

МЕТОДИКА ПРОГНОЗА УСТОЙЧИВОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ТОННЕЛЕЙ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

Приведены натурные данные деформирования перегонных тоннелей Петербургского метрополитена. Выявлен волновой характер их деформирования во времени в форме подъемов и опусканий. На участках трасс с нарушениями грунтовой среды и тектоническими разломами установлены периодические подъемы и опускания тоннелей по их трассе. Предложена методика прогноза устойчивости тоннелей, основанная на скорости их перемещения.

In-situ measurements of tunnels deformation for Saint-Petersburg subway are given. Time dependable wave character of tunnels deformation in the form of rising and lowering was discovered. It was established that periodical rising and lowering of tunnels occur along the track section with disrupted rock mass and tectonic fissure. It was suggested that tunnel stability prediction technique is based on rate of it displacement.

Геология подземного пространства Санкт-Петербурга имеет сложное строение. На устойчивость подземных сооружений оказывают влияние геология и гидрогеология грунтового массива, его тектоника, физико-механические свойства грунтов и горных пород, величина и закономерности распределения нагрузок на тоннели метрополитена и характер их взаимодействия с окружающим массивом, тип, параметры и деформационные характеристики обделки.

Для оценки устойчивости участков метрополитена все перечисленные факторы были разделены на две группы: геологическую и геомеханическую.

Первая группа факторов характеризует влияние природных геологических процессов и неотектонику подземного пространства, вмещающего тоннели метрополитенов. Вторая группа характеризует влияние геомеханических факторов на состояние и устойчивость тоннелей.

Измерение перемещений тоннелей метрополитена производилось с помощью реперов, установленных в лотковой части, с

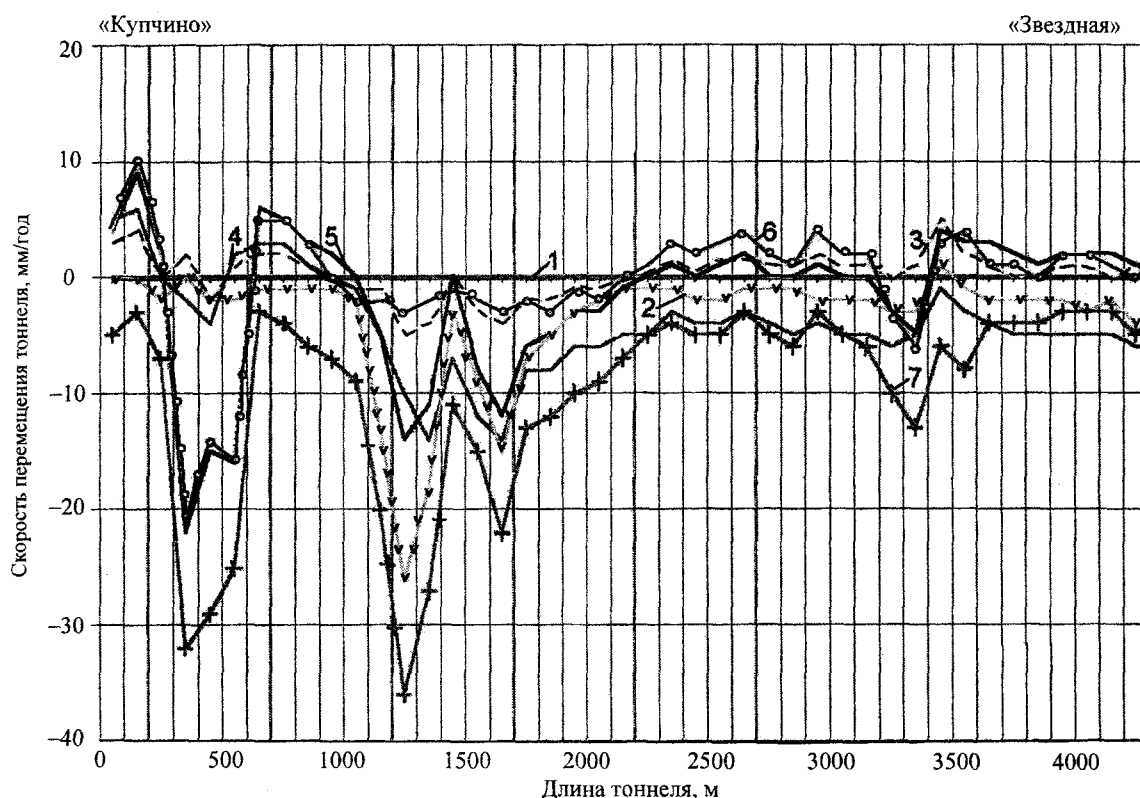
использованием высокоточных современных нивелиров.

По предложенной методике выполнены длительные натурные наблюдения за деформированием тоннелей вдоль всех линий Петербургского метрополитена. По линиям получены закономерности деформирования тоннелей во времени вдоль их трасс.

На рисунке приведены экспериментальные данные по деформированию перегонных тоннелей между станциями «Купчино» – «Звездная». Анализ эксперимента показывает волновой характер деформаций тоннелей по трассе в форме опусканий и подъемов.

Во времени наблюдалось поочередное опускание и подъем тоннелей. В 1983, 1989 и 2001 годах наблюдалось опускание тоннелей, а в 1986, 1994 и 1997 годах – подъем.

В процессе эксплуатации перегонных тоннелей вначале отмечалось их опускание, затем подъем, потом опять опускание, которое сменилось на части тоннеля его подъемом.



Скорость перемещения перегонного тоннеля между станциями «Купчино» – «Звездная»

1 – 1981 г.; 2 – 1983 г.; 3 – 1986 г.; 4 – 1989 г.; 5 – 1994 г.; 6 – 1997 г.; 7 – 2001 г.

Следует особо отметить, что участки подъема и опускания, чередуясь друг с другом, создают сложные условия для работы обделки тоннелей. Наибольшее значение перемещений тоннелей между подъемом и опусканием составляет 20 мм.

Аналогичные закономерности периодического подъема и опускания перегонных тоннелей получены и для других линий Петербургского метрополитена.

Фиксируемые вертикальные перемещения тоннелей отражают постоянно действующие (волновые) движения вмещающих горных пород, находящихся в напряженно-деформированном состоянии упругого равновесия. Как показали результаты исследований, скорости движений ряда участков трасс, в целом, низкие (1-3 мм/год), плавно меняющиеся с градиентами 0-1 мм/год на каждые 100 м. Расхождения скоростей деформаций путей (перекос путей) в основном не превышают 1 мм/год. Такие деформационные параметры являются фоновыми и не

создают угрозы безопасности движению поездов.

Наряду с фоновыми участками выявлены участки деформирования тоннелей с большим подъемом и опусканием тоннелей по их трассе, названных аномальными.

Основными критериями выделения участков потери устойчивости тоннелей являлись значения перемещений, а также их динамика в пространстве и во времени. Для характеристики динамики изменений были рассчитаны три деформационных параметра: средняя ежегодная скорость движения реперов за каждый период между повторными измерениями, градиент изменения этой скорости, характеризующий степень изменчивости деформации по трассе, и так называемый перекос путей, т.е. расхождение скоростей деформаций по путям. По результатам статистической обработки значений указанных параметров были определены фоновые и аномальные уровни, разработана их оценочная шкала с выделением сла-

бого, умеренного, высокого и весьма высокого аномального уровня.

Указанным аномальным уровням соответствуют следующие значения скоростей перемещений и их градиентов:

- слабый уровень – 5-10 мм/год;
- умеренный уровень – 10-20 мм/год;
- высокий уровень – 20-50 мм/год;
- весьма высокий уровень – более 50 мм/год;

Для перекосов путей значения скоростей перемещений равны:

- слабый уровень – 2,5-5 мм/год;
- умеренный уровень – 5-10 мм/год;
- высокий уровень – 10-20 мм/год;
- весьма высокий уровень – более 20 мм/год.

Состояние устойчивости тоннелей зависит от скоростей перемещений и их градиентов. По значениям скоростей перемещений предлагается выделить четыре состояния тоннелей: устойчивое, средней устойчивости, неустойчивое, весьма неустойчивое (см. таблицу).

Классификация устойчивости эксплуатируемых тоннелей метрополитена

Состояние устойчивости тоннелей	Скорость перемещения контура обделки, мм/год	Скорость перекосов путей, мм/год	Состояние окружающего грунтового массива по аномальности
Устойчивое	5-10	2,5-5	Слабое
Средней устойчивости	10-20	5-10	Умеренное
Неустойчивое	20-50	10-20	Высокое
Весьма неустойчивое	> 50	> 20	Весьма высокое

Необходимо отметить, что значения скоростей перемещения контура обделки и перекосов путей связаны с влиянием геомеханических и геологических факторов, поэтому они являются комплексными для условий Петербургского метрополитена.

Эта классификация разработана применительно к ежегодным повторным нивелировкам и может быть использована с некоторыми ограничениями для наблюдений один раз в два года. При возрастании перерыва между повторными нивелировками результирующая деформационная картина все более искажается из-за увеличения компенсационного эффекта, в основе которого лежит вышеуказанный волновой характер движения горных пород. В этом случае значения всех деформационных параметров уменьшаются, а локальные деформации могут быть вообще пропущены.

Предложенная методика может быть использована для оценки состояния тоннелей метрополитена и разработки рекомендаций по повышению их устойчивости.

При прогнозе устойчивости участков тоннелей по трассе метрополитена составляются схемы новейшей тектоники участков подземного пространства с указанием их

уровней аномальности, категории и состояния устойчивости тоннелей.

В качестве эталона для сопоставления и оценки аномальных участков трасс метрополитена был принят хорошо изученный аварийный участок между станциями метро «Лесная» – «Площадь Мужества».

На основе данной методики по трассам тоннелей Петербургского метрополитена выделены следующие аномальные участки.

Участок «Купчино», в границах перегона «Купчино» – «Звездная», включая станцию «Купчино» и ее рампу. Оба выделенных отрезка с аномальными проявлениями деформаций приурочены к четвертичным грунтам, по-видимому, изначально ослабленным и чувствительным к динамическим воздействиям из-за их формирования в пределах палеоврезов, заложенных в геодинамически неустойчивых зонах. Избирательный характер течей свидетельствует о разгрузке по этим проницаемым тектоническим зонам подземных вод ломоносовского горизонта, залегающего здесь в 25-30 м от поверхности. Его пьезометрический уровень находится недалеко от поверхности.

Участок «Сенная площадь», в границах перегона между станциями «Технологиче-

ский институт» – «Невский проспект». Проявленные аномальные деформации тоннелей вызваны совместным действием природного и техногенного фактора. В районе пересечения с линией № 4 тоннели проходят через тектонически ослабленные коренные глины и четвертичные глинистые отложения в локальном палеоврезу. Поэтому не случайно проявление здесь деформаций, отмеченных в 1981-1986 гг. во время тектонической активизации, т.е. еще до пересечения линий в 1988 г. Наложение техногенного фактора на

тектонический усилило геодинамическую нестабильность изначально неустойчивой природной системы. Отсюда и длительность аномальных деформаций, усиление их во время последней тектонической активизации (1994-1997 гг.) и проявленные здесь течи. С этим же связаны длительные и интенсивные деформации поверхности в районе Сенной площади.

По трассам тоннелей Петербургского метрополитена выделены также другие аномальные участки.