



Моделирование тоннельных обделок



Шейн Аунг Тун

Shein Aung Tun

Установка в подземной выработке тоннельных колец ставит перед разработчиками моделей целый ряд проблем. С одной из них связано создание программного комплекса для оптимизации угла поворота колец относительно друг друга и формирования обделки тоннеля, ось которого была бы максимально приближена к проектной.

Ключевые слова: транспортный тоннель, установка колец, моделирование обделки, программный комплекс, алгоритм работы.

Шейн Аунг Тун — аспирант кафедры «Системы автоматизированного проектирования транспортных конструкций и сооружений» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).

Сборная обделка тоннеля представляет собой ряд последовательно установленных в подземной выработке колец, которые, в свою очередь, состоят из отдельных элементов (рис. 1). Сборные элементы (сегменты) кольца обделки называются тюбингами или блоками.

Форма поперечного сечения сборной тоннельной обделки определяется прежде всего формой поперечного сечения проходческого щита, а размеры тоннеля зависят от его назначения. Отдельные элементы обделок изготавливаются в основном из железобетона или чугуна, крайне редко — из сварных стальных деталей.

Для устройства сборных обделок на криволинейных участках трассы тоннеля используются так называемые клиновые кольца, характеризующиеся тем, что кольцевые борта их элементов не параллельны друг другу. В настоящее время применяются два типа клиновых колец:

1 — с сочетанием прямых колец (с параллельными кольцевыми бортами) и клиновидных с односторонним (правым или левым) скосом;

2 — универсальные клиновидные.

Схемы возможной укладки колец на прямолинейном и криволинейном участках тоннеля показаны на рис. 2 и 3.

Как видно, конструкция универсальных клиновидных колец позволяет проходить тоннель и на прямом, и на криволинейном участках за счет поворота одного кольца относительно другого (рис. 4).

Сейчас при прокладке тоннелей проходческими щитами варианты использования прямых колец в сочетании с кольцами, имеющими односторонний скос, случаются крайне редко. Это не выгодно с эконо-

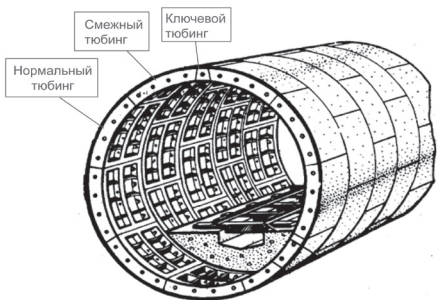


Рис. 1. Элементы тоннельного кольца.

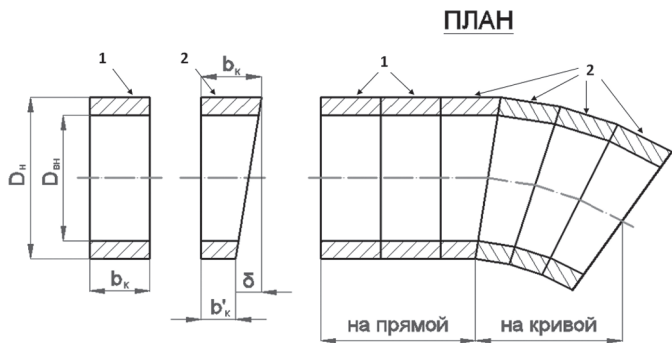


Рис. 2. Схема укладки колец обделки на прямом и криволинейном участках тоннеля с использованием прямых колец в сочетании с клиновидными (с односторонним скосом):
1 – прямые; 2 – клиновидные с односторонним скосом.

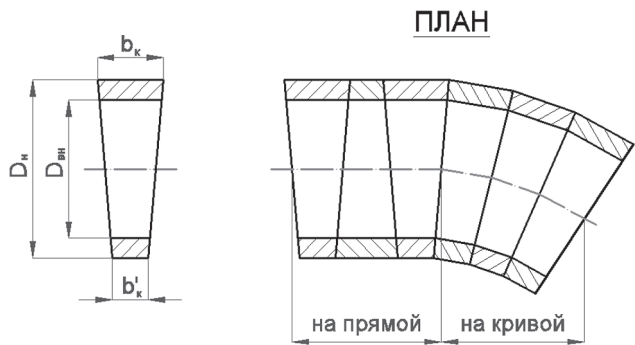


Рис. 3. Схема укладки колец обделки на прямом и криволинейном участках тоннеля с использованием универсальных клиновидных колец.

мической и технологической точек зрения, поскольку приводит к увеличению числа типов элементов обделки. Поэтому в современном строительстве обделка тоннеля состоит в основном из универсальных клиновидных колец с двусторонним скосом.

Однако применение клиновидных элементов не исключает определенные сложности. Они связаны с тем, что осуществить прокладку тоннеля по одной и той же трассе с использованием одного набора колец можно различными вариантами (рис. 5, 6).

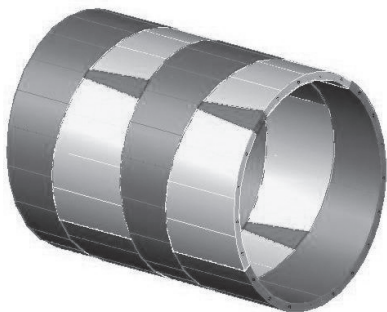


Рис. 4. Обделка из клиновидных элементов на прямом участке тоннеля.



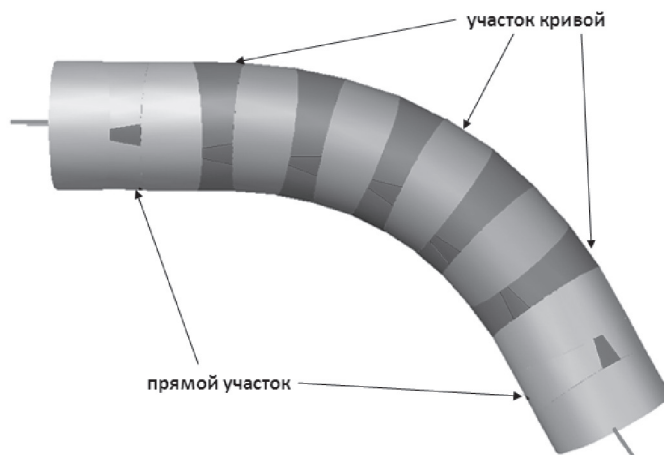


Рис. 5. Первый вариант прохождения трассы.

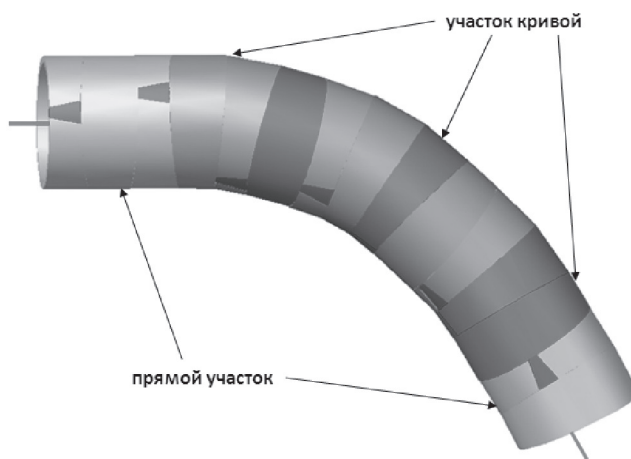


Рис. 6. Второй вариант прохождения трассы.

Отличие этих вариантов в различном сочетании углов поворота для каждого элемента обделки и доле отклонения от проектной оси тоннеля. На рис. 5 и 6 одинаковыми оттенками показаны кольца, повернутые на один и тот же угол относительно своего предшественника.

При этом надо подчеркнуть, что четко сформулированных нормативных требований на сей счет не существует, и тем самым фиксируется не только сама научно-техническая проблема, но и определяется важная для практики расчетно-оптимизационная задача. Соответственно ей целью нашего исследования стало создание такого программного комплекса, который вычислял бы оптимальный угол поворота колец относительно друг друга и позволял формировать обделку

тоннеля, ось которого была бы максимально приближена к проектной.

В качестве исходных данных для элемента обделки тоннеля (клиновидное кольцо) нами определены параметры, обозначенные на рис. 7:

D – наружный диаметр кольца, м;
 h – толщина кольца, мм;
 b_0 – ширина кольца по оси, мм;
 b_1 – ширина кольца снизу, мм;
 b_2 – ширина кольца сверху, мм;
 n_d – количество длинных элементов, шт.;
 n_k – количество коротких (ключевых) элементов, шт.

Исходные данные для трассы (оси) тоннеля (рис. 8):

т. А – начальная точка оси тоннеля;
 т. В – конечная точка оси тоннеля;

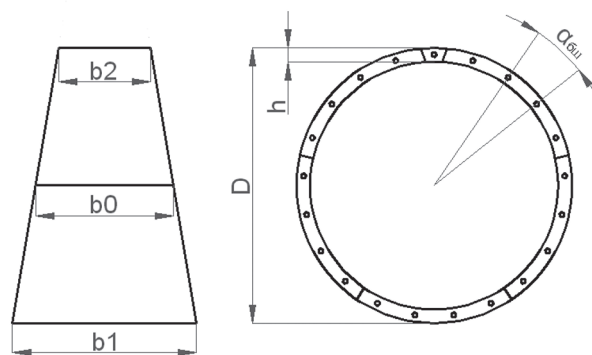


Рис. 7. Схема клиновидного кольца с базовыми размерами.

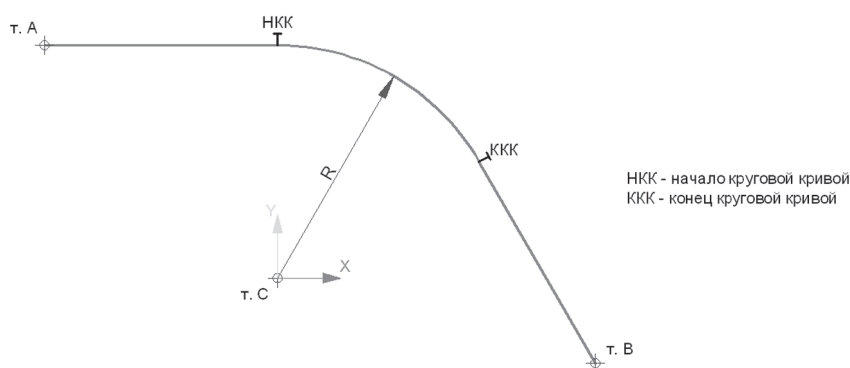


Рис. 8. Исходная трасса тоннеля.

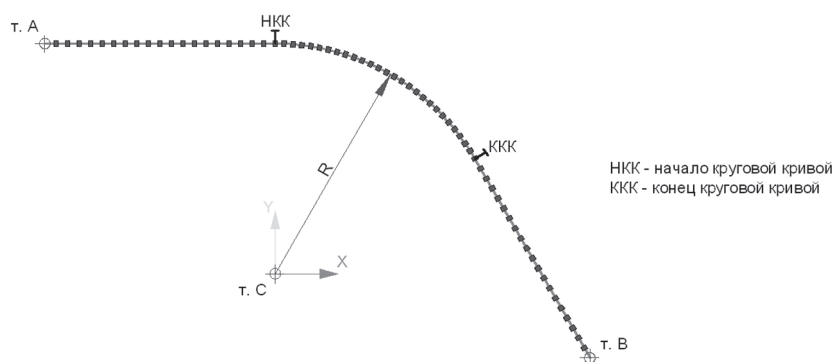


Рис. 9. Формирование списка точек оси тоннеля.

т. С — центр круговой кривой;
R — радиус круговой кривой.

Заметим, что трасса тоннеля может быть как плоской кривой (изменять свое направление только в плане), так и пространственной кривой (изменять направление и в плане, и в профиле).

Рассмотрим общий алгоритм работы программного комплекса.

- На первом шаге формируется список точек оси тоннеля на базе ее дискретной схемы (рис. 9).
- На следующем шаге делается вставка стартового клиновидного блока в начало оси тоннеля (рис. 10).
- Затем происходит переход в локальную систему координат левой стыковочной плоскости.



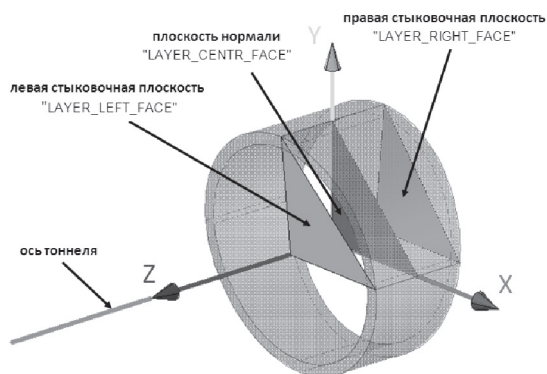


Рис. 10. Вставка стартового клиновидного кольца.

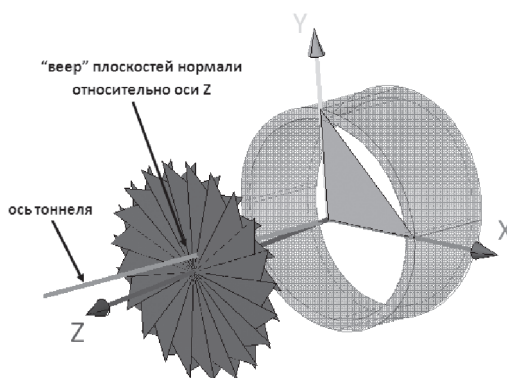


Рис. 11. Формирование списка локальных плоскостей поворота в системе координат левой плоскости клина.

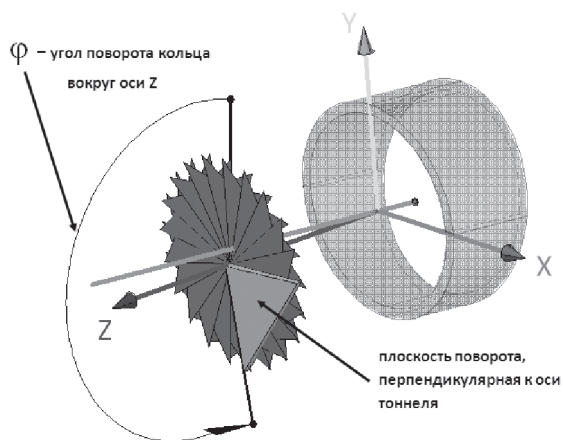


Рис. 12. Поиск локальной плоскости поворота с наименьшим углом наклона нормали к оси тоннеля.

• Далее, согласно программе, удаляются все информационные грани и формируется список локальных плоскостей поворота серединной поверхности клина в левой системе координат (путем поворота плоскости нормали вокруг оси Z). Количество элементов равно общему количеству болтовых шагов в кольце. Сначала

получают исходные координаты базовых плоскостей клина, а потом идет формирование «веера» плоскостей поворота и локального списка плоскостей серединной поверхности клина (рис. 11).

• На очередном этапе из полученного списка выбирается плоскость с наименьшим углом наклона нормали к оси тоннеля.

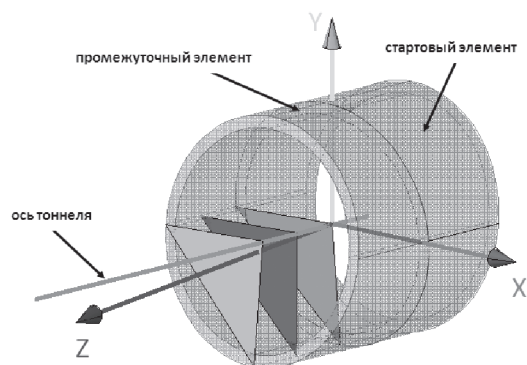


Рис. 13. Вставка промежуточного блока.

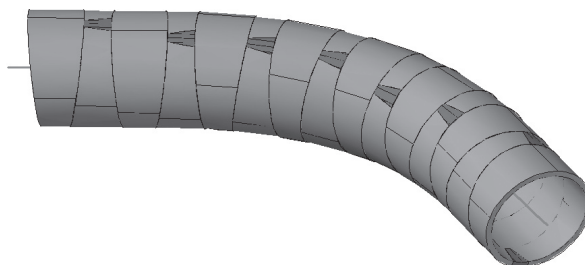


Рис. 14. Итоговый вариант произвольной пространственной кривой.

Именно этот угол и будет оптимальным для поворота ставящегося в данный момент кольца вокруг своей оси относительно предыдущего (рис. 12).

- Следующим шагом в алгоритме программы является вставка промежуточного блока. Операция совершается в локальной системе координат левой плоскости клина (рис. 13).

- После вставки последнего клиновидного кольца происходит переход в систему координат его левой плоскости. Каждый очередной элемент присоединяется к предыдущему с учетом этих координат.

- Завершается все поиском пересечения срединной плоскости клина текущего блока с осью тоннеля. Если такого пересечения не нашлось, значит, сформированная обделка дошла до конечной точки оси, и программа выходит из цикла формирования цепочки клиновидных блоков.

Результат выполнения программы для произвольной пространственной кривой представлен на рис. 14.

Программный комплекс, реализующий показанный алгоритм, написан на языке AutoLISP и полностью функционирует в среде графического редактора AutoCAD.

MODELING OF TUNNEL LINING

Shein Aung Tun – Ph. D. student at the department of the systems of computer-aided design of transport structures and facilities of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

The mounting of tunnel rings in an underground excavation poses some problems in engineering of possible models. Particularly, a specific software package is required in order to optimize the rotation angles between the rings, and to engineer the lining of the tunnel for its real axle should coincide as much as possible with the initially designed one.

Key words: transportation tunnel, ring mounting, lining simulation, software package, operation algorithm.

Координаты автора (contact information): Шейн Аунг Тун – sheinaungtun@gmail.com

