

## Оглавление

Введение .....	5
Глава 1. ПОНЯТИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В ГЕОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ...	6
1.1. Нормативное обеспечение безопасности в строительстве .....	6
1.2. Экологическая безопасность строительства .....	6
Глава 2. АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ В ГЕОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ .....	8
2.1. Классификация аварийных ситуаций .....	8
2.2. Аварии при открытом способе строительства .....	9
2.3. Аварии при закрытом способе строительства.....	19
Глава 3. НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	23
3.1. Понятие о надежности и долговечности .....	23
3.2. Примеры расчета надежности подземных конструкций.....	24
Глава 4. ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ РИСКИ.....	27
4.1. Понятие о природно-геотехнической системе .....	27
4.2. Классификация геотехнических рисков .....	28
4.3. Управление геотехническими рисками.....	31
4.4. Примеры количественного определения степени риска .....	34
Контрольные вопросы .....	38
Заключение .....	39
Библиографический список .....	40

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вопросы безопасности в геотехническом строительстве стали актуальными и жизненно важными. Повсеместное использование подземного пространства зданий приводит к углублению строящихся котлованов, усложнению конструкций ограждения котлована и проектных решений оснований и фундаментов. Количество, длина и глубина туннелей, проектируемых и строящихся в мире, постоянно растут. Соответственно, увеличиваются риски, связанные с такими аспектами строительства, как технология и безопасность, финансирование и управление, монтаж и эксплуатация оборудования. В значительной степени эти аспекты связаны между собой и зависят от инженерно-геологических условий площадки строительства.

Грунтовый массив, в отличие от несущих конструкций любого другого вида гражданского строительства, составляет единую структуру со строящимся геотехническим объектом. Поскольку грунты обладают существенной изменчивостью физико-механических свойств, обеспечение безопасности, оценка и управление геотехническими рисками настоятельно необходимы на каждом шаге процесса строительства.

Также неотъемлемым аспектом геотехнического строительства является неопределенность, для которой могут быть установлены различные категории: пространственная и временная изменчивость физико-механических свойств грунтов и инженерно-геологические процессы и явления; ошибки, возникающие при изменениях и оценках геомеханических параметров, включая их статистическое распределение; неполный учет нагрузок и упущения, возникшие в ходе проектирования и строительства.

Анализ строительных аварий, сопровождающихся обрушением несущих конструкций объекта, показывает, что в 80 % случаев основная причина — ошибки, допущенные при проектировании, возведении и эксплуатации зданий и сооружений [1]. Рост числа аварийных ситуаций с участием строительных объектов требует создания системы обеспечения безопасности в геотехническом строительстве [2].

Обеспечение безопасности и управление рисками выполняются в многочисленных областях науки, в гидротехнической и атомной промышленности, где последствия аварий могут быть катастрофическими. Управление рисками все чаще становится составной частью строительства, в том числе геотехнического.

Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с программой дисциплины «Безопасность в геотехническом строительстве» для учащихся магистратуры по направлению подготовки 08.04.01 Строительство. Пособие также предназначено для магистров и аспирантов геотехнических специальностей и будет интересно специалистам проектных, изыскательских и научных организаций.

# Глава 1. ПОНЯТИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В ГЕОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

## 1.1. Нормативное обеспечение безопасности в строительстве

**Безопасность** — способность предмета, явления или процесса сохраняться при разрушающих воздействиях.

Методы обеспечения безопасности:

- анализ возможных аварийных ситуаций;
- управление рисками (процесс принятия и выполнения управленческих решений, направленных на снижение вероятности возникновения неблагоприятного результата и минимизацию возможных потерь проекта, вызванных его реализацией);
- повышение устойчивости к разрушающим воздействиям;
- создание систем и средств защиты от угроз;
- устранение и изоляция источников угроз.

Статьей 751 Гражданского кодекса РФ при осуществлении любого строительства на подрядчика возложена обязанность по соблюдению требований закона и иных правовых актов о безопасности строительных работ. Необходимо отметить, что строительная и иная связанная с ней деятельности расцениваются как создающие повышенную опасность для окружающих (ст. 1079 ГК РФ).

На территории Российской Федерации действуют следующие основные нормативные документы, регламентирующие правила безопасности в геотехническом строительстве:

- СНиП 12-03–2001 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования»;
- СНиП 12-04–2002 «Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство»;
- СП 248.1325800.2016 «Сооружения подземные. Правила проектирования»;
- ПБ 03-428–02 «Правила безопасности при строительстве подземных сооружений»;
- Руководство по комплексному освоению подземного пространства крупных городов. Москва, 2004 г. (ГУП «НИАЦ» Москомархитектуры; РААСН).

Эти нормы и правила распространяются на новое строительство, расширение, реконструкцию, техническое перевооружение, капитальный ремонт, производство строительных материалов, а также на изготовление строительных конструкций и изделий независимо от форм собственности и ведомственной принадлежности организаций, выполняющих эти работы.

Организация и выполнение работ в строительном производстве, промышленности строительных материалов и строительной индустрии должны осуществляться при соблюдении законодательства Российской Федерации об охране труда, а также иных нормативных правовых актов, установленных Перечнем видов нормативных правовых актов, утвержденных постановлением Правительства РФ от 27.12.2010 г. № 1160 «О нормативных правовых актах, содержащих государственные нормативные требования охраны труда» (с изменениями на 30.07.2014 г.).

## 1.2. Экологическая безопасность строительства

Под **экологической безопасностью в строительстве** понимается совокупность природных, социальных, технических, инженерных и других условий, обеспечивающих экологический баланс в природе и защиту окружающей среды и человека от вредного влияния неблагоприятных факторов, которые вызваны антропогенным воздействием — строитель-

ством. Другими словами, это допустимый уровень воздействия негативных факторов строительства на человека и окружающую среду за определенный период.

Нормативную основу экологической безопасности в строительстве представляет Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

Важно отметить, что неблагоприятное воздействие не может быть исключено полностью, поэтому законодательство в этой области призвано минимизировать отрицательное воздействие на окружающую среду.

Экологическая безопасность строительных технологий обеспечивается следующими способами:

1) в виде предотвращения негативного влияния на социальную среду, т.е. путем уменьшения влияния результатов строительства на памятники архитектуры, а также на изменение ландшафта;

2) в виде благоприятного воздействия на грунтовую среду, например, разрыхление почвы, надлежащее устройство грунтовых оснований на строительных площадках, минимизация взрывных работ;

3) в виде устранения воздействия на водную среду путем предотвращения загрязнения поверхностных и подземных вод, запрета применения химических добавок, очистки водостоков на строительных площадках;

4) в виде воздействия на воздушную среду путем предотвращения задымленности воздуха при сжигании мусора, складирования материалов, уменьшения токсичных выделений объектов строительства;

5) в виде воздействия на растительность: запрет уничтожения растительного слоя грунта, кустов, деревьев;

6) в виде влияния на безопасность человека, например путем запрета использования опасных материалов и составов.

Эксплуатируемые и строящиеся подземные сооружения являются зонами повышенного риска, и в случае возникновения аварийной ситуации велика вероятность частичного или полного их разрушения, приводящего к человеческим жертвам и большим материальным потерям. Кроме того, подобные аварийные ситуации представляют серьезную опасность для находящихся рядом инженерных сооружений и коммуникаций, а также для окружающей среды.

## Глава 2. АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ В ГЕОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

### 2.1. Классификация аварийных ситуаций

**Авария** — внезапное общее или частичное повреждение оборудования, горных выработок, сооружений, различных устройств, сопровождающееся длительным (как правило, более смены) нарушением производственного процесса, работы участка или предприятия, сооружения в целом [3].

Под аварией при строительстве обычно понимают, например [4], «серьезное повреждение или разрушение строящегося либо построенного сооружения или его части, а также конструкций рядом расположенных зданий и инженерных коммуникаций».

По степени наносимых убытков и размерам разрушения все аварии можно разделить на 2 категории:

1) *крупные* — охватывающие все сооружение и приводящие к прекращению его строительства или эксплуатации на длительный период времени;

2) *местные* — приводящие к разрушениям сооружения только на отдельных участках. Последствия таких аварий могут быть ликвидированы в короткие сроки.

Виды и причины аварий во многом определяются типом подземного сооружения и способом его возведения. Так, при *открытом способе* строительства аварии обычно связаны с разработкой котлованов и качеством ограждающих конструкций; при *закрытом* — виды аварий более разнообразны, а их причины многочисленны. При этом необходимо отметить, что причины, вызывающие аварии подземных сооружений, а также окружающей застройки и прилегающих инженерных коммуникаций, могут возникать в течение всего цикла существования сооружения — начиная с этапа инженерно-геологических изысканий и заканчивая его выводом из эксплуатации.

Причины аварий при строительстве подземных и заглубленных сооружений можно классифицировать, объединив в следующие группы:

— *ошибки при изысканиях*, возникающие в основном из-за неполного объема разведочных работ и геотехнических исследований, а также из-за неадекватной оценки геотехнической ситуации;

— *ошибки при проектировании*, вызванные принятием неудачных конструктивных и технологических решений, несоответствием расчетных схем конструкций действительности, нарушением требований правил и норм;

— *ошибки при строительстве*, обусловленные низким качеством работ, использованием дефектных материалов и изделий, нарушением проектных параметров и требований технических заданий;

— *ошибки при эксплуатации*, связанные с несвоевременным и недостаточно полным обследованием, ремонтом и реконструкцией сооружения, нарушением штатных режимов вентиляции, освещения, водоотвода, правил безопасной эксплуатации.

Причинами аварий могут также быть:

— ошибки, вызванные недостаточной квалификацией или небрежностью в работе изыскателей, проектировщиков, строителей и эксплуатационного персонала;

— нарушение режимов и норм, установленных правилами безопасности, инструкциями, руководствами, нормативными документами;

— несвоевременное проведение плановых осмотров и ремонтов;

— конструктивные недостатки оборудования, его недостаточная надежность, несоответствие материалов и оборудования требованиям ГОСТ.

Кроме вышеперечисленных причин к авариям могут привести: стремления к максимальной экономии и прибыли; неоправданное повышение скорости строительства; агрес-

сивность окружающей среды; недостаточная согласованность между проектировщиками, строителями и эксплуатационниками; стихийные природные явления (землетрясения, лавины, наводнения).

Аварии подземных и заглубленных сооружений обычно происходят как следствие комплекса взаимосвязанных причин, часто вытекающих одна из другой. Им всегда предшествует аварийная ситуация, возникающая вследствие отклонения от проектных решений, требующего изменений производства работ, принятие которых может привести к аварии.

## 2.2. Аварии при открытом способе строительства

Открытый способ строительства подземных сооружений всегда связан со вскрытием земной поверхности, т.е. с разработкой и устройством котлованов. При этом могут возникнуть различные нештатные и аварийные ситуации, нередко приводящие к крайне нежелательным последствиям. Как правило, причиной подобных ситуаций являются превышающие прогнозы, деформации отдельных областей окружающего котлован грунтового массива, что в некоторых случаях может вызвать потерю устойчивости системы ограждающая конструкция — грунтовой массив и, как следствие, потерю устойчивости и прочности расположенных в непосредственной близости от места аварии фундаментов зданий и сооружений.

Кроме того, непрогнозируемые деформации прилегающего к котловану грунтового массива могут привести к недопустимым осадкам зданий окружающей городской застройки, элементов систем инженерных коммуникаций, а также пролегающих рядом автомобильных дорог и железнодорожных путей.

Непременное условие исключения аварий при подземном строительстве — наличие максимально полной и достоверной информации о районе строительства и прилегающих территориях.

Особенно важной является *информация о результатах инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий*. Ошибочная информация или ее недостаток могут в значительной мере способствовать формированию на строительной площадке неблагоприятных условий, способствующих возникновению аварийной ситуации.

При проведении инженерных изысканий в условиях городской застройки необходимо уделять *особое внимание истории использования района строительства, анализируя уже накопленную базу данных и внимательно изучая архивные материалы*. Очень часто это позволяет установить не обнаруженные при изысканиях полости или жесткие включения естественного и техногенного происхождения: подвалы, колодцы, остатки старых фундаментов, неэксплуатируемые инженерные коммуникации и т.п., которые могут значительно осложнить возведение ограждающих конструкций стен котлованов. Подобные включения в процессе строительства могут помешать погружению шпунта до проектных отметок или устройству качественных стен в грунте.

Не менее важным требованием при проведении инженерных изысканий также является *подробное исследование строения и свойств породного массива на прилегающих к котловану территориях*. Такие исследования особенно важны при устройстве анкеров, при разработке котлованов рядом с реками или водоемами, при строительстве подземных сооружений на склонах или в непосредственной близости от них.

Проведение недостаточно подробных инженерно-геологических исследований за пределами строительной площадки часто приводит к тяжелым последствиям. В качестве примера можно привести строительство здания, подземная часть которого возводилась в скальных грунтах (рис. 2.1).

Вследствие недостаточно подробного изучения геологической обстановки за пределами строительной площадки не было принято во внимание падение слоев в сторону кот-

лована, а также наличие плоскости скольжения по тонкому слою вулканических глин. Игнорирование указанных факторов вызвало после начала разработки котлована развитие оползня по плоскости скольжения, что привело к недопустимым деформациям земной поверхности и вызвало трещинообразование в конструкциях зданий на прилегающей к району строительной площадке территории в радиусе до 60 м от котлована.

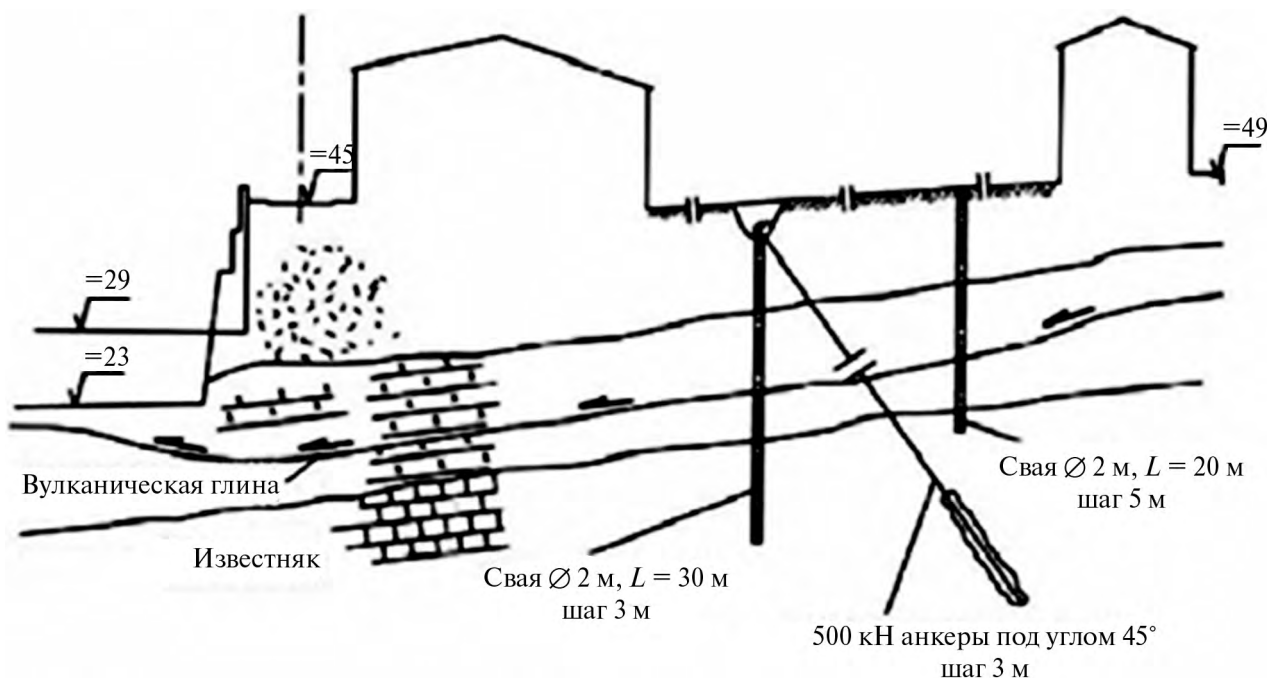


Рис. 2.1. Мероприятия по стабилизации активизированного котлованом оползня в Лиссабоне [5]

Особое внимание при проведении инженерных изысканий необходимо уделять *исследованиям гидрологической обстановки* в районе строительства. Необходимо тщательно изучать режимы фильтрации на обширных прилегающих территориях, обязательно привлекая уже существующие базы данных гидрологических изысканий. Недооценка влияния гидрологических условий при устройстве котлованов часто является причиной возникновения серьезных аварий, обусловленных гидравлическим выпором грунта, который приводит к недопустимым деформациям ограждающих конструкций.

При проведении инженерных изысканий особое место занимают геотехнические исследования грунтов, в частности определение их физико-механических характеристик. Ошибки в исследованиях свойств, определяющих деформирование и прочность грунтов породного массива в районе строительства, могут повлечь за собой катастрофические последствия и быть основными причинами самых серьезных аварий. Особенно это касается исследований слабых водонасыщенных глинистых грунтов, возведение подземных и заглубленных сооружений в которых связано с большими техническими сложностями и часто сопровождается аварийными ситуациями.

Помимо проведения подробных инженерных изысканий до начала работ по проектированию устройства котлованов необходимо выполнить обследования зданий и сооружений окружающей городской застройки, а также имеющих сетей инженерных коммуникаций. Требуется документально зафиксировать техническое состояние элементов конструкций обследуемых объектов, а также определить величины допустимых осадок их фундаментов.

Не меньшую роль при возникновении аварийных ситуаций вследствие неточностей, допущенных при проведении изысканий, играют ошибки, допущенные при *проектировании или в процессе строительных работ*.

Ошибки на стадии проектирования и устройства распорных систем, ограждающих конструкций котлована встречаются достаточно часто и являются причиной серьезных аварий. Наглядной иллюстрацией может служить ошибка, связанная с конструированием обвязочных поясов распорной системы, допущенная при устройстве котлована подземной автостоянки (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Сдвиг обвязочных поясов вдоль шпунта более чем на 600 мм [6]

Разработка котлована глубиной 8,1 м осуществлялась в моренных глинах. Ограждение стен котлована представляло собой комбинированную конструкцию из шпунта и двутавров, укрепленную трехъярусной распорной системой. В одном из углов котлована, где были установлены угловые распорки, обвязочные пояса не были замкнуты. Вследствие этого продольные усилия, передаваемые распорками на обвязочные пояса, воспринимались только сварочными швами, соединяющими пояса со шпунтом. Поскольку прочность швов оказалась недостаточной, произошло продольное смещение обвязочных поясов вдоль стены более чем на 60 см, что повлекло за собой перемещение противоположной стены котлована. Это в свою очередь вызвало осадки дорожного полотна и деформации газопровода, трассы которых проходили в непосредственной близости от котлована.

Другим примером может служить авария котлована, разрабатываемого в слабых водонасыщенных грунтах при строительстве центрального сервисного тоннеля, возводимого открытым способом (рис. 2.3).

Котлован устраивался на насыпной территории и разрабатывался до глубины 16 м. Ограждение котлована, состоящее из шпунта и прокатных профилей, должно было крепиться распорками в 4 яруса. Так как величина заглубления ограждения ниже дна котлована составляла всего лишь 3 м, то для обеспечения устойчивости ограждения в дне котлована способом струйной цементации была устроена грунтоцементная плита толщиной 2,5 м. Учитывая возможность всплытия плиты, ее укрепили двумя рядами промежуточных стоек, заглубленных в аллювиальный слой и работающих на выдергивание. Несмотря на эти конструктивные мероприятия, при разработке котлована до уровня четвертого яруса распорок произошел гидравлический выпор центральной части плиты, повлекший за собой ее излом на длине около 50 м. Выпор плиты привел к выдергиванию стоек и изгибу распорок. В результате произошли недопустимое смещение элементов ограждения внутрь котлована и обрушение его стенок.



Эта авария представляет особый интерес. Как показал анализ, причинами, ее вызвавшими, был ряд допущенных при строительстве, не очень значительных, не представлявших опасности отклонений от проекта, суммарное воздействие которых на поведение конструкции и привело к катастрофическим последствиям.

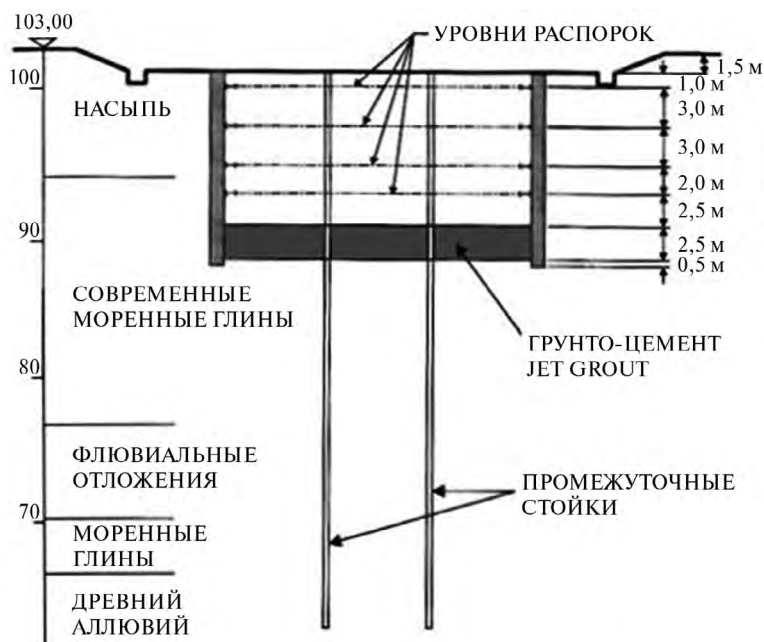


Рис. 2.3. Схема котлована центрального сервисного тоннеля [7]

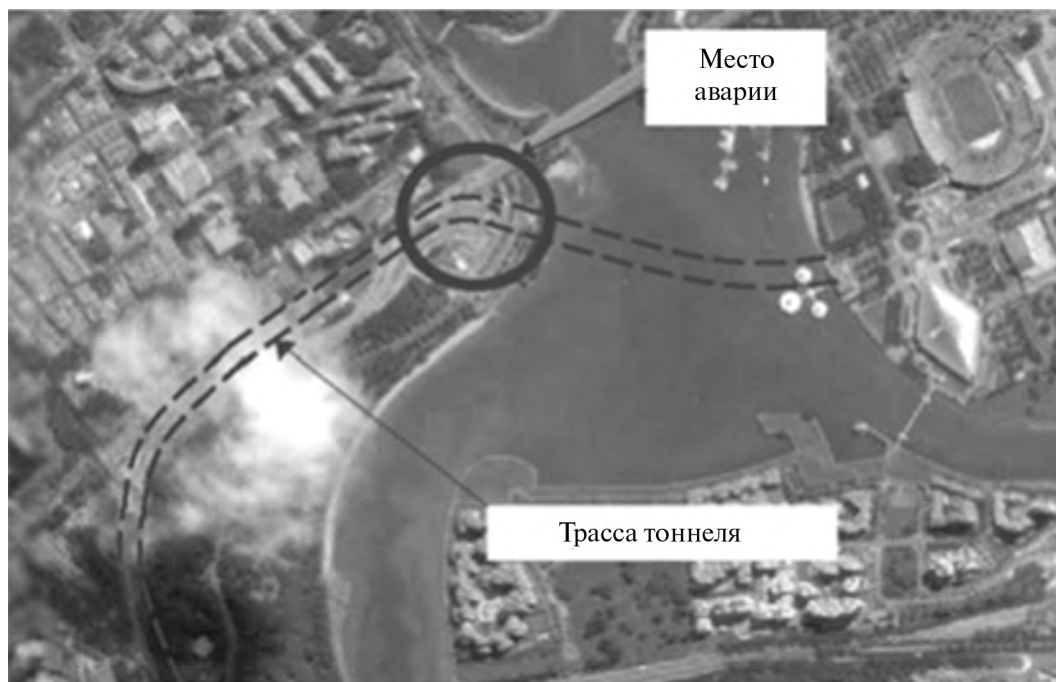
Серьезные аварии могут быть также вызваны ошибками, допущенными при проектировании: неправильным выбором модели поведения грунта; некорректно выполненными расчетами или ошибками при конструировании элементов крепления котлована. Примером может служить крупная авария при строительстве одного из транспортных тоннелей (рис. 2.4, а). Авария случилась на участке тоннеля, сооружаемого открытым способом и примыкающего к шахтному стволу, из которого дальнейшая проходка тоннеля должна была осуществляться с помощью щита под руслом реки. Ограждающее устройство котлована выполнялось способом стена в грунте, толщина которой составляла 0,8 м. Стены котлована глубиной 33 м крепились с помощью десяти ярусов металлических распорок и двух распорных грунтоцементных плит, которые в свою очередь укреплялись рядом промежуточных стоек. Грунтоцементные плиты сооружались с применением струйной технологии. Верхняя плита являлась временной и устанавливалась на срок до монтажа распорок девятого яруса, после чего планировалось ее удаление. Стена в грунте и стойки заглублялись в слой древнего аллювия на 5–10 м. Схема крепления котлована представлена на рис. 2.4, б и 2.5. На рис. 2.5 показана инженерно-геологическая обстановка в районе строительной площадки, характеризующаяся наличием мощного слоя слабых водонасыщенных моренных глин.

Авария случилась в процессе демонтажа верхней грунтоцементной плиты и подготовительных работ к установке последнего нижнего яруса распорок. Котлован к этому времени был разработан на глубину около 30 м. Разрушение ограждения котлована началось с потери несущей способности распорной системы на длине более 100 м, произошло очень быстро и привело к разрушению стены в грунте (рис. 2.6). В результате пострадала прилегающая к тоннелю территория в радиусе 50 м от места аварии, включая часть проходящей мимо автомагистрали.

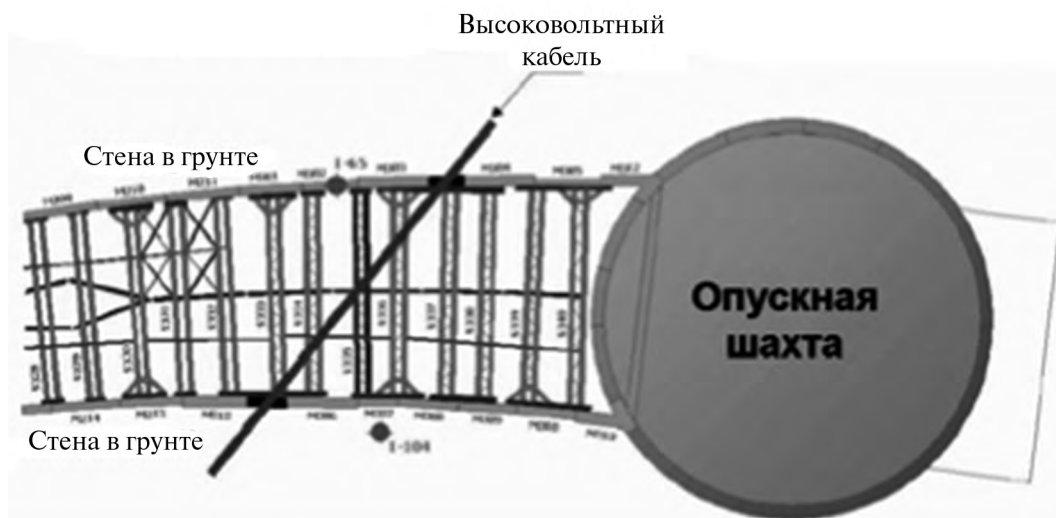
Анализ аварии показал, что она произошла из-за двух допущенных при проектировании ошибок:

1) из-за выбора используемой в расчетах неадекватной модели поведения грунтов и неучета наличия фильтрации в грунтах и их консолидации, что привело к занижению величины нагрузки, действующей на ограждение котлована;

2) из-за неверного проектирования узлов соединения распорок и обвязочных поясов 9-го яруса и конструирования распорной системы, не способной перераспределять усилия в процессе ее разрушения.



а



б

Рис. 2.4. Аварийный участок тоннеля рядом с шоссе Никол Хайвей (Сингапур, 2004 г.) [8]:  
а — место аварии; б — схема крепления котлована

Еще одной причиной аварий при устройстве котлованов является *перепроектирование ограждающей конструкции в процессе строительства*. Характерный пример, иллюстрирующий подобную ситуацию, — авария, случившаяся с ограждением котлована глубиной 15 м, которое сооружалось способом стена в грунте, с толщиной стены 0,8 м (рис. 2.7). Инженерно-геологическое строение строительной площадки характеризовалось наличием слоев насыпи, четвертичных послеледниковых (Ia) и доледниковых (Ib) суглинков, третичных переуплотненных глин (рис. 2.7, а) с перемежающимися прослоями супесей и суглинков (рис. 2.7, б).

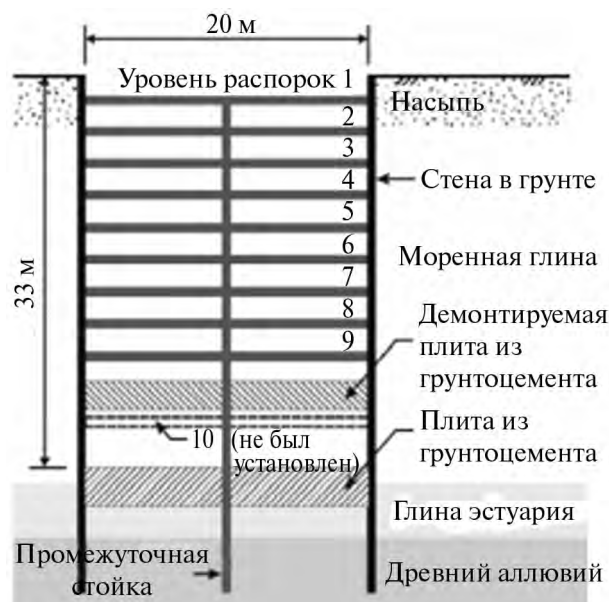


Рис. 2.5. Схема крепления котлована транспортного тоннеля у Никол Хайвей [9]

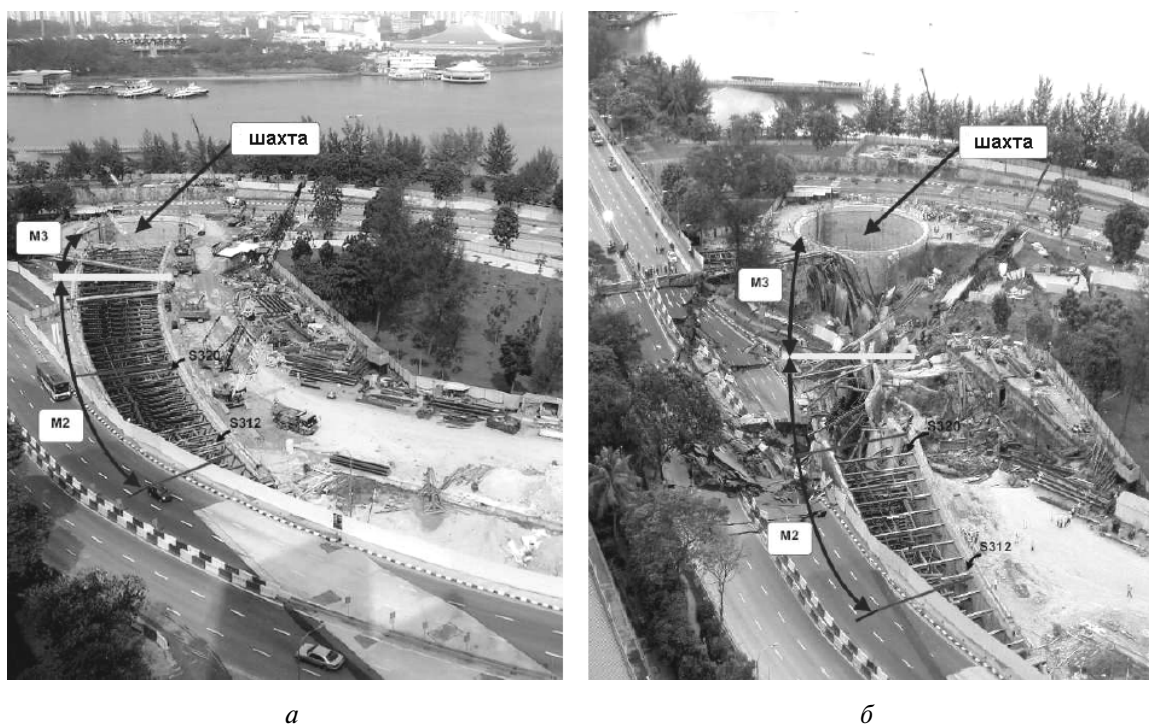


Рис. 2.6. Шоссе Никол Хайвей до (а) и после (б) аварии тоннеля [10]

В первоначальном варианте схема крепления стены предполагала устройство распорной системы по сохраняемой грунтовой берме на отм.  $-9,0$  м (см. рис. 2.7, а). Однако после устройства системы, в силу ряда обстоятельств, его конструкцию решили изменить. В соответствии с новым проектным решением было принято произвести установку наклонных металлических распорок стены, опираемых непосредственно на каркас центральной части возводимого здания. При этом ширина и высота грунтовой бермы были заметно уменьшены (см. рис. 2.7, б).

Изменения, внесенные в проект конструкции распорной системы, привели к появлению растущих горизонтальных перемещений верха стены, повлекших за собой просадки покрытия прилегающей автодороги и разрыв расположенной в районе котлована водопроводной магистрали, резко увеличили водонасыщение грунта. В процессе разработки

грунтовой бермы были отмечены течи через имеющиеся в стене трещины. Без остановки экскавации бермы был выполнен ремонт водопровода. Однако когда берма была полностью разработана и начались работы по укладке бетонной подготовки под фундаментную плиту, в стене на высоте 2 м от дна котлована появилась горизонтальная трещина, имевшая раскрытие до 5 мм. Были приняты меры по установке дополнительных распорок, но уже началось прогрессирующее разрушение стены, и в течение часа ограждение котлована разрушилось на длине 45 м.

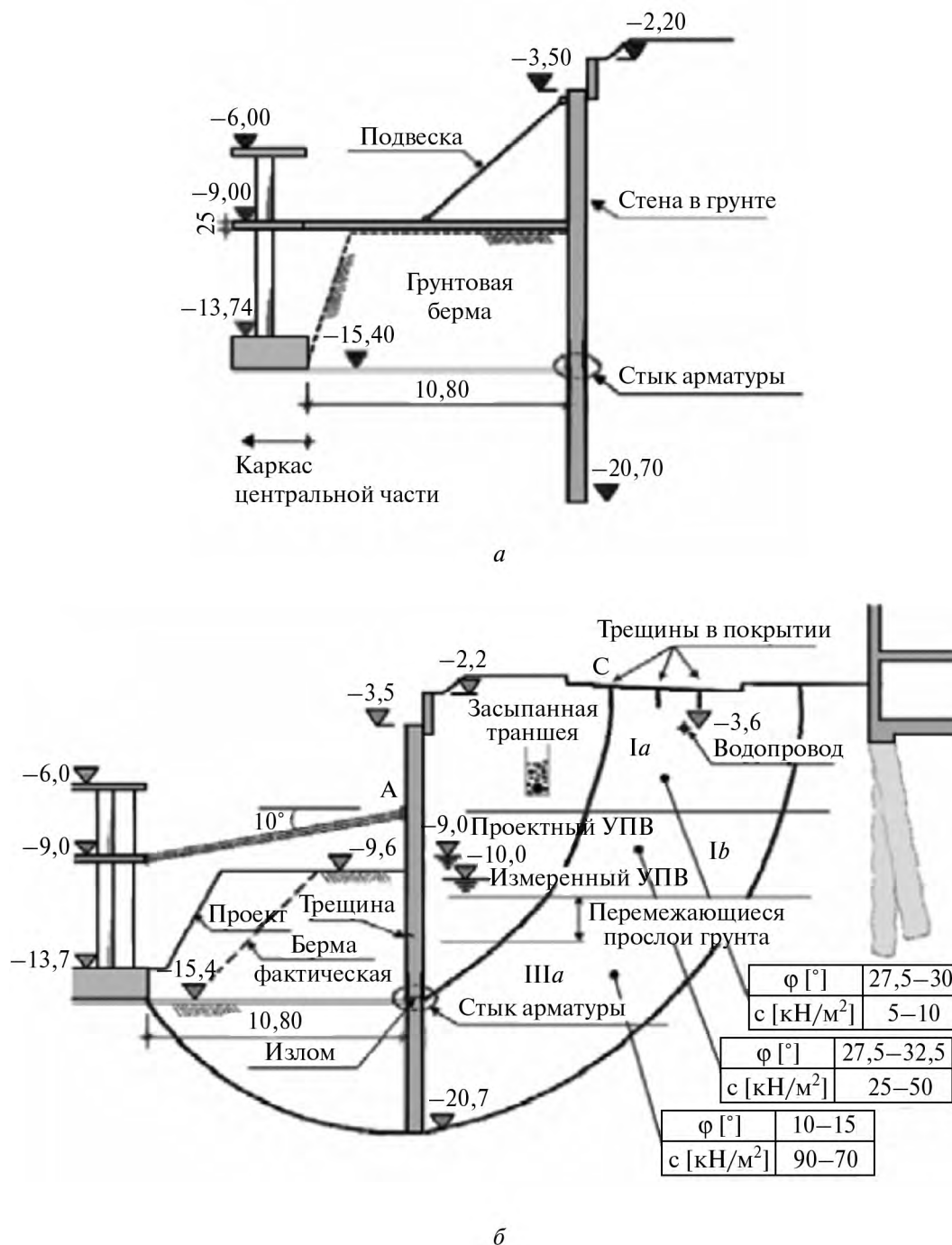


Рис. 2.7. Первоначальный (а) и измененный (б) проект крепления котлована в г. Варшаве [11]

Изучение аварии показало, что ее возникновение было обусловлено наличием следующих факторов:

- при изменении проекта конструкции распорной системы не был выполнен новый расчет армирования стены;
- уменьшение размеров грунтовой бермы привело к понижению устойчивости стены;

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)