

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ
СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ПРОМЫШЛЕННОЕ
И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»**

(г. Минск, БНТУ — 24.05.2011)

УДК 72.03.(450)

К ВОПРОСУ О СТАБИЛИЗАЦИИ ПИЗАНСКОЙ БАШНИ

БУДЫКО Н.С., ЧОРНОШТАН П.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Соборный ансамбль в Пизе один из самых известных в мире. Его строительство относится к XI-XIV в.в., т.е. к тому времени, когда Пиза была могущественной морской республикой.

Композиция пизанского ансамбля состоит из нескольких построек: собора, колокольни, баптистерия, склепа. Громадный пятинефный собор в виде латинского креста с фасадами, облицованными белым и черным мрамором, с многоярусными аркадами в полной мере отражает особенности пизанской архитектуры. В этом же стиле построена и колокольня. Она представляет собой цилиндрическую полукаменную конструкцию, окруженную шестью ярусами галерей, образованных аркадами, с внутренней винтовой лестницей и высотой в 179 футов, что соответствует примерно 54,5 м, при диаметре башни – 18 м.

Возведение колокольни начал в 1113 г. Бонано Пизанский. Башня начала клониться на юг почти в самом начале ее строительства, которое продолжалось с перерывами на протяжении нескольких веков.

К 1911 г. относится начало систематизированных измерений отклонения колокольни от вертикали и фиксация их со скрупулезной точностью. В 1938 г. была сделана первая попытка остановить крен сооружения. Для уплотнения почвы было решено закачать под фундамент башни бетон и жидкое стекло. Однако это не дало ожидае-

мого результата. В 1961 г. была предпринята еще одна безуспешная попытка остановить наклон кампанилы, который каждый год увеличивался примерно на один миллиметр. К середине шестидесятых годов отклонение от вертикали по верху составило уже 5 метров 18 сантиметров, что вызывало образование трещин в стенах колокольни. Для спасения башни был объявлен международный конкурс, по условиям которого нужно было укрепить колокольню, уменьшив ее наклон до минимума, но не выравнять полностью, иначе Пиза лишилась бы своей главной достопримечательности. В 1990 г. правительство Италии создало международный комитет по сохранению и стабилизации «падающей» башни.

Исследования башни, отдельных ее частей, грунтов под ней выявили, что основанием для кампанилы служат три слоя формирования грунта (рис. 1). Горизонт А представляет собой мягкие песчаные и илистые грунты, горизонт В состоит из морской глины и горизонт С – слой плотного морского песка большой толщины. Место соприкосновения горизонтов А и В имеет вогнутость под башней. Компьютерный анализ датчиков давления основания башни на грунты показал, что с южной стороны давление составляет около 1000 кПа, в то время как с северной оно близко к 0 (рис. 1)

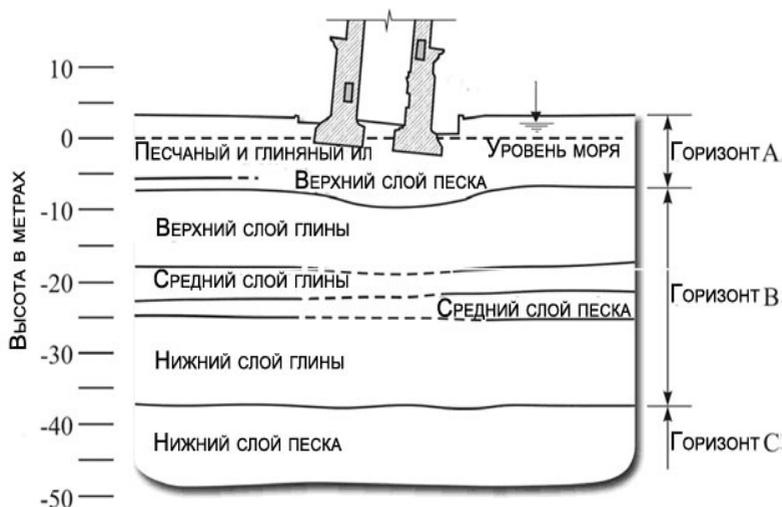


Рис. 1. Слои грунта в разрезе

Анализ точных измерений крена колокольни показал, что крен башни в течение XX столетия постоянно увеличивался. К 1990 г. ежегодное отклонение составляло около 6 секунд, что соответствует 1,5 мм на уровне верхнего карниза. Более того, выяснилось, что башня вращается. Сопоставление геодезических данных начала века и более поздних выявило следующее: центр постамента фундамента не перемещался в вертикальной плоскости относительно основания и подвижка башни осуществлялась на уровне первого карниза, где располагался центр вращения (рис. 2).

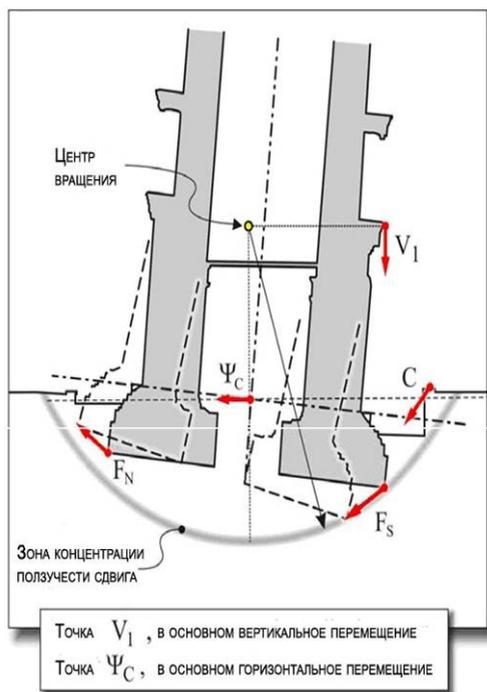


Рис. 2. Сопоставление геодезических данных

Полученные данные позволили выдвинуть четыре предположения:

1. Способ движения схож с феноменом «наклонной неустойчивости», а не с потерей несущей способности. «Наклонная неустойчивость» высокого строения проявляется на критической высоте, когда опрокидывающий момент, создаваемый малым увеличением

наклона, равен или превышает момент сопротивления, создаваемый фундаментом. В этом случае временно стабилизировать сооружение могут противовесы посредством снижения опрокидывающего момента.

2. Сдвиг основания фундамента происходит на уровне горизонта А, а не в нижележащих слоях, как предполагали раньше.

3. Наиболее вероятной причиной прогрессирующего сезонного вращения, помимо ползучести грунтов, являются колебания уровня грунтовых вод.

Анализ исследований изменений горизонта грунтовых вод (который находится в тесной взаимосвязи с уровнем близлежащего Тиренского моря), проводимых многие годы, подтвердил эту гипотезу. Было отмечено, что начало подвижек башни совпадает с резким повышением уровня грунтовых вод после каждого ливня.

На основании полученных данных была разработана система мероприятий по стабилизации фундаментов, которой предусматривалось два этапа работ. Первый включал в себя временные меры по стабилизации фундамента, второй - долгосрочные меры.

Временные меры предусматривали установку 600 тонн свинцовых грузов с северной стороны башни, что уменьшало опрокидывающий момент до десяти процентов и сокращение наклона на одну минуту. Второй этап мер предполагал окончательные работы, в основе которых лежало уменьшение наклона башни на полградуса, что позволило бы снизить давление на южной стороне. Наклон колокольни предполагалось уменьшить с помощью просверленных шурфов в точках рядом с северной стороной фундамента и непосредственно под ним. Метод, предложенный Террачиной еще в 1962 г, изучался на физических и математических моделях и путем крупномасштабных испытаний. Ситуация осложнялась опасностью раскола фундамента башни.

Отсутствие методики сверления грунта в критической ситуации потребовало разработки специального бура, который бы минимизировал повреждения грунта. Новая конструкция представляла собой полостебельный удлиненный шнековый бур диаметром 168 мм.

После пробной выемки грунта башня начала медленно вращаться на север. В июне 1999 г. угол вращения достиг величины в 80 секунд и сверление шурфов остановили, а башня продолжала вы-

равнивать свой наклон. К сентябрю 2008 г. наклон фундамента достиг состояния 1948 г.

Заключение: существует два варианта прогноза будущего пизанской башни: сохранение стабилизационного эффекта с небольшими коррективами на все время существования колокольни и второй, который не исключает действенность полученных результатов лишь в течение нескольких десятилетий, а затем отклонения пойдут по прежнему пути.

Выявление причин, вызывающих увеличение наклона пизанской башни и, в частности, сдвиг фундамента кампанилы, явилось очень важным открытием в деле стабилизации башни и легло в основу методик временной и долгосрочной стабилизации сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федотов, П.И. Афера «Пизанская башня» / П.И. Федотов. – М.: Граница, 2005. – 704 с
2. Burland, J. and Viggiani, C. The stabilization of the leaning tower of Piza. Soils and Foundations/John Burland and Carlo Viggiani 2003. - Vol. 43, pp. 63-80
3. Terracina, F. Foundations of the leaning tower of Piza/Franco Terracina. Geotechnique, 1962. – Vol. 12, pp. 336-339
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Leaning_Tower_of_Pisa
5. http://www.geoengineer.org/casehistories/volume/volume1/issue3/IJGCH_1_3_2.pdf