

**И. С. Балафендиева, Д. В. Бережной**

*Казанский (Приволжский) федеральный университет.*

*e\_to@mail.ru, Dmitri.Berezhnoi@ksu.ru*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГРУНТОВОГО МАССИВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

Бетон и грунты являются физически нелинейными средами и подчиняются закону Гука в небольшом диапазоне прикладываемых нагрузок. Существуют многочисленные математические модели, позволяющие описать процесс их деформирования, которые различаются сложностью разрешающих уравнений. В данной работе использована плоская упруго-пластическая модель, получившая реализацию в виде конечно-элементной модели. Основным условием, обеспечивающим надежность прогноза деформаций поверхности, являются строгое соблюдение технологии сооружения тоннелей, а также использование в расчете данных по взаимному расположению пластов различных грунтов и тоннеля и фактических характеристик деформируемости и прочности грунтов. В основе используемой расчетной модели МКЭ по прогнозированию деформаций поверхности лежат следующие основные положения.

Перед проходкой выработки в грунте действуют напряжения, вызванные его собственным весом. Вокруг выработки образуется зона концентрации напряжений и происходят деформации, которым ранее препятствовал грунт, заполнявший выработку. В формировании поля напряжений участвуют также давление, создаваемое пригрузом забоя, и давление раствора, нагнетаемого в технологический зазор. Зона деформаций, воз-

никающих вокруг выработки, достигает поверхности, смещения которой нуждаются в прогнозной оценке. Величина технологического зазора, вводимого в расчет осадки поверхности, зависит от устойчивости вмещающих выработку грунтов.

Для расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности от влияния горных работ при проходке перегонных тоннелей принимается многоуровневая модель. Поскольку на рассматриваемом участке проходка будет осуществляться двумя тоннелями и проходка второго будет отставать от первого, то решение задачи делится на два этапа при описании проходки первого тоннеля и на три этапа, когда в моделируемом сечении попадает второй тоннель.

На первом этапе прикладывается нагрузка от собственного веса деформируемой обделки тоннеля метрополитена и вышерасположенного окружающего грунтового массива. Между обделкой и грунтовым массивом вводится дополнительный слой на величину технологического зазора. Здесь его физико-механические характеристики совпадают с характеристиками бетона. Кольцо обделки считается деформируемым и неразрезным на блоки. Грунты моделируются физически-нелинейным материалом, условие пластичности выбирается в форме критерия Мизеса – Боткина [1].

На втором этапе по внутренней поверхности обделки задаются кинематические граничные условия, полученные на первом этапе. Происходит перераспределение полей перемещений и напряжений за счет ослабления грунта в технологическом зазоре. При моделировании второго тоннеля первый этап соответствует первому этапу возведения одного тоннеля. На втором этапе моделируется нагнетание раствора за обделку одного тоннеля, а на третьем этапе так же поступаем с технологическим

зазором и второго тоннеля.

Расчет проводится на основе двумерных квадратичных 8-узловых конечных элементов сплошной среды Серендинова семейства, узловыми неизвестными которого являются проекции вектора перемещений на координатные оси рабочей плоскости. Построение сетки осуществляется автоматически методами программного комплекса, причем в некоторых случаях для сохранения приемлемой для расчета формы конечных элементов вместо четырехугольных элементов используются треугольные, получение из четырехугольных путем вырождения одной из сторон.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зарецкий Ю. К. *Лекции по современной механике грунтов*. - Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовск. ун-та, 1989. - 607 с.

**П. В. Бибиков**

*Институт проблем управления РАН, г. Москва,  
tsdtp4u@proc.ru*

## ПРОЕКТИВНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ ПРОЕКТИВНЫХ КРИВЫХ

Рассмотрим комплексную проективную плоскость  $\mathbb{C}P^2$  с однородными координатами  $(x : y : z)$ , на которой действует группа  $GL_3(\mathbb{C})$ . Основной целью данной работы является классификация неприводимых алгебраических проективных кривых относительно такого действия.

Каждой неприводимой алгебраической проективной кривой степени  $n$  можно сопоставить единственную (с точностью до постоянного множителя) *тернарную форму* степени  $n$ , т. е.