

## КАТАСТРОФ МОЖНО ИЗБЕЖАТЬ ПРИ РЕАЛИСТИЧНЫХ АССИГНОВАНИЯХ НА ИЗЫСКАНИЯ: ИЗ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА



Перерасходы, задержки и тяжесть аварийных ситуаций при строительстве крупных объектов, особенно гидротехнических, бывают особенно серьезными. И одним из основных факторов, увеличивающих соответствующие риски, являются ошибочные или недостаточные результаты инженерных изысканий. Но уменьшить эти риски без надлежащего финансирования изысканий невозможно. Продолжая обсуждение данных проблем, снова обратимся к международному опыту. В представленной заметке акцент сделан на докладе консультантов Всемирного банка Э. Хозка и А. Пальмьери «Геотехнические риски в крупных строительных проектах» на 8-м Конгрессе Международной ассоциации по инженерной геологии и окружающей среде. Отмечается, что в последние десятилетия был предпринят ряд новаторских подходов в договорных соглашениях для крупных проектов гражданского строительства во многих странах мира, в результате чего были устранены некоторые из ограничений финансирования, но при этом почти не продвинулось вперед решение вопроса о сведении к минимуму одного из основных источников финансовой неопределенности – рисков, связанных с непредвиденными геологическими условиями.

### Аналитическая служба

Геотехнические риски в виде непредвиденных геологических условий особенно сильно влияют на управление затратами и сроками в случае крупных строительных проектов. Суммы перерасходов, связанные с соответствующими проблемами, огромны и требуют

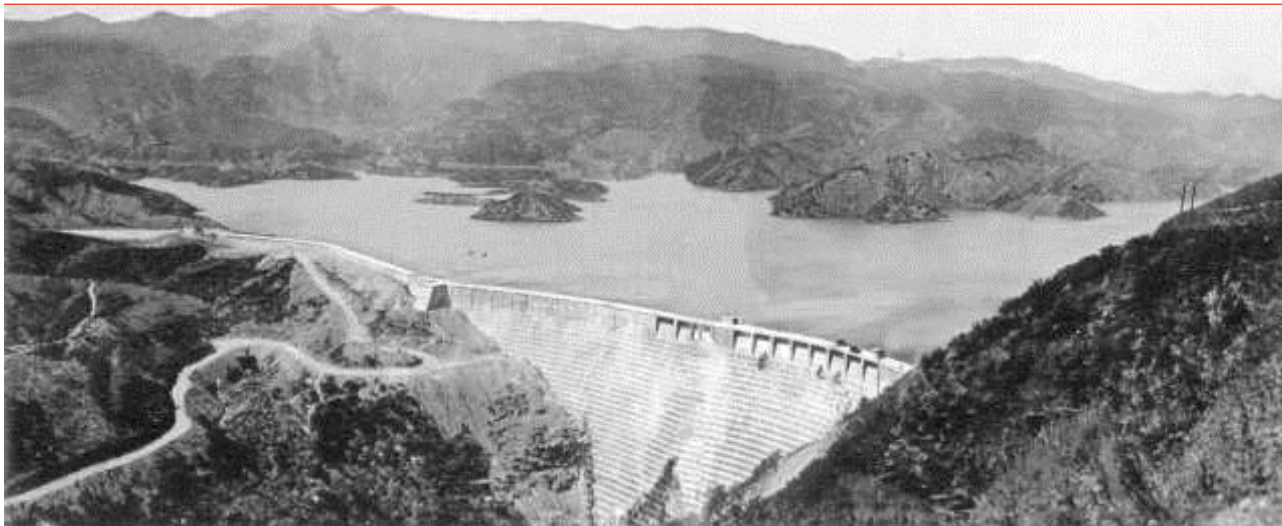
серьезного внимания. Одним из основных факторов, увеличивающих геотехнические риски, являются некачественные или недостаточные инженерные изыскания для строительства. Но для надлежащего выполнения таких исследований необходимы реалистичные ассигнования денег и времени. Продолжая обсуждение этой темы, снова обратимся к международному опыту.

Неполнота и ошибочность инженерно-геологических данных, используемых при проектировании, особенно часто приводят к катастрофам на гидротехнических объектах, поскольку на окружающие их породы воздействуют огромные гидростатические силы и изменения давлений. Одной из самых крупных инженерных катастроф в США был прорыв арочно-гравитационной бетонной плотины Сент-Фрэнсис, построенной в одноименном каньоне (называемом также каньоном реки Сан-Францискито) для обеспечения водой и электроэнергией г. Лос-Анджелеса. Строительство продолжалось с 1924 по 1926 год под руководством Вильяма Малхолланда – главного инженера и директора Департамента энергии и водоснабжения Лос-Анджелеса. Высота сооружения составила 62 м, длина – 210 м, толщина у основания – 52 м (рис. 1). Водохранилище содержало примерно 47 млн куб. м воды, которая подавалась в него по гигантскому акведуку длиной 372 км, построенному через горный массив Сьерра-Невада. Однако плотина была построена в ненадежном месте – вдоль геологического разлома, выходявшего на поверхность. Грунт под плотиной состоял в основном из обломочных пород и все время размывался и растворялся, поэтому почти сразу после окончания строительства фундамент плотины начал протекать, по ее стене также пошли трещины. В итоге 12 марта 1928 года в 23 часа 58 минут сооружение рухнуло (рис. 2). Всего из резервуара вылилось 45 млрд л воды. Волна высотой 38 м разрушила здание ГЭС ниже по течению, прошла 87 км по каньонам рек Сан-Францискито и Санта-Клара, затопив города Кастаик-Джанкшен, Филлмор, Бардсдейл, Санта-Пола и другие и унеся в Тихий океан огромное количество обломков, грязи и тел погибших. Всего погибло более 600 человек.

Последующие исследования установили, что плотина и в самом деле была сооружена на древнем разломе [1, 2].

И, хотя геологи заранее предупреждали Малхолланда об опасности строительства сооружения в выбранном им месте, суд не приговорил его ни к какому наказанию, объяснив это тем, что главный инженер не мог иметь всех данных о нестабильности скальных формаций под плотиной. Однако суд признал, что контроль правительственных организаций над возведением данного объекта был недостаточным, и рекомендовал, чтобы в будущем ответственность за проектирование и строительство крупных плотин не лежала только на одном человеке.





**Рис. 1.** Плотина Сент-Фрэнсис до катастрофы [3]



**Рис. 2.** Остатки плотины Сент-Фрэнсис после катастрофы [1]

Известен случай обрушения в 1956 году (также через два года после сдачи в эксплуатацию) значительного участка 16-километрового гидротехнического тоннеля Кемано, поставлявшего воду для работы турбин одноименной гидроэлектростанции на западном побережье Канады. Тоннель в месте аварии заполнился обломками пород, вывалившихся из образовавшейся в его своде каверны шириной более 20 м, которая сформировалась вдоль геологического разлома. Дело в том, что по обеим сторонам от разлома порода стала более рыхлой и была размыва, после чего и началось ее обрушение. Обошлось без человеческих жертв, но на удаление воды и обломков из тоннеля и на укрепление его свода было затрачено 2 млн долларов. А ведь вовремя выполненная надежная бетонная облицовка в зоне разлома обошлась бы гораздо дешевле, если бы

проектировщики с самого начала имели полную инженерно-геологическую информацию о трассе тоннеля и осознавали степень возможной опасности [4].

Общий размер ущерба составил примерно 68 млн долларов и 423 человека погибло в результате обрушения арочной бетонной плотины Мальпассе на реке Рейран на юге Франции, которое произошло 2 декабря 1959 года. Одной из основных причин катастрофы было названо то, что геологическое исследование для проектирования плотины было выполнено не в полном объеме из-за скудного финансирования. Кроме того, марка бетона не соответствовала даже известным инженерно-геологическим условиям (также в целях экономии средств). Поэтому после того, как рядом с сооружением были проведены взрывные работы, а длительные проливные дожди переполнили водохранилище, плотина не выдержала. Расположенный в 7 км город Фрежюс был практически полностью затоплен [1].

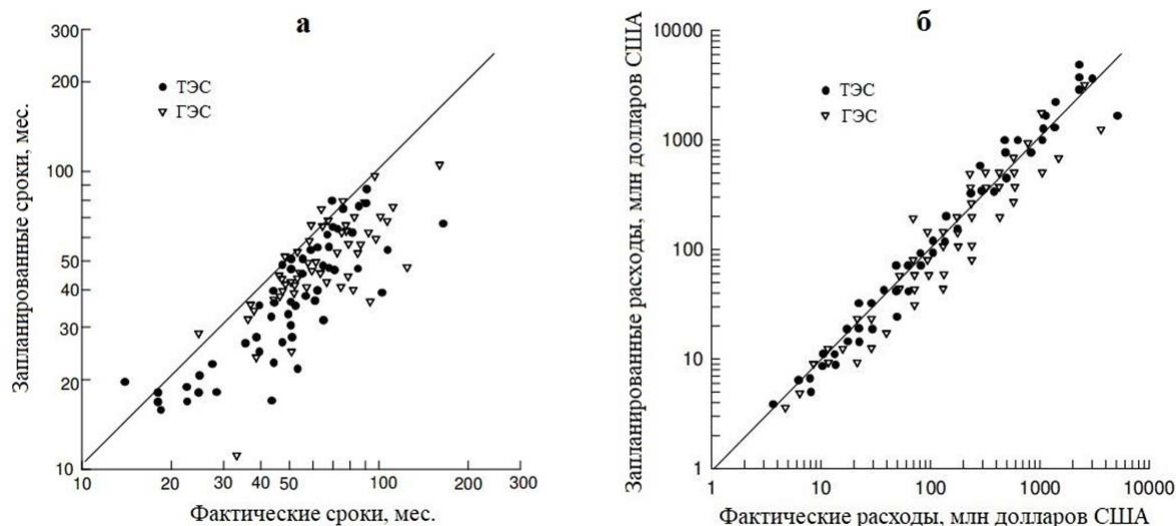
В последние десятилетия был предпринят ряд новаторских подходов в договорных соглашениях для крупных проектов гражданского строительства во многих странах мира, в результате чего были устранены некоторые из ограничений финансирования, но при этом почти не продвинулось вперед решение вопроса о сведении к минимуму одного из основных источников финансовой неопределенности – рисков, связанных с непредвиденными геологическими условиями. И это несмотря на то, что они по-прежнему являются одними из основных причин перерасходов и задержек при выполнении крупных строительных проектов. В свое время хорошей попыткой проанализировать эту ситуацию и найти из нее выход явился, например, доклад консультантов Всемирного банка Э. Хозка и А. Пальмьери «Геотехнические риски в крупных строительных проектах» [5], сделанный на 8-м Конгрессе Международной ассоциации по инженерной геологии и окружающей среде (МАИГ, IAEG) в Канаде в 1998 году. Напомним, что Всемирный банк (World Bank) является международной финансовой организацией, созданной с целью оказания финансовой и технической помощи развивающимся странам.

Наилучшим решением для минимизации перерасходов, задержек и аварийных ситуаций, по мнению указанных докладчиков, является определение геологических условий площадки будущего строительства с достаточной степенью детальности и на как можно более ранних этапах развития проекта. В подкрепление этой точки зрения они привели следующие примеры исследований данного вопроса.

Департаментом энергетики Всемирного банка были рассмотрены данные по возведению 64 тепловых электростанций и 71 гидроэлектростанции в 35 развивающихся странах (в основном Латинской Америки, Карибского бассейна и Африки) при финансировании за счет кредитов членов Группы Всемирного банка [5, 6]. Фактические итоговые расходы по этим проектам составляли от 3,2 до 1 782 млн долларов США в ценах 1996 года, сроки – от 1,2 до 14,4 лет. На рисунке 3 сопоставлены исходно предполагавшиеся и фактические сроки выполнения, а также сметные и реальные общие затраты. Прямые линии соответствуют равным запланированным и фактическим срокам или затратам. Видно, что большая часть точек смещена вправо относительно этих прямых, то есть большинство проектов пострадало от задержек и перерасходов. В среднем сроки завершения строительства рассмотренных гидроэнергетических объектов были на 28% длиннее запланированных, а итоговые затраты оказались больше сметных на 27%. И многие из этих проблем были связаны с непредвиденными геологическими условиями.

Э. Хозк и А. Пальмьери в своем отчете [5] отметили, что на рисунке 3 представлена скорее средняя ситуация в строительной и горнодобывающей отраслях, поскольку при построении этих графиков не были учтены данные по 10 проектам, столкнувшимся с действительно непредсказуемыми серьезными рисками, которые привели к очень большим

перерасходам и задержкам. Известны проекты, расходы и сроки выполнения которых возросли в несколько раз по сравнению с первоначальными оценками или которые вообще были заброшены.



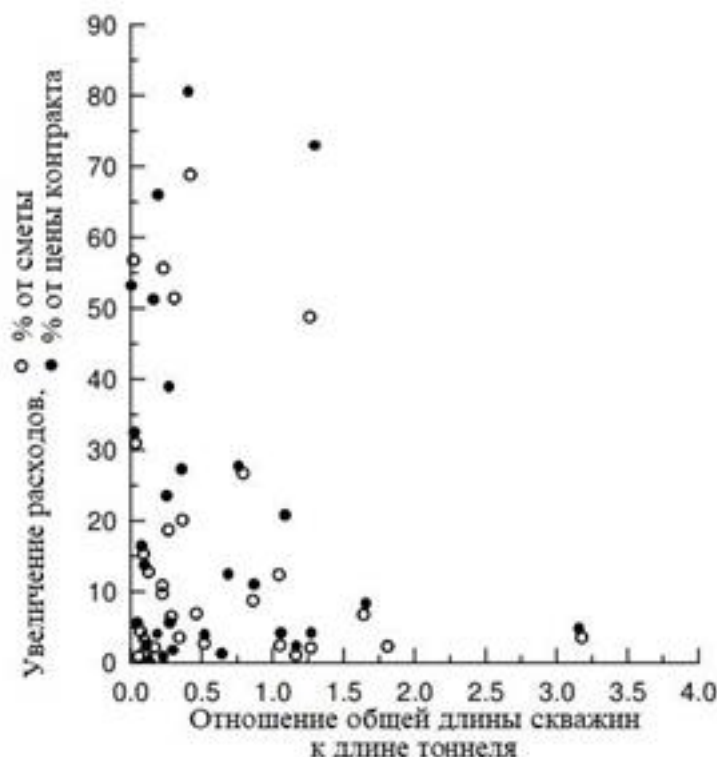
**Рис. 3.** Сопоставление изначально предполагавшихся и фактических сроков выполнения (а), а также сметных и итоговых общих затрат (б) при строительстве 125 энергетических объектов в развивающихся странах. Прямые линии соответствуют точкам равных запланированных и реальных сроков или затрат (по [5, 6])

Более ранние обзоры того же Всемирного банка [7] показали, что на предварительное технико-экономическое исследование (pre-feasibility study), технико-экономическое обоснование (feasibility study), рекогносцировочное исследование (reconnaissance study), гидрологические и гидрогеологические исследования до проведения инженерного проектирования тратилось в среднем менее 1% от общей стоимости проекта, что невероятно мало по сравнению с потенциальными перерасходами.

При этом Э. Хозк и А. Пальмери [5] вновь подчеркнули, что наиболее существенно на сроки реализации проектов и итоговые общие затраты могут повлиять изменения в составе и объемах строительных работ при столкновении с непредвиденными инженерно-геологическими условиями. То есть основная проблема, с которой сталкиваются проектировщики при строительстве автомагистралей, тоннелей, электростанций, плотин, высотных зданий и других крупных объектов, – это некачественность и/или недостаточность информации, полученной при инженерных изысканиях.

Например, данные Национального комитета США по тоннельным технологиям (USNCTT) [5, 8] по 84 проектам строительства тоннелей показали, что чем больше отношение общей длины скважин, пробуренных при изысканиях с отбором керна, к длине тоннеля, тем меньше рост итоговых затрат по сравнению с запланированными (и значит, меньше риск столкнуться с непредвиденными геологическими условиями) (рис. 4).





**Рис. 4.** Увеличение итоговых расходов по проектам строительства тоннелей в зависимости от относительной общей длины скважин, пробуренных при изысканиях (по [5, 8])

Э. Хожк и А. Пальмьери [5] дали следующие общие рекомендации по снижению геотехнических рисков, приводящих к задержкам, перерасходам и аварийным ситуациям (с учетом советов Американского общества гражданских инженеров – ASCE [9]):

- предварительное рассмотрение имеющихся инженерно-геологических данных с потенциальными подрядчиками, допущенными к тендерному конкурсу, до проведения торгов;
- включение в контракт всей доступной информации по инженерно-геологическим условиям площадки и «пакета разделения рисков» между подрядчиком и заказчиком;
- достаточная гибкость контракта, чтобы в проект могли вноситься необходимые изменения по мере узнавания новых деталей о грунтовом основании во время строительства;
- выделение достаточного количества денег и времени на проведение инженерных изысканий и на составление качественного отчета по их результатам;
- обеспечение создания резервного денежного фонда для покрытия возможных расходов в зависимости от предполагаемых рисков по проекту;
- выделение достаточных средств на продолжение исследований и выполнение геотехнического мониторинга во время строительства (и на этапе эксплуатации) построенных объектов;
- наличие (начиная с самых ранних стадий развития проекта) опытных высококвалифицированных консультантов в области инженерной геологии и геотехники для оценки потенциальных рисков, подготовки технических условий и программы изысканий, отчета по их результатам, а также для обеспечения надзора за проведением работ;
- разработка условий оплаты за единицы услуг, которые могут быть скорректированы с учетом реальных условий.

Заказчики должны понимать, что выполнение перечисленных выше условий, несомненно, поможет уменьшить задержки и итоговые затраты и предотвратить аварийные ситуации при строительстве и последующей эксплуатации объектов.

### **Список литературы**

1. Когда рушатся плотины... // Masterok. 04.09.2013. URL: <https://masterok.livejournal.com/1315177.html>.
2. Готт К.Ф. Заметки архивариуса. Крушение плотины Сент Френсис: США, март 1928 года // Сентенция: историко-философский альманах. Дата обращения: 03.03.2018. URL: <http://www.mnemosyne.ru/arhivarius/hflood-4.html>.
3. Разрушение плотины Сент-Фрэнсис, Калифорния, 1928 г. // CAWATERinfo. Дата обращения: 01.03.2018. [http://www.cawater-info.net/review/saint-francis\\_accident.htm](http://www.cawater-info.net/review/saint-francis_accident.htm).
4. Waltham T. Catastrophe: the violent earth. New York: Crown Publishers, 1978 [Уолтхэм Т. Катастрофы: неистовая Земля. М: Недра, 1982].
5. Hoek E., Palmieri A. Geotechnical risks on large civil engineering projects // Proceedings of the 8-th IAEG congress, Vancouver, Canada, 21–25 September 1998. International Association for Engineering Geology and the Environment, 1998.
6. Estimating construction costs and schedules – experience with power generation projects in developing countries: World Bank technical paper № 325. The World Bank, 1996.
7. Geological complications and cost overruns: a survey of Bank-financed hydroelectric projects. Energy Department note № 61. The World Bank, 1985.
8. Geotechnical Site Investigations for Underground Projects. Washington DC: U.S. National Committee on Tunnel Technology, National Academy Press, 1984.
9. Geotechnical baseline reports for underground construction, guidelines and practices // Geotechnical Reports of the Underground Technology Research Council. American Society of Civil Engineers (ASCE), 1997.