

дельным состояниям необходимо проводить обязательный расчет долговечности конструкции по различным критериям [3].

С целью повышения надежности и долговечности плит проезжей части необходимо проведение следующих мероприятий:

1. Следует возродить сборно-монолитную конструкцию балочных пролетных строений и предпочитать устройство монолитных предварительно напряженных железобетонных плит по сборным балкам.

2. Рекомендовать для монолитных плит применять модифицированные бетоны нового поколения с повышенными важнейшими показателями долговечности: марка по водонепроницаемости не ниже W8, водопоглощение не больше 4.2% по массе, малая усадка, морозостойкость с маркой не ниже F400, обеспечение требуемой трещиностойкости.

3. Требуется применение методов расчета конструкций с использованием расчетных схем, учитывающих появление и развитие в процессе эксплуатации дефектов и повреждений различного вида, изменение механических характеристик материалов, воздействий агрессивных эксплуатационных сред и т.п.

#### **Литература**

1. Берг, О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона – М.: Госстройиздат, 1961-61 с.
2. Бондаренко, В.М., Иосилевский, Л.И., Чирков, В.П., Надежность строительных конструкций и мостов – М.: Российская академия архитектуры и строительных наук., 1996 -220 с.
3. G.Pastushkov, V.Pastushkov. Durability of reinforced concrete bridges - the major problem of road branch: Proceedings of the International Conference "Construction and Architecture"/ Edited by Khroustaliyev B.M. and Leonovich S.N.- Minsk, 2003, pp. 322-332.

УДК 625.42

#### **Статический расчет конструкции станции метрополитена, сооружаемой поточным методом строительства**

Пастушков Г.П., Радкевич Е.И.

Белорусский национальный технический университет

Одним из основных направлений научно-технического прогресса в проектировании инженерных сооружений является широкое использование вычислительной техники для выполнения

расчетов. При этом конструктор имеет возможность детально проанализировать несколько вариантов проектных решений и выбрать из них наиболее рациональный вариант. Наибольший эффект в применении ЭВМ достигается в том случае, когда инженер осуществляет выбор путей решения поставленной задачи и творческое осмысление полученных результатов, производя необходимые проверочные расчеты на ЭВМ по готовым апробированным программам [1].

С точки зрения реализации на ЭВМ расчеты условно можно разделить на три класса. К первому классу относятся расчеты, решение которых достигается вычислением искомым параметров, выраженных в явном виде некоторым набором формул. Примерами таких задач являются так называемые «инженерные методы» расчета конструкций.

Ко второму классу можно отнести задачи, которые не имеют решения в замкнутом виде (точного решения). При этом точное решение задачи представляется в виде некоторого множества чисел, позволяющего получить интересующую инженера информацию. В этом случае говорят о численном решении задачи, а методы, с помощью которых достигается это решение, обозначают термином «численные методы».

Третий класс задач составляют оптимизационные задачи, суть которых сводится к отысканию наилучшего варианта решения, отвечающего определенным требованиям.

К наиболее распространенным в строительной механике численным методам можно отнести методы: конечных элементов, конечных разностей, граничных элементов.

Рассмотрим метод конечных элементов. Пусть имеется какая-либо континуальная система (система с бесконечным числом степеней свободы) - рама, упругая полуплоскость, трехмерное тело, на которую действуют внешние или внутренние силы. Напряженно-деформированное состояние (НДС) системы описывается функциями напряжений и функциями перемещений, которые определены в области, занимаемой системой. Между напряжениями и деформациями существует однозначная прямая и обратная зависимость — это предположение справедливо для весьма широкого класса задач. Задача отыскания НДС континуальной системы является, за исключением простых случаев, статически неопределимой. Для решения статически неопреде-

лимых задач в строительной механике разработан метод сил, метод перемещений, смешанный метод.

Зачастую аналитическое решение задачи об отыскании НДС континуальной системы не может быть получено из-за неоднородности материала, сложности граничных условий и т. д. В этих случаях прибегают к решению задачи численными методами, одним из которых является метод конечных элементов. Идея метода конечных элементов заключается в следующем. Континуальная система заменяется (аппроксимируется) системой с конечным числом степеней свободы, т.е. производится дискретизация системы на отдельные элементы, соединенные между собой в узлах. Предполагается, что работа конечного элемента точно или приближенно изучена, например, установлена зависимость между перемещениями узлов элемента и внутренними усилиями в узлах. Работа дискретизированной системы будет определяться взаимодействием отдельных конечных элементов. Решением задачи определения НДС континуальной системы методом конечных элементов будет являться такое НДС дискретизированной системы, при котором удовлетворяются условия совместности и равновесия.

Точность расчета методом конечных элементов при прочих равных условиях будет тем выше, чем большее количество степеней свободы (узлов) будет иметь аппроксимирующая система. Это связано с тем, что условия совместности деформаций выполняются только в узлах дискретизированной системы, а по линии соприкосновения конечных элементов деформации могут испытывать разрывы.

Метод конечных элементов применен в таких расчетных программах как ЛИРА, SCAD. Ниже приведен расчет несущей способности станции метрополитена поточного метода строительства, выполненный на ПК SCAD Office 7.29.

Конструкция станции поточного метода строительства имеет принципиальные различия от конструктивных типовых решений станций открытого способа работ. В конструкцию станции входят разомкнутая обделка путевых тоннелей, что усложняет работу всей конструкции.

Платформенный участок станции, представленный для расчета, запроектирован по конструктивной схеме двухуровневой станции колонного типа (рис. 1). В нижнем ярусе расположена

пассажирская платформа шириной 12,6 м, в верхнем – блок служебных помещений. Два центральных ряда колонн представлен в виде свай-колонн, проходящих насквозь с шагом 6 м. Консольные части станции опираются на сваи с ростверком. Покрытие выполнено в виде монолитной трехпролетной плиты. Перекрытие и лоток также выполнены из монолитного железобетона. Общая высота конструкции 10,430 м, ширина – 22,7 м.

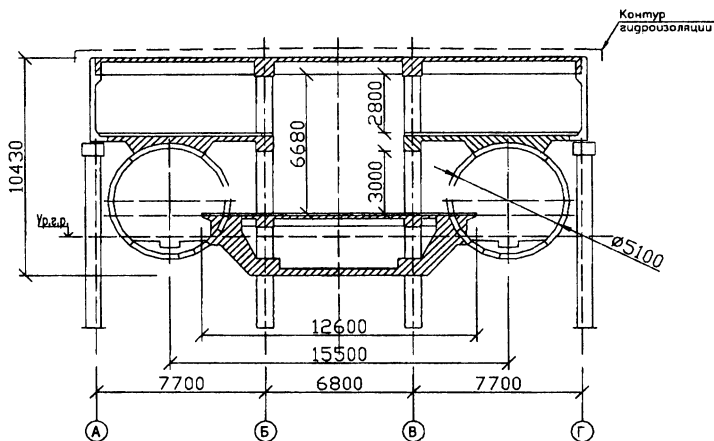


Рисунок 1. Конструктивная схема платформенного участка станции, сооружаемой поточным методом принятая для расчета

Расчет производится на основное сочетание нагрузок согласно СНБ 5.03.01-02. Расчетная ширина рамы  $b_p = 6.0$  м, отметка уровня головки рельса принят за относительный ноль, уровень верха покрытия – 8.580, уровень земли принят 10.080, засыпка составляет 1.50 м.

При расчете учитываем коэффициенты упругого основания, для этого задаемся толщиной слоя равной 10 м, модулем упругости  $E = 11000$  кН/м и коэффициентом Пуассона  $\nu = 0.1$ . Грунтовые связи моделируются упругими связями конечной жесткости (КЭ-51).

ПК SCAD реализует численный метод дискретизации сплошной среды методом конечных элементов. Этот метод хорошо адаптирован к реализации на ЭВМ.

В таблицах 1, 2 представлены результаты статического расчета.

Таблица 1. Максимальные перемещения узлов расчетной схемы

Мак перемещения узлов расчетной схемы от комбинаций, мм, рад*1000						
	MAX+			MAX-		
	Значение	№ узла	№ комб.	Значение	№ узла	№ комб.
X	.437	51	1	-.437	34	1
Z	0.	54	1	-2.34	10	1
Уy	.000	33	1	-.000	52	1

Таблица 2. Максимальные усилия элементов расчетной схемы

Максимальные усилия элементов расчетной схемы, т, м								
Наименование	MAX+				MAX-			
	Значение	Номер эл-та	№ сечения	Номер комб.	Значение	Номер эл-та	№ сечения	Номер комб.
N	12.36	17	3	1	-434.75	2	1	1
M	293.48	1	3	1	-293.49	7	1	1
Q	219.97	7	1	1	-220.38	9	3	1

Ниже приведены деформационная схема и эпюра моментов.

Как показал статический расчет, наибольшую нагрузку испытывает покрытие и конструкция сопряжения расчлененной обделки с перекрытием станции. Эти элементы требуют более детальной разработки.

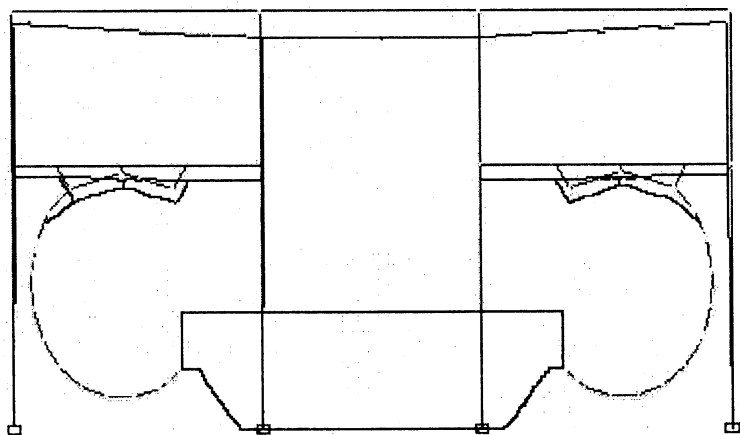


Рисунок 2. Деформационная схема поперечного сечения

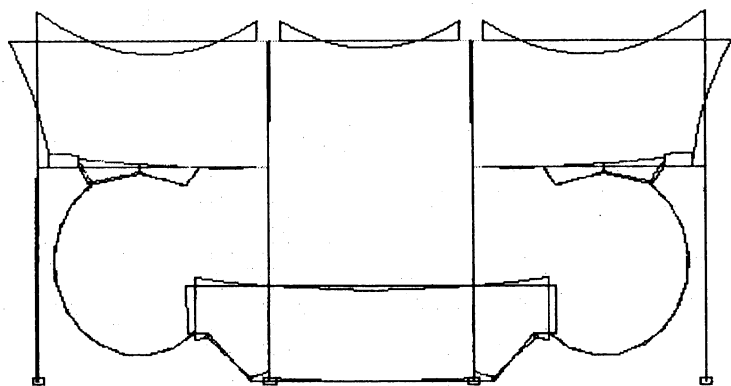


Рисунок 3. Эпюры моментов

### Литература

1. Основания и фундаменты: Справочник / Г. И. Швецов, И. В. Носков, А. Д. Слободян, Г. С. Госькова; Под ред. Г. И. Швецова. – М.: Высшая школа, 1991. – 383 с.  
СНБ 5.03.01. Конструкции бетонные и железобетонные. Нормы проектирования.