

УДК 69.035.4

Е.Ю. Куликова

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ОСАДКИ ГРУНТОВ
И СТРОЕНИЙ В РАДИУСЕ ВЛИЯНИЯ
ГОРОДСКИХ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ***

Первым этапом защиты окружающей среды от экологического дисбаланса, вызванного активизацией геомеханических процессов в результате подземного строительства, а также для защиты подземного объекта от вышеозначенных явлений, является оценка осадок грунтов и строений, находящихся в радиусе влияния подземных городских сооружений.

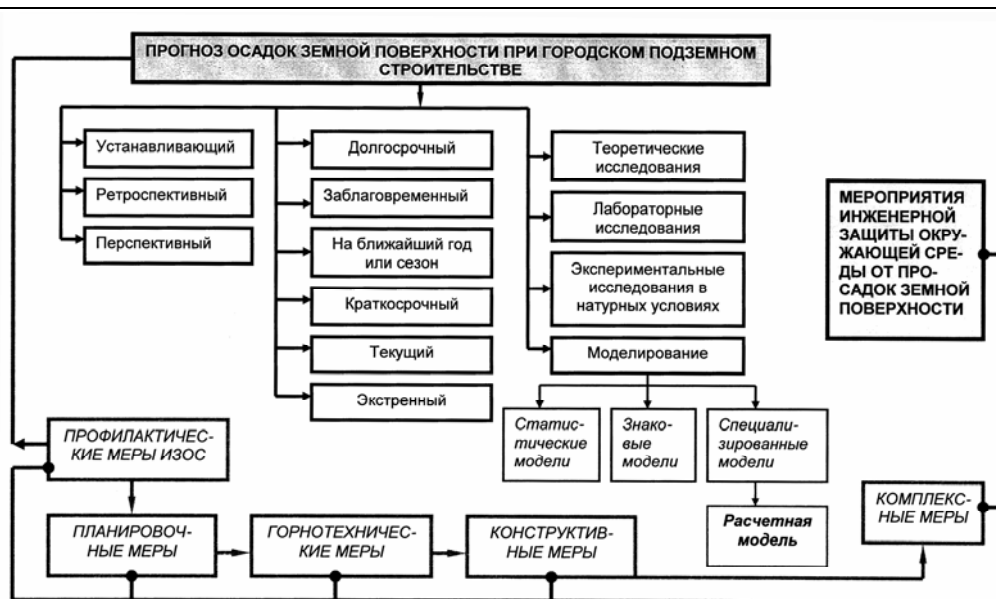
Инженерно-геологические прогнозы при проектировании и строительстве подземных сооружений города имеют ряд особенностей по сравнению с другими прогнозами техногенного воздействия на природу. Эти особенности связаны, главным образом, с ограниченностью объемов изысканий и получаемой информации. В этих условиях к прогнозируемым параметрам относятся состав и свойства породы, гидрогеологические условия по трассе тоннеля, возможности развития неблагоприятных геологических процессов (горное давление, пучение пород, прорывы воды, пльвунов и газа, изменение температурных условий и др.).

Из-за сложности и взаимосвязанности процессов, развивающихся между подземными объектами и окружающей средой, не все они поддаются точным прогнозам: для большинства из них возможна лишь оценка качественных изменений. Различают несколько видов прогноза (рисунок).

В настоящее время существуют два основных направления теоретических ис-

следований прогнозирования сдвижений и деформаций массива и поверхности земли, основанных на схематизации этих процессов с применением точных и приближенных методов. В большинстве случаев теоретические методы прогнозирования сводятся к решению плоской задачи механики сплошной или дискретной среды, в результате чего определяют распределение напряжений и деформаций в главных сечениях мульды сдвижения. Однако, несмотря на высокую точность решения задач этими методами, результаты могут отвечать требованиям практики только в отдельных случаях: в определенных грунтах, при определенной глубине заложения, форме и размерах подземной выработки. Окружающая среда является очень подвижным организмом, чутко реагирующим на любое техногенное вмешательство, причем изменения происходят не всегда в районе непосредственного воздействия человека. Поэтому при прогнозировании методом сплошной или дискретной среды иногда невозможно учесть влияние на процесс сдвижения и деформаций горных пород и земной поверхности технологических особенностей строительства подземных сооружений и фактор времени. В связи с этим в практических расчетах развития геомеханических процессов чаще всего применяют приближенные методы. В ряде случаев находит применение метод расчета

*Выполнено при финансовой поддержке в форме гранта Министерства образования РФ.



Типы прогноза осадок земной поверхности

сдвижений и деформаций, в соответствии с которым породная толща над подземным сооружением рассматривается как балка с защемленными концами под действием равномерно распределенной нагрузки. При этом кривая, ограничивающая мульду сдвижения, аппроксимируется линией прогиба верхней фибры балки. Такое допущение позволяет определять оседание поверхности земли в любой точке мульды сдвижения над подземным сооружением как прогибы балки.

Главной особенностью прогноза в подземном строительстве является выделение «слабого звена» в системе «массив — сооружение», то есть выявление факторов, оказывающих решающее влияние на выбор технического решения. Это дает возможность оценить характер и интенсивность проявления геомеханических процессов и внести необходимые уточнения в технологию проходки подземных выработок с целью минимальных нарушений окружающей среды и обеспечения устойчивости расположенных поблизости зданий и сооружений.

Изучение вопроса показало, что одним из основных факторов, влияющих на эксплуатационную надежность зданий в процессе строительства городских тоннелей, является вибрационное воздействие от работы строительных машин. В настоящее время отсутствуют нормативные документы, регламентирующие методику расчета таких воздействий на здания и сооружения, расположенные вблизи (менее 60 м) от трассы строящегося тоннеля.

Решение данной задачи представляет значительные трудности, связанные с необходимостью учета многих специфичных для тоннелестроения факторов, таких, например, как большое разнообразие физико-механических характеристик грунтов, в которых прокладывается трасса, экранирующее влияние конструкций тоннельной обделки и ограждающей «стены в грунте», расстояние от оси трассы до здания и др.

В ходе исследований выявлено, что на характер воздействия на здания и сооружения в зоне строительства подземных объектов наибольшее влияние оказывают ускорения колебаний и вибрационная

осадка. Расчет ускорения колебаний выполняется по формуле:

$$\alpha_{\text{тм}} = \alpha_{\phi} \sqrt{\frac{0,5}{r}} e^{-\delta(r-0,5)}, \quad (1)$$

где δ — коэффициент затухания колебаний грунта при удалении от источника; r — безопасное расстояние от источника колебаний до здания, м; α_{ϕ} — начальное ускорение колебаний фундамента здания, м/с².

При заложении фундаментов в суглинке $\alpha_{\phi} = 0,158$ м/с²; в водонасыщенных песках и текучих супесях $\alpha_{\phi} = 0,1$ м/с². Дополнительная вибрационная осадка здания определяется расчетом по формуле:

$$S = \frac{S_{\alpha} (\alpha_{\text{тм}} - [\alpha]_I)}{[\alpha]_I - [\alpha]_{II}}, \quad (2)$$

где S — допускаемое максимальное значение дополнительной осадки, $S = 20$ мм, учитывая, что значение $\alpha_{\phi} \ll [\alpha]_I \ll [\alpha]_{II}$ значение S_{α} близко к нулю; α_1 — допустимое значение ускорения колебаний фундамента, м/с²; α_{II} — предельное значение ускорения колебаний фундамента, м/с². Дополнительные осадки, вызываемые вибрацией, не оказывают ощутимого влияния на здание. В то же время, даже столь незначительные вибрационные воздействия, характеризуемые ускорением 0,0158g, по данным Института физики Земли РАН, соответствуют 5-балльному землетрясению и могут вызвать осыпание побелки со стен, перекрытий, повреждение ветхих зданий.

К одним из методов обеспечения устойчивости зданий при проходке вблизи коллекторов и тоннелей относится устройство разделительных стенок из свай различных типов. Сооружение разделительных стенок способами «стена в грунте», буросекущими сваями или погружение труб и свай в скважины, пробуренные

под защитой тиксотропного раствора, является очень дорогостоящими и, порой, недостаточно надежными. Применение бурозавинчивающихся свай в грунт позволяет уплотнить грунт на 75-80 % от объема самой сваи, что значительно увеличивает устойчивость от горизонтальных статических и динамических воздействий на ограждающую конструкцию, отсекая эти воздействия от фундаментов зданий. Эта технология также не допускает распространение осадочных явлений, вызванных наличием предельного состояния свода обрушения над подземными выработками при проходке городских тоннелей.

Решение задачи экологической надежности подземных объектов, находящихся в зонах строительства новых объектов городской инфраструктуры, тесно связано с задачей обеспечения эксплуатационной надежности, в основном, конструктивными и технологическими мерами.

Конструктивные меры, по сути, сводятся к применению несущих конструкций, наиболее рациональных с точки зрения ограничения нарушений устойчивости массива, в процессе строительства подземного сооружения. Этим требованиям в наибольшей степени отвечают конструкции обделок из набрызгбетона, монолитно-прессованного бетона, а также сборных чугунных и железобетонных обделок, обжатых распором в окружающую породу. Такие обделки возводят без зазора с контуром выработки, что исключает первичное нагнетание тампонажной смеси и обеспечивает сравнительно быстрое вступление их совместную работу с вмещающим массивом, ограничивая сдвиги и деформации последнего. Эффективность применения обжатых в породу обделок, однако, с точки зрения предотвращения осадок поверхности земли, в значительной степени снижается за счет упругого обжатия самой обделки, на долю которого тратится до 50 % распорного усилия.

Наиболее действенными являются *технологические меры*, направленные на устранение причин развития сдвижений и деформаций. Эти меры касаются, главным образом, последовательности и технологии разработки породы в забое и крепления выработки. Технологические меры дифференцированы в зависимости от способа строительства подземных сооружений в различных инженерно-геологических условиях.

Особое внимание к оценке деформаций земной поверхности должно уделяться при планировании проходческих работ. Наибольшее влияние на величину деформации земной поверхности оказывает пластическое течение грунтовых масс в выработки и уплотнение технологического зазора при работе щитового комплекса [1]. Поэтому необходимо учитывать деформации, вызванные выдавливанием пластичных пород, при выборе технологии проходки и мер по безопасному ведению подземного строительства. Учет пластического течения при расчете деформаций осуществляется по формуле [1]:

$$\eta_{\max \text{ в. л. }} = \frac{1,2 R_T \cdot \xi_{\max \text{ в. л. }}}{2 \int_0^L S \left(\frac{x'}{L} \right) dx'}, \quad (3)$$

где $\eta_{\max \text{ в. л. }}$ — максимальное оседание выдавливаемой породы; R_T — радиус тоннеля; $S \left(\frac{x'}{L} \right)$ — коэффициент, характеризующий распределение оседания земной поверхности в главном сечении мульды сдвижения; x' — расстояние от начала координат до рассматриваемой точки земной поверхности в мульде сдвижения (начало координат в точке максимального оседания); L — длина полумульды; $\xi_{\max \text{ в. л.}}$ — величина, характеризующая положение точки выдавленной породы, максимально удаленной от линии забоя.

На основании полученных значений деформаций принимается решение по способу проходки городского тоннеля:

- если прогнозные величины деформаций не превышают допустимые для наземных объектов, принимается обычный способ проходки;

- если прогнозные величины деформаций превышают допустимые для подрабатываемых объектов, принимается способ проходки с применением механизированных щитов;

- если прогнозные величины деформаций превышают допустимые для подрабатываемых объектов в условиях особо сложных горно-геологических условий городского подземного строительства, следует применять способ проходки специальными проходческими комплексами с пригрузом на забой.

Таким образом, вариациями различных мероприятий инженерной защиты подземных и наземных сооружений от деформаций горных пород и земной поверхности, можно управлять напряженно-равновесным состоянием массива, снижая негативный эффект от возникновения тектонических разломов, трещин, карстовых полостей, каверн, пор, зон ослабления в результате техногенной деятельности и, тем самым, способствовать восстановлению экологического баланса окружающей среды. Более того, комбинацией описанных мер в конкретных условиях, можно добиться ситуации, когда частично или почти полностью сохраняются ранее существовавшие природные условия, вмещающий массив включается в работу системы «массив – технология – сооружение», формируя с сооружаемым или эксплуатируемым объектом комплексное целое и препятствуя развитию неблагоприятных по своим последствиям изменений в окружающей среде. Функционирование этих методов позволяет сделать вывод о необходимости комплексного подхода к оценке осадки грунтов и строений, находящихся в радиусе влияния тоннелей. Для осуществления этой задачи необходимы:

- районирование и зонирование подземного пространства города по структур-

но-тектоническим и геодинамическим условиям для сравнительной оценки уровня безопасности его освоения;

- диагностика и классификация инженерно-геологических, гидрогеологических и геоэкологических условий, составление кадастра условий и технологий освоения подземного пространства для городского подземного строительства;

- разработка основных критериев по размерам охранных зон (по площади и глубине) для различных архитектурно-исторических комплексов при освоении подземного пространства для подземного строительства.

Поэтому основной целью выбора мероприятий инженерной защиты окружающей среды от развития геомеханических процессов является изыскание комплексного воздействия как на массив, так и на

несущие и ограждающие конструкции подземного объекта, и на перераспределяющиеся под влиянием техногенного вмешательства физические поля, прежде всего гравитационно-тектоническое (напряжений), гидродинамическое, гидрогеохимическое, тепловое и сейсмическое. Таким образом, одним из главных аспектов стратегии снижения и предотвращения экологической опасности на стадии проектирования подземных объектов является выявление особенностей взаимодействия проектируемых тоннелей с массивом и окружающей средой посредством проведения грамотной оценки и моделирования процесса взаимодействия и взаимовлияния всех элементов этой природно-технической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Trubetskoy K., Iofis M.* The Mechanism of Failure of Layered Rock Mass over Working. Assessment & Prevention in Rock Engineering. – Balkema, Rotterdam, 1993

2. *Труды* юбилейной научно-практической конференции «Подземное строительство в России на рубеже XXI века». – М.:ТАР, 2000, 472с.

Коротко об авторах

Куликова Е.Ю. – доктор технических наук, профессор кафедры «Строительство подземных сооружений и шахт», Московский государственный горный университет.

