

С. Е. Кравченко, начальник научно-технического отдела Департамента «Белавтодор»;  
Л. И. Шевчук, доцент БНТУ

### ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦА АСФАЛЬТОБЕТОНА ПРИ СЖАТИИ

The article deals with numerical simulation of asphalt sample failure. Stress-strain condition of the sample was analyzed by the final element method system СНІР, Pascal (Delphi) algorithm language version. Failure scheme and sample deformation diagram have been obtained.

There has been proposed the principle of similarities under actual testing of asphalt sample and numerical simulation of its failure, which will allow selection of the most compatible strength theory and determination of design characteristics of asphalt reflecting its performance in road pavement.

В связи с постоянно растущей интенсивностью эксплуатации автомобильных дорог, связанной с увеличением грузоподъемности автомобильного транспорта и скоростью его перемещения, особое значение приобретают вопросы прочности и долговечности дорожных покрытий. Эти свойства закладываются на стадии выбора составляющих асфальтобетона и подбора его состава. При этом следует детерминировать энергетические нагрузки от транспортных средств и погодно-климатических факторов с целью классификации эксплуатационных режимов работы покрытия, то есть эволюционной модели поведения асфальтобетона во времени.

Для решения этой проблемы необходимо проведение обширных экспериментальных и теоретических исследований, целью которых явился бы и выбор теорий прочности, и определение расчетных механических характеристик, наиболее достоверно отображающих работу асфальтобетона в покрытии.

Предлагаемый материал посвящен решению части этой проблемы с помощью численного моделирования разрушения образца асфальтобетона при сжатии.

Для испытания использовался образец асфальтобетона кубической формы с размерами 100×100×100 мм, вырезанный из покрытия существующей автомобильной дороги. Текстура образца асфальтобетона представлена на рис. 1. Образец подвергался центральному сжатию нагрузками, приложенными ко всей площади его верхней и нижней граней.

Напряженно-деформированное состояние образца при его нагружении определялось расчетом по методу конечных элементов [1]. Конечно-элементная модель закреплялась в узлах верхней и нижней граней. На образец оказывалось кинематическое воздействие – вертикальное перемещение узлов верхней грани. Нагрузка определялась как равнодействующая напряжений на контакте опор и верхней грани образца. Принято, что за счет сил трения горизонтальные смещения узлов нагруженных граней образца равны нулю.

Расчет выполнен программой СНІР, составленной на алгоритмическом языке Pascal

(Delphi). В программе СНІР предусмотрены интерактивный ввод исходных данных, их контроль, диагностика ошибок, редактор для ретуширования текстуры образца, вывод результатов в графическом исполнении. Программой могут быть реализованы расчеты по практически всем известным теориям прочности [2]: Галилея – Лейбница, Мариотта – Грасгофа, Кулона для сплошных и для сыпуче-вязких материалов, Мора, Янга – Бужинского, Баландина, Боткина – Миролюбова, Друккера – Прагера, Волкова, Писаренко – Лебедева для однородных и неоднородных материалов, Давиденкова – Фридмана.

Моделирование процесса испытания образца выполнялось способом последовательных приближений при ступенчатом кинематическом нагружении. В начале задавалась небольшая деформация образца, равная одному шагу, и определялось его напряженно-деформированное состояние. При этом в каждой точке образца по выбранной теории прочности устанавливался момент наступления предельного состояния. Если обнаруживались точки, в которых предельное состояние наступило, то в их окрестности снижался модуль упругости материала. Затем кинематическое воздействие (деформация образца) увеличивалось на один шаг и расчет повторялся. Процесс продолжался до тех пор, пока не была достигнута заданная максимальная деформация образца. В процессе расчета программа СНІР запоминала на каждом шаге нагружения форму деформированного образца и значение соответствующей сжимающей силы.

По программе СНІР расчет образца выполнялся при следующих исходных данных:

- ширина и толщина образца 100 мм;
- модуль упругости и коэффициент Пуассона асфальтобетона 0,7 ГПа и 0,36;
- модуль упругости и коэффициент Пуассона щебня 51 ГПа и 0,28;
- количество узлов по ширине и высоте образца 25;
- количество шагов нагружений 299;
- максимальная деформация образца 0,12 мм;
- сцепление асфальтобетона 0,06 МПа;
- угол внутреннего трения 35°.

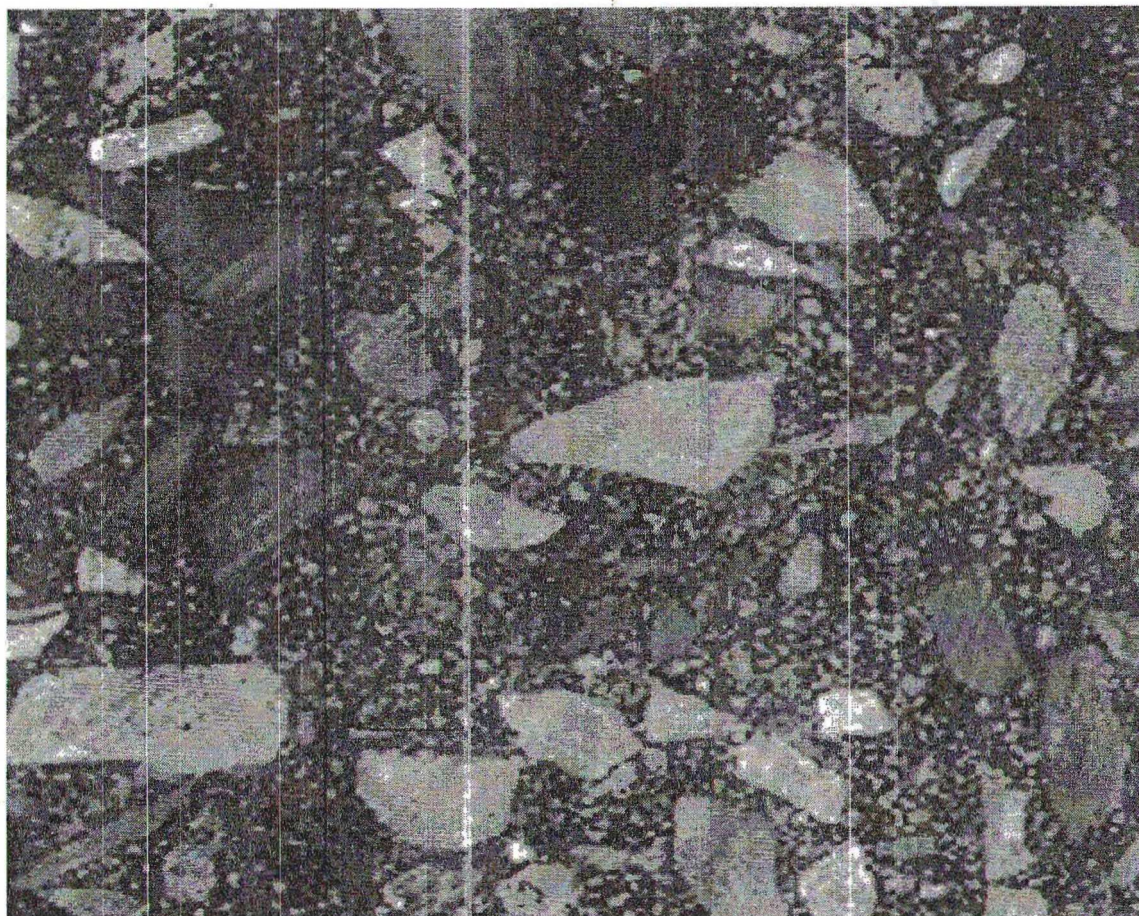


Рис. 1. Текстура образца асфальтобетона

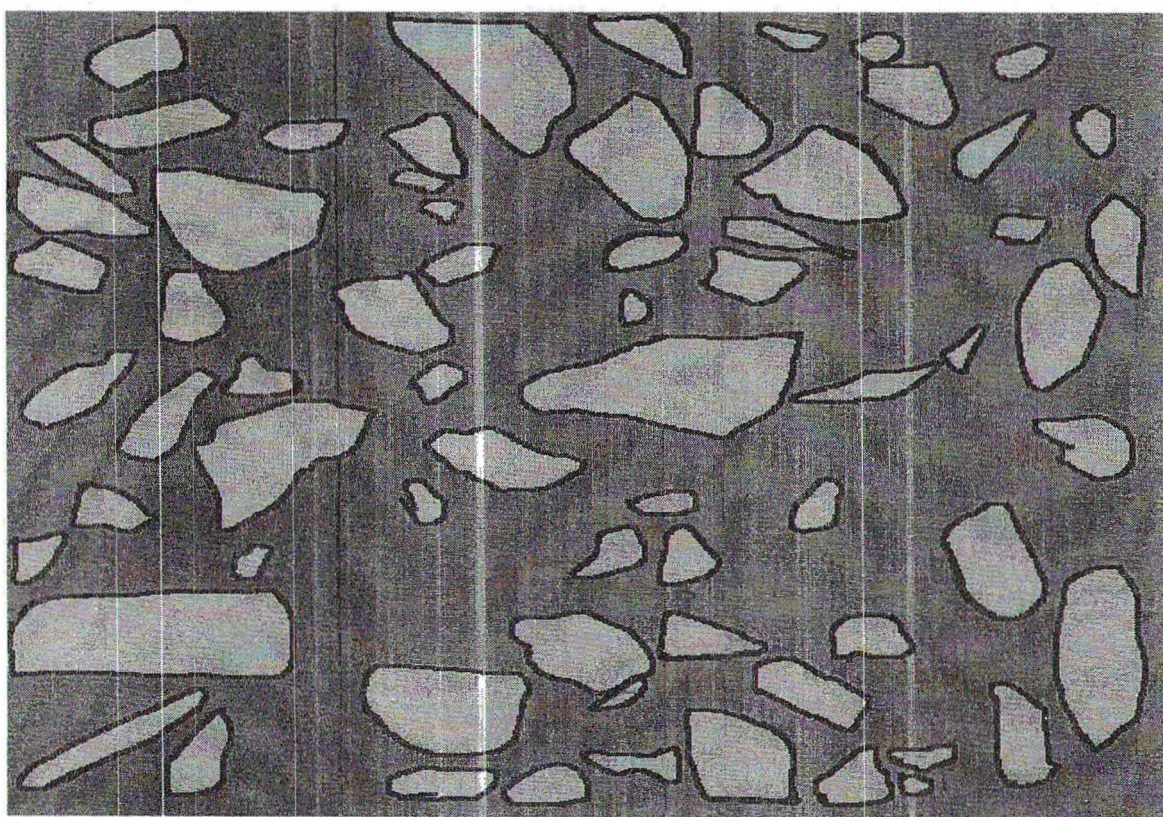


Рис. 2. Отрешушенная текстура образца

Форма образца

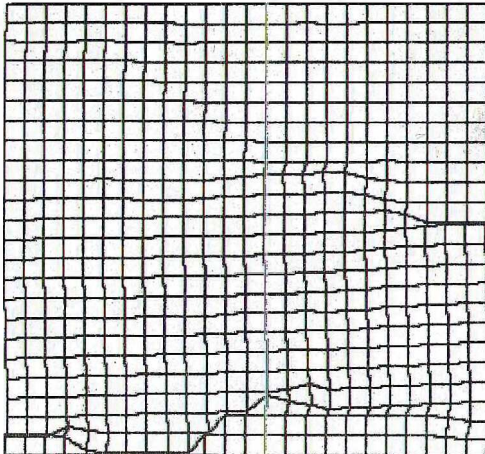
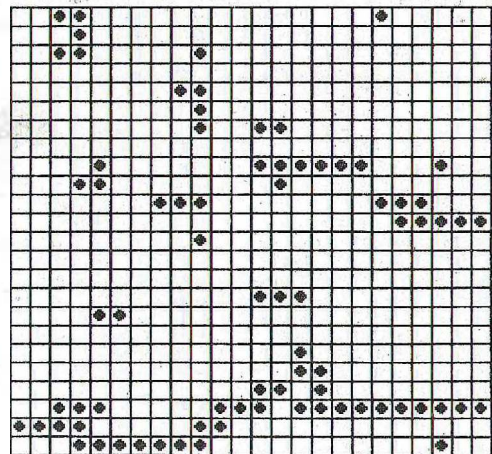


Схема разрушения образца



Теория прочности \_Кулона\_С\_fi

Рис. 3. Форма и схема разрушения образца

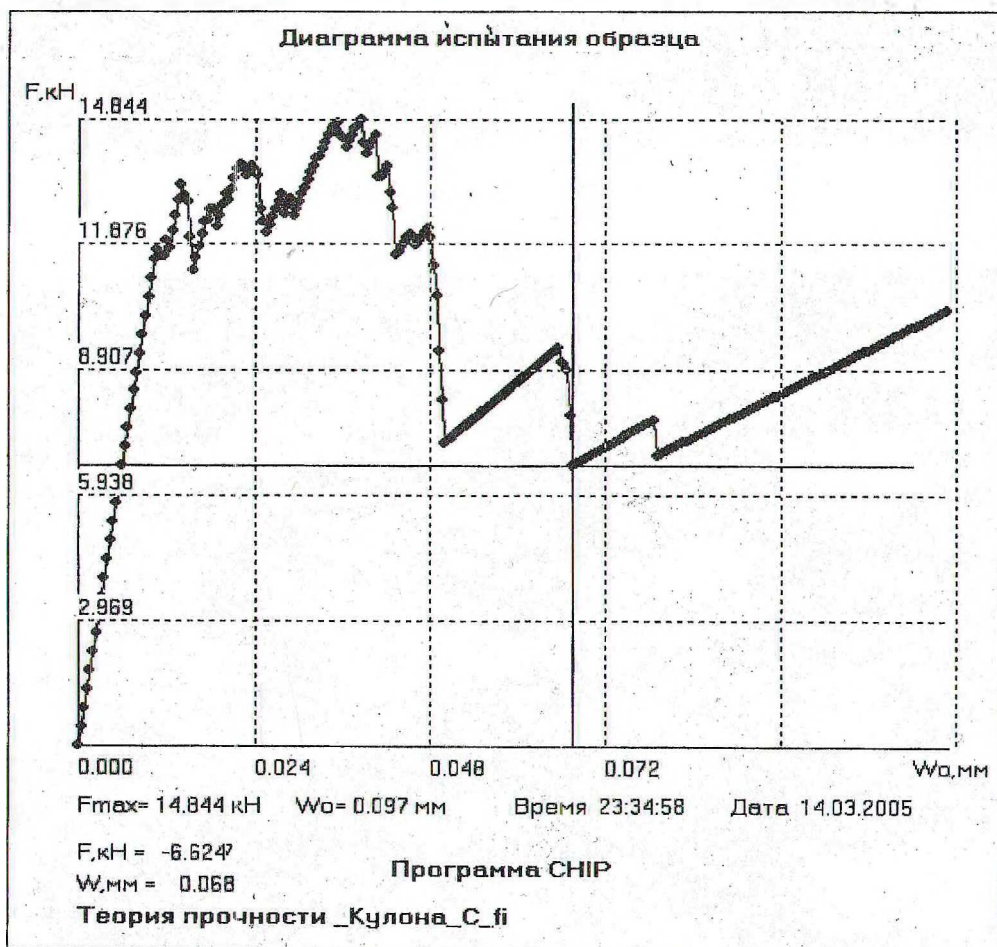


Рис. 4. Диаграмма деформирования образца при его испытании

Перед выполнением расчета текстура образца ретушировалась средствами программы СНПР (рис. 2). При этом текстура щебня закрашивалась одним цветом, асфальтовый раствор – другим, что необходимо для трансформации образца в его конечно-элементную модель.

Расчет выполнен при использовании теории прочности Кулона для связно-сыпучих материалов.

На рис. 3 слева показана деформированная конечно-элементная сетка, образованная в результате перемещений ее узлов и дающая представление о деформациях образца на каждой стадии его испытания. Справа приведена схема разрушения образца. Точками отмечены места, где наступило предельное состояние по теории прочности Кулона, а следовательно, и разрушение материала. Очевидно, что области разрушения сконцентрированы в нижней и средней частях образца и их расположение и размеры зависят от напряженного состояния образца и его текстуры. Следует отметить, что в этих же местах наблюдается наибольшая деформация.

По результатам численного моделирования получена диаграмма деформирования образца (рис. 4). На горизонтальной оси отложена деформация образца, а на вертикальной – сжимающая сила. При малых значениях деформаций диаграмма имеет вид прямой. Это объясняется тем, что на этой стадии испытания в образце появляются небольшие напряжения, которые не могут вызвать локальных разрушений в нем. По мере роста деформаций, а следовательно, и напряжений в наиболее слабых мес-

тах образца (в местах концентрации напряжений) наступает предельное состояние. Это приводит к значительному уменьшению модуля упругости в этих местах и, как следствие, к уменьшению сопротивления образца сжатию. На диаграмме это проявляется в резком снижении сжимающей силы и росте деформаций.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Разработанный алгоритм и программа СНПР позволяют численно моделировать процесс разрушения асфальтобетонных образцов при сжатии. В результате моделирования получены схема и диаграмма деформирования образца.

2. При использовании принципа аналогий, то есть сравнении форм разрушения и диаграмм деформирования, полученных при испытании образцов и при численном моделировании, может быть подобрана наиболее хорошо согласующаяся теория прочности и определены расчетные характеристики асфальтобетона, наиболее достоверно отражающие его работу в покрытии.

#### Литература

1. Шевчук Л. И. Технология построения численных моделей строительных сооружений на основе ассоциированных систем конечных элементов // Механика разрушения композиционных материалов: Сб. научных трудов Межд. науч. конф. Том 2. – Минск, 1997. – С. 83–93.

2. Писаренко Г. С. и др. Справочник по сопротивлению материалов. – Киев: Наукова думка, 1988. – 726 с.