

Таким образом, нанобетон является значительным шагом вперед в сфере строительных материалов. Его уникальные характеристики и преимущества открывают новые возможности для использования в строительстве, обеспечивая высокую прочность и долговечность конструкций. Перспективы дальнейших исследований и разработок в этой области могут привести к еще более значительным достижениям в высоких технологиях строительства в Республике Беларусь.

Список литературы

- 1 Использование нанобетона в строительстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://xn----9sbmj2afc2a7h.xn-p1ai/about/articles/ispolzovanie-nanobetona-v-stroitelstve/>. – Дата доступа : 12.09.2024.
- 2 Современные достижения нанотехнологии в области цемента и бетона [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dzen.ru/a/XXZznLwlFActzW0P/>. – Дата доступа : 12.09.2024.
- 3 Sobolev, K. How Nanotechnology Can Change the Concrete World. Part 1 / K. Sobolev, V. Ferrada-Gutierrez // American Ceramic Society Bulletin. – 2005. – Vol. 84, no. 10. – P. 14–18.
- 4 Sanchez F. Nanotechnology in concrete – A review / F. Sanchez, K. Sobolev // Construction and Building Materials. – 2010. – Vol. 24. – P. 2060–2071.
- 5 Тртик, П. Нанотехнологии и бетон: что мы можем использовать из будущих технологий? / П. Тртик, П.Х.М. Бартош // Труды 2-го семинара Anna Maria: Цемент и бетон: тенденции и вызовы. – 2001. – С. 109–120.

УДК 625.711:539.37

ВЛИЯНИЕ СНИЖЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ НА ДЕФОРМИРОВАНИЕ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

А. О. ШИМАНОВСКИЙ, Д. А. КУПРЕЕВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

А. М. КАРАБАЕВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Автомобильные дороги при проезде по ним транспортных средств находятся под действием циклических нагрузок. Сезонные колебания температуры воздуха в течение года, а также ее скачки, обусловленные резкими изменениями погодных условий в течение суток, приводят к изменению напряженно-деформированного состояния слоев дорожного покрытия [1]. В связи с этим возникает необходимость оценки влияния неравномерности распределения температур в конструкции дороги на напряжения и деформации в ней.

Современные методы анализа прочности дорожных одежд принимают во внимание показатели, зависящие от свойств материалов каждого слоя одежды и грунта земляного полотна, а также от размещения и условий их работы в конструкции. При этом используемые в слоях материалы обладают существенно отличающимися друг от друга физическими свойствами, которые зависят от температуры. Выполненный анализ исследований нагруженности дорожных покрытий показал, что в настоящее время получен большой массив информации по экспериментальному определению температур, напряжений, деформаций. Также достаточно подробно разработаны методы расчета температур в материале дороги. Однако недостаточно изучено влияние температуры на напряженно-деформированное состояние дорожной одежды, на которую действуют нагрузки от движущегося транспорта. Аналитическое решение задачи о нахождении параметров деформирования слоев дорожных одежд позволяет осуществить лишь их грубую оценку [2], поэтому здесь требуется применение численных методов механики деформируемого твердого тела. В настоящее время лидирующее положение среди них занимает метод конечных элементов, который реализован в широко известном научном программном обеспечении.

Целью данной работы является определение влияния температуры поверхности дороги на прогиб и напряжения в слоях дорожной одежды с применением метода конечных элементов. Для реализации последнего был выбран программный комплекс ANSYS. При моделировании использованы подходы, разработанные ранее в работах [3, 4].

Рассматривается участок дороги, дорожная одежда которой включает пять слоев. В качестве расчетной области рассматривается структурный элемент, который имеет вид параллелепипеда, включающего несколько слоев дорожного покрытия с различными физико-механическими характеристиками [5]. Его конечно-элементная модель создана в программном комплексе ANSYS. С учетом необходимости проведения связанного статического и температурного анализа использован 20-

узловой шестигранный элемент SOLID226, который дает возможность учета особенностей мультифизического анализа. К площадке поверхности дорожного покрытия радиусом 17 см прикладывалось равномерно распределенное давление 600 кПа. Граничные условия включали запрет перемещений по вертикали для нижней поверхности нижнего слоя и условие симметрии для всех боковых поверхностей параллелепипеда. Температура основания принята равной 10 °С. Температуры поверхности T_n принимались из диапазона от 10 до +70 °С.

В ходе расчетов, при которых осуществлялось решение связанных уравнений термоупругого деформирования, получены значения температур, напряжений и деформаций в слоях дорожного покрытия. Схемы распределения эквивалентных по Мизесу напряжений (рисунок 1) показывают, что при температурах поверхности $T_n \leq 50$ °С наибольшие напряжения возникают в верхнем слое асфальтобетонного покрытия. При более высоких температурах модули упругости слоев асфальтобетона значительно уменьшаются и выравниваются. При этом оказывается, что наибольшей жесткостью обладает слой, имеющий самую низкую температуру. Именно поэтому самые высокие напряжения при $T_n = +70$ °С наблюдаются в третьем слое асфальтобетона. Уровень первых главных напряжений при повышении температур поверхности от +10 до +70 °С существенно не изменяется. Наибольшие касательные напряжения наблюдаются под границей площадки приложения нагрузки вблизи места соединения первого и второго слоев дорожного покрытия. Максимальные касательные напряжения при увеличении температуры поверхности от +10 до +70 °С уменьшаются с 313 до 244 кПа. Однако при этом модуль упругости снижается более чем в 10 раз. Соответственно, снижается и предел текучести материала. Поэтому существенно увеличивается вероятность появления пластических деформаций, а с ними – образования колеи на дорожном покрытии.

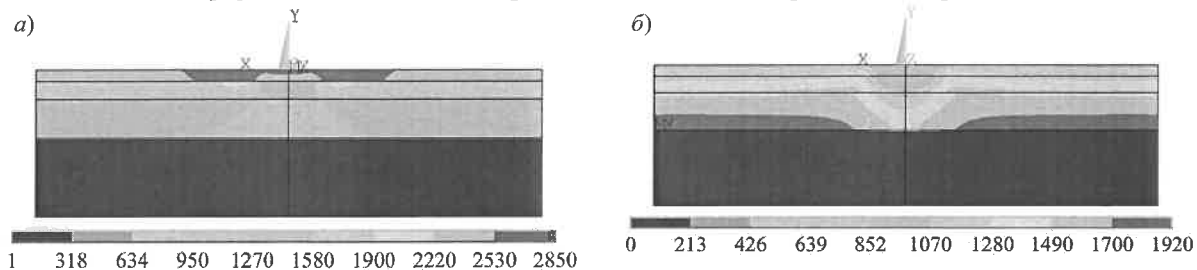


Рисунок 1 – Эквивалентные по Мизесу напряжения, кПа, при температурах поверхности:
а – $T_n = 10$ °С; б – $T_n = 70$ °С

Увеличение температуры поверхности, а вместе с ней и температур всех слоев, приводит к увеличению толщины дорожного покрытия вследствие температурного расширения. Наибольшие деформации наблюдаются под местом приложения нагрузки, причем зона с минимальными значениями перемещений по сравнению с перемещениями на краях модели, которая соответствует наибольшим деформациям, под действием приложенной нагрузки распространяется не только на асфальтобетонное покрытие, но и на четвертый слой фракционированного щебня. Такой результат согласуется с данными, приведенными в работе [6].

Таким образом, в результате решения связанных уравнений термоупругости установлено, что при температурах поверхности дороги, превышающих +50 °С, наибольшие напряжения возникают в третьем слое асфальтобетона. При повышении температуры поверхности от +10 до +70 °С максимальное напряжение сдвига уменьшается на 20 %, однако при этом модуль упругости снижается более чем в 10 раз. Соответственно, снижается прочность материала на разрыв, поэтому существенно возрастает вероятность появления пластических деформаций и образования колеи.

Полученные результаты могут быть использованы при совершенствовании конструкций автомобильных дорог.

Список литературы

- 1 **Леонович, И. И.** Анализ причин возникновения трещин в дорожных покрытиях и критерии их трещиностойкости / И. И. Леонович, И. С. Мельникова // Строительная наука и техника. – 2011. – № 4. – С. 37–41.
- 2 **Muho, E. V.** Review on dynamic analysis of road pavements under moving vehicles and plane strain conditions / E. V. Muho, N. D. Beskou // Journal of Road Engineering. – 2024. – Vol. 4, is. 1. – P. 54–68.
- 3 FEM Modelling of the Temperature Influence on the Stress-Strain State of the Pavement / A. Shimanovsky [et al.] // Communications – Scientific Letters of the University of Zilina. – 2023. – Vol. 25, is. 1. – P. D1–D9.
- 4 **Шимановский, А. О.** Моделирование деформирования слоистого дорожного покрытия с учетом изменения температуры / А. О. Шимановский, Д. А. Купреева // Проблемы физики, математики и техники. – 2023. – № 4 (57). – С. 81–86.

5 Цыганок, О. И. Деформирование дорожной одежды при разных температурах ее поверхности / О. И. Цыганок, И. Е. Кракова, А. О. Шимановский // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2022. – Вып. 15. – С. 227–234.

6 Research on the high temperature performance of asphalt pavement based on field cores with different rutting development levels / N. Li [et al.] // Materials and Structures. – 2021. – Vol. 54. – P. 1–12.

УДК 691.3:624.011

О ПРИМЕНЕНИИ БИОБЕТОНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

Е. А. ЮДЕНКОВА, Т. В. ЯШИНА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Поиск новых более долговечных и надежных материалов, модернизация инновационными элементами существующих композитов с целью придания им свойств самовосстановления в процессе эксплуатации – актуальные направления исследования в строительстве.

Одним из вариантов продления срока службы бетонных конструкций является применение биодобавок. Микротрещины, образующиеся в бетоне при его эксплуатации, приводящие к снижению несущей способности конструкций, могут быть «нейтрализованы» с помощью эффекта самозалечивания (путем применения биодобавок).

В составе биодобавок используются бактерии класса *Bacillus*, которые чаще всего встречаются в почве, в пресных и соленых водах, также на оперении птиц. Биодобавка представляет собой микрокапсулы из биоразлагаемого пластика (одни капсулы с бактериями, другие – с источником их питания лактатом кальция). Во время взаимодействия бактерий с лактатом кальция (кальциевой солью молочной кислоты $2(C_3H_5O_3)Ca$) происходит реакция с образованием известняка, заполняющего и залечивающего трещины. Процесс твердения занимает около 7 дней. Результаты исследований показали, что микроорганизмы наиболее эффективно справляются с трещинами до 50 мкм [1, 2]. Также эти бактерии могут находиться в состоянии покоя до двух столетий [3]. Все это может значительно способствовать повышению долговечности и надежности ответственных несущих конструкций, эксплуатирующихся в неблагоприятной среде на объектах транспортной сферы. На рисунке 1 представлен процесс восстановления трещины.

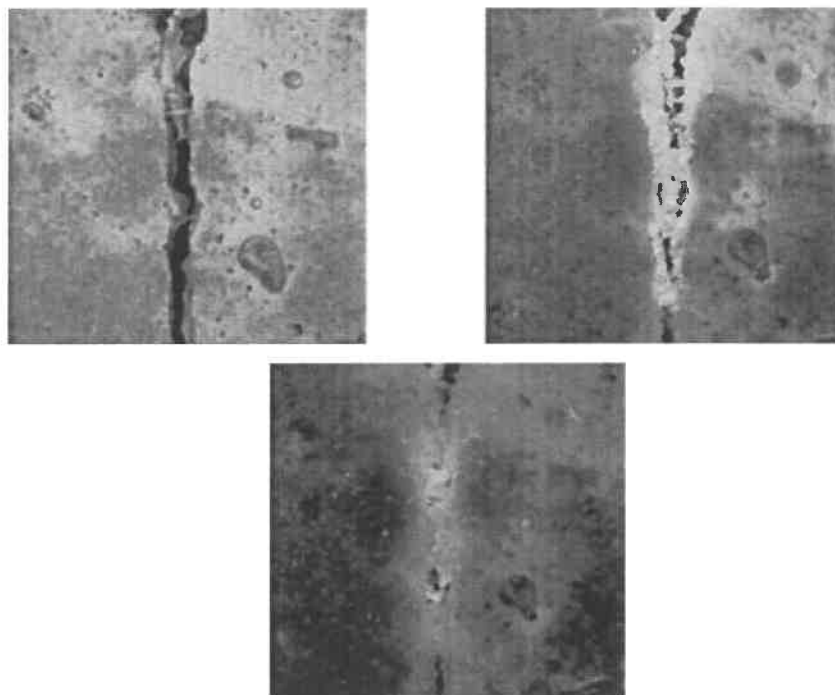


Рисунок 1 – Процесс восстановления трещины