балки от модуля упругости бетона. Увеличение модуля упругости почти в 2 раза приводит к уменьшению деформаций точек железобетонной балки на 32 %.

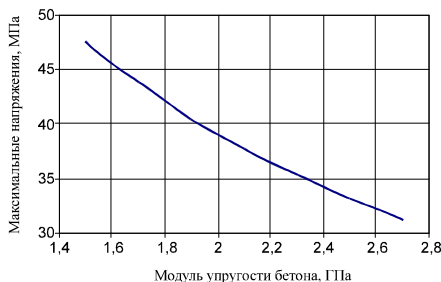


Рисунок 6 – Зависимость максимальных напряжений в арматуре от модуля упругости бетона

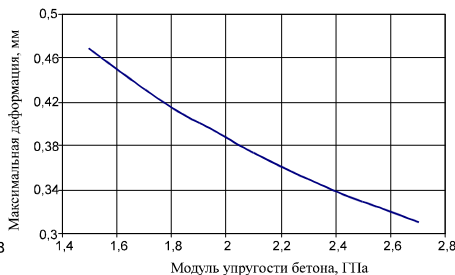


Рисунок 7 – Зависимость максимальных смещений точек балки от модуля упругости бетона

Таким образом, в ходе выполнения работы получены следующие основные результаты: на основе выполненного анализа влияния водонасыщенности бетона на его физические свойства установлено, что при эксплуатации железобетонных конструкций изменяются такие параметры, как пределы прочности при растяжении и сжатии и значение модуля упругости бетона; определены зависимости максимальных напряжений в арматуре и бетонной матрице от модуля упругости бетона, а также характер уменьшения максимальных смещений точек конструкции при увеличении модуля упругости.

Полученные результаты исследований могут быть использованы проектными организациями при разработке новых железобетонных конструкций либо модификации отдельных элементов существующих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Моделирование механического взаимодействия арматуры с матрицей композита** / Ю. М. Плещачевский [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. – 2009. – № 1. – С. 67–71.
- 2 **Smith, E. B.** Flow of Concrete under Sustained Loads / E. B. Smith // Proc ACI. – 1916. – Vol. 12. – № 2. – P. 317–321; 1917. – Vol. 13. – № 2. – P. 99–102.
- 3 **Davis, H. E.** Flow of Concrete under Sustained Compressive Stress / H. E. Davis // Proc. ASCE, part 3. – 1928. – № 2. – P. 303–326.
- 4 **Цилосани, З. Н.** Усадка и ползучесть бетона / З. Н. Цилосани. – Тбилиси: Мецниереба, 1979. – 231 с.

5 Милейковская, К. М. Влияние водонасыщения бетона на его прочность и деформации // К. М. Милейковская // Гидротехническое строительство. – 1960. – № 4. – С. 40–44.

6 Troxell, G. E. Long-Time Creep and Shrinkage Tests of Plain and Reinforced Concrete / G. E. Troxell, I. M. Raphael, R. E. Davis // Proc. ASTM. – 1958. – Vol. 58. – P. 1–20.

7 Басевич, А. З. Железобетонные и армокаменные гидросооружения с предварительным обжатием кладки / А. З. Басевич // Известия ВНИИГ. – 1949. – Т. 41. – С. 3–17.

8 Мальцов, К. А. Влияние водонасыщения на прочность бетона / К. А. Мальцов // Гидротехническое строительство. – 1954. – № 8. – С. 21–25.

9 Цискрели, Г. Д. Сопротивление растяжению неармированных и армированных бетонов / Г. Д. Цискрели. – М.: Госстройиздат, 1954. – 152 с.

10 Москвин, В. М. К методике исследования коррозионных процессов в бетоне при напряженном состоянии образцов / В. М. Москвин, А. М. Подвальный // Тр. НИИЖБ. Коррозия железобетона и методы защиты. – М., 1960. – Вып. 15. – С. 3–13.

11 Михайлов, А. В. Прочность бетона в зависимости от его влагосодержания / А. В. Михайлов // Бетон и железобетон. – 1974. – № 2. – С. 19–23.

12 Волков, М. И. Влияние влажности на механические свойства дорожных цементных бетонов / М. И. Волков, И. М. Грушко, А. Г. Ильин // VI конференция по бетону и железобетону. – Рига, 1966. – С. 54–9.

13 Влияние водонасыщения на изменение прочности бетона длительного твердения / Ю. Н. Воронов [и др.] // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2009. – № 35. – С. 64–70.

14 Кузёмкина, Г. М. Конечно-элементное моделирование сложного нагружения армированной балки / Г. М. Кузёмкина, А. О. Шимановский, Ю. М. Плескачевский // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки: междунар. сб. науч. тр. – Гомель: БелГУТ, 2010. – Вып. 4. – С. 101–105.

15 Pleskachevskii, Yu. M. Finite-Element Modeling of the Interaction of Reinforcement with Concrete Matrix / Yu. M. Pleskachevskii, A. O. Shimanovskii, G. M. Kuzemkina // Mechanics of Composite Materials. – 2008. – Vol. 44. – № 3. – P. 209–214.

G. M. KUZIOMKINA, O. I. YAKUBOVICH, A. O. SHIMANOVSKY
**THE INFLUENCE OF THE ENVIRONMENT ON THE STRESS-STRAIN
CONDITION OF CONSTRUCTION REINFORCED COMPOSITES**

Based on the analysis of scientific sources the work specifies the factors which influence the strength of the construction made of reinforced composite. The finite-element modelling of stress-strained condition for the reinforced beam with possible changes of the elastic modulus of concrete taken into account and conditioned by the changes of concrete on-stream properties has been done.

Получено 01.03.2011