

ДВОРЕЦ МЭЙОР СОТТО – ПРОЕКТ И РАБОТА КОНСТРУКЦИЙ УСИЛЕНИЯ И ПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

А. ПИНТО, С. ФЕРРЕЙРА, В. БАРРОС, Р. КОСТА, П. ЛОПЕС, Д. ДИАС –
фирма «Tecnasol FGE – Fundações e Geotecnia S. A.», г. Амадора, Португалия.

Описаны работы по успешной реализации уникального геотехнического проекта – усилению памятника архитектуры – дворца Мэйор Сотто в столице Португалии Лиссабоне. Усиление сопровождалось крупномасштабными земляными работами для устройства многоэтажного паркинга и торгового центра под зданием. Все работы контролировались при помощи мониторинга и обследования конструкций.

ВВЕДЕНИЕ

Прогрессирующий рост стоимости недвижимости в центральной части Лиссабона при одновременном требовании со стороны общественности сохранить исторические сооружения стимулировали развитие способов укрепления и сохранения зданий и оснований уникальных памятников и применения подпорных сооружений, адаптированных к особенностям конкретных площадок [1]. В настоящей статье представлены материалы по усилению основания дворца Мэйор Сотто и проведению земляных работ на большую глубину для иллюстрации подобной ситуации. Главной причиной работ по выемке грунта объемом 150000 м³, главным образом лиссабонских миоценовых глин, было строительст-

во под землей 8-этажного сооружения площадью 7600 м², расположенного вокруг Мэйор Сотто – трехэтажного каменного здания площадью 900 м², построенного в начале XX в. Приведены главные ограничения и принятые решения, а также описание земляных работ и укрепления основания дворца.

1. ГЛАВНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

1.1. Архитектурно-строительные ограничения

Дворец Мэйор Сотто был построен в период между 1902 и 1906 гг. по проекту португальского архитектора Езекивиела Бандейры во французском классическом стиле с применением каменной кладки (рис. 1). В соответствии с новым проектом, который требовал

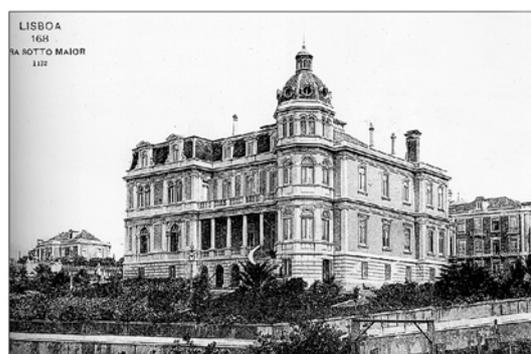


Рис. 1. Общий вид дворца на стадии завершения работ в котловане (слева) и в начале XX в. (справа)

© А. Pinto, S. Ferreira, V. Barros, R. Costa, P. Lopes, J. Dias, 2004

Internet: www.georec.spb.ru

создания котлована глубиной 25 м вокруг дворца, а также строительства центральной галереи под ним, дворец был усилен с внутренней стороны микросваями, с наружной – смежными железобетонными буронабивными сваями.

Согласно новому проекту дворец станет гостиницей, а его подземная часть будет использоваться в основном для паркинга и торгового центра.

1.2. Геологические ограничения

Земляные работы заключались, главным образом, в выемке лиссабонского миоценового грунта, состоящего из нескольких слоев глин (более жестких на глубине), песчаников и известняков. Дно котлована достигло олигоцена (рис. 2). Наличие грунтовых вод на глубине дна котлована потребовало устройства плитного фундамента.

1.3. Условия строительства

Участок земляных работ расположен в центре Лиссабона и окружен важными городскими магистралями (подобно Авеню Ф. П. Мело) и зданиями средних размеров, некоторым из которых уже почти по 100 лет (рис. 2). Наличие тоннеля лиссабонского метро под Авеню Ф. П. Мело, расположенного на 20 м выше уровня дна котлована, может считаться главным ограничением (рис. 9).



Начало земляных работ вокруг дворца

2. ПРИНЯТЫЕ РЕШЕНИЯ

2.1. Усиление дворца

В связи с тем, что каменной кладке дворца 100 лет и помещения низкие, внутренние стены были усилены микросваями, объединенными сеткой преднапряженных железобетонных ростверков (рис. 3).

Для передачи нагрузки использовались 80 микросвай диаметром 127×9 мм ($f_y=560$ МПа) с максимальной несущей способностью 600 кН. Железобетонные ростверки были связаны с каменными стенами парами стержней Gewi диаметром 32 мм с шагом 0,5 м. Предварительно-напряженные канаты в верхней зоне ростверков предназначались для того, чтобы сбалансировать постоянные вертикальные нагрузки. Половина предварительного напряжения была создана до начала откопки грунта с внешней части дворца.

Внешние стены усиливались с помощью смежных буронабивных свай диаметром 800 мм с шагом 1,0 м, связанных с каменными стенами с помощью бетонного ростверка. Свайная стена была выровнена с помощью торкрет-бетона толщиной 6 см, армированного одним рядом стальной сетки.

В соответствии с конфигурацией здания и расположением внутренних микросвай внешние сваи были связаны 6 уровнями преднапряженных кольцевых балок высотой 3 м. Балки отливались на грунте, а их отметки совпадали с отметками плит подземных перекрытий толщиной 0,425 м (рис. 4, 5 и 7).

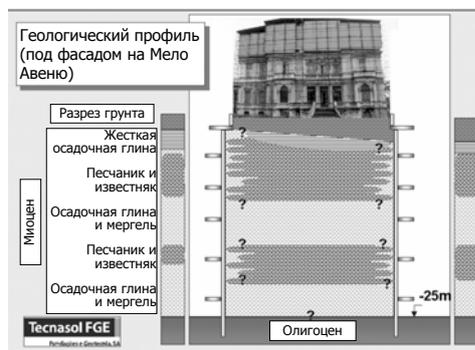


Рис. 2. Условия строительства и геологический профиль площадки

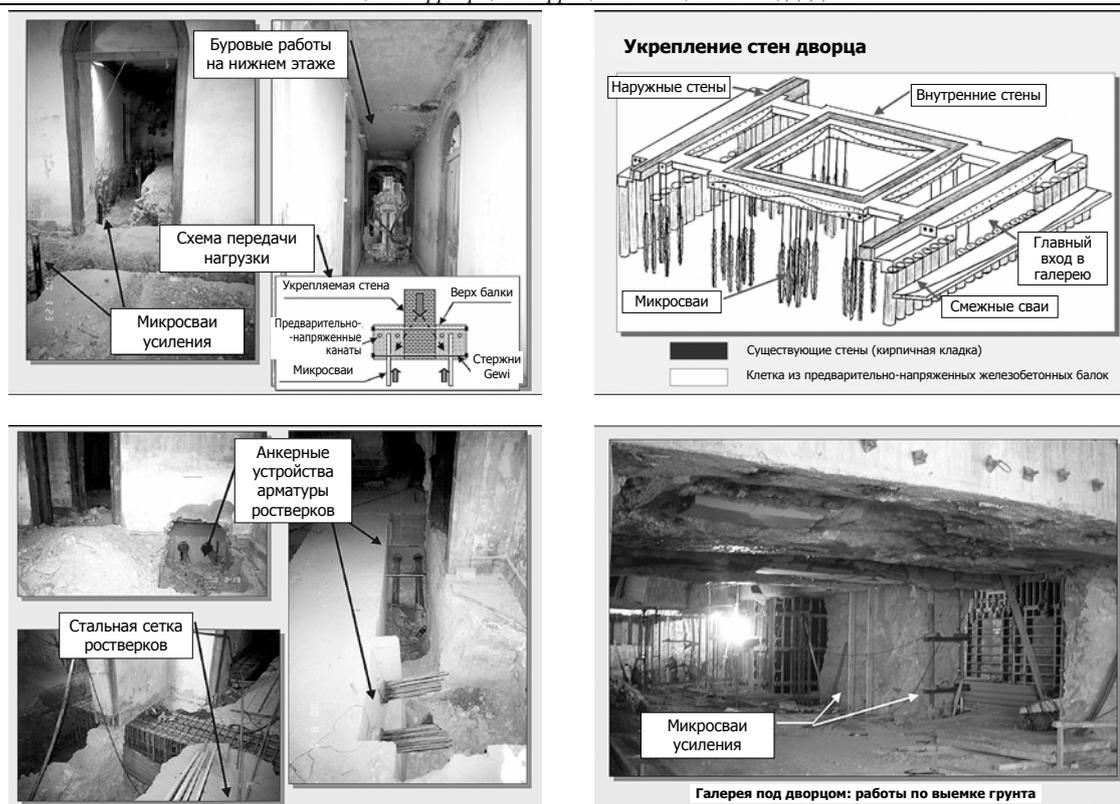


Рис. 3. Сетка из предварительно-напряженных железобетонных ростверков и вид котлована под дворцом

Величина предварительного напряжения была рассчитана так, чтобы воспринять нагрузку от веса дворца и давления грунта с помощью 2×27 стекловолоконных предварительно-напряженных канатов. Величина усилия предварительного напряжения составила 130 кН/м . Канаты не были забетонированы, чтобы создать повторное напряжение, если это потребуется по результатам анализа поведения дворца, выполняемого на основе данных мониторинга и обследования.

Чтобы обеспечить устойчивость дворца во время выемки грунта при строительстве центральной галереи под ним, земляные работы выполнялись только после устройства 8 подземных плит перекрытий вокруг дворца.

2. 2. Внешние стены

Стесненность котлована и конфигурация разноэтажного подземного сооружения с количеством этажей от 8 до 3 на глубине соответственно от 27 до 12 м, а также напряжен-

ный график работ в течение 12 месяцев потребовали принятия трех различных решений усиления. Для этого использовались: железобетонная стена в грунте толщиной $1,0 \text{ м}$ со стороны Авеню Ф. П. Мело, высотой $h^{\text{max}} = 27 \text{ м}$; стена в грунте толщиной $0,6 \text{ м}$ со стороны Мартенс Феррао Стрит, высотой $h^{\text{max}} = 27 \text{ м}$; смежные железобетонные буронабивные сваи диаметром $0,8 \text{ м}$ с шагом $1,0 \text{ м}$, выровненные с помощью торкрет-бетона, армированного одним рядом стальной сетки, со стороны Соса Мартинс Стрит высотой $h^{\text{max}} = 23 \text{ м}$ и толщиной $0,35 \text{ м}$; берлинская железобетонная стена, опирающаяся на микросваи, со стороны Палмейриас и Андалусской площади высотой $h^{\text{max}} = 18 \text{ м}$ (рис. 6 и 8).

Все подпорные сооружения поддерживались 935 временными грунтовыми анкерами с предварительной нагрузкой от 1000 до 600 кН и полной длиной от 15 до 42 м . Все анкеры были подвергнуты испытаниям на несущую способность: 868 – упрощенным испытаниям с двумя циклами нагрузки–разгрузки, и 67 – детальным испытаниям с тремя циклами

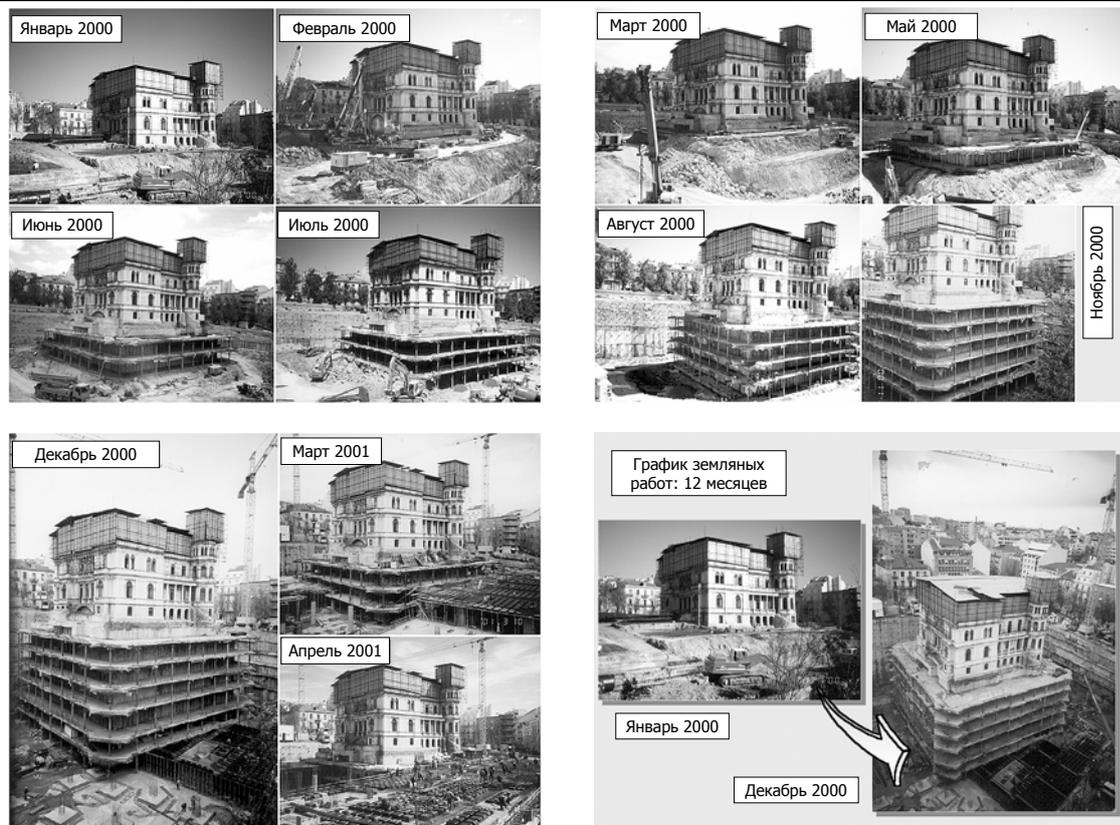


Рис. 4. Общий вид котлована и последовательность строительства плит вокруг дворца нагрузки–разгрузки с дополнительной установкой электрических мессдоз.

3. ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ

Численный расчет, обратный анализ и проект различных подпорных сооружений, включая все стадии разработки котлована, были выполнены методом конечных элементов с использованием программы Plaxis-V 7.11

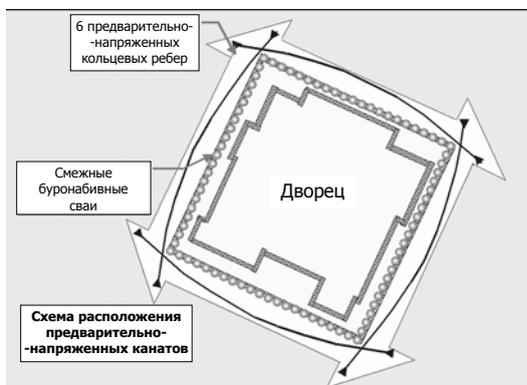


Рис. 5. Предварительно-напряженные кольцевые балки, связывающие смежные буронабивные сваи

(см. рис. 7). По проекту предварительно-напряженных кольцевых балок были приняты простые модели балок в сочетании с конечно-элементными реакциями.

4. ПЛАН МОНИТОРИНГА И ОБСЛЕДОВАНИЯ

Состояние дворца и подпорных сооружений контролировались по плану широкого мониторинга и обследования, включавшему:



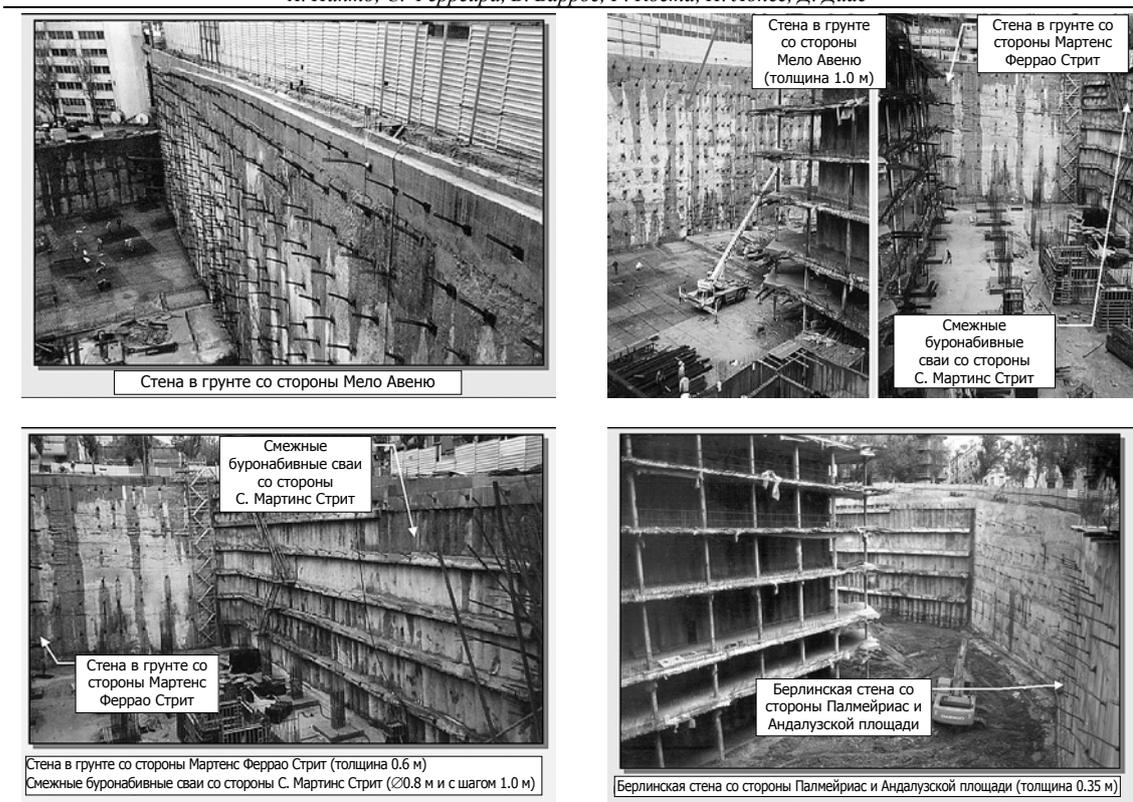


Рис. 6. Вид внешних стен на стадии завершения работ в котловане

топографические марки (31 высотная марка на окружающих улицах и зданиях и 28 отражающих маркеров на дворце (см. рис. 8) и на фасадах окружающих зданий, тоннеле метро

(рис. 9) и подпорных сооружениях), 12 приборов для измерения отклонения от вертикали на внутренних стенах дворца, 67 электрических мессдоз в грунтовых анкерах, 14 инкли-

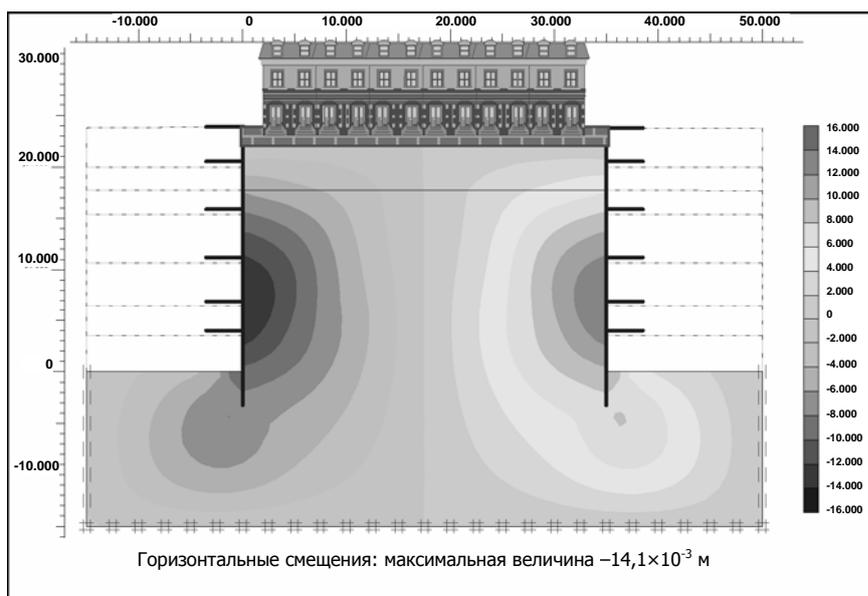


Рис. 7. Усиление внешних стен основания дворца: FEM горизонтальные смещения

нометров внутри подпорных сооружений (стены, сваи и микросваи берлинской бетонной стены) и 4 пьезометра.

Тип и расположение приборов выбирались так, чтобы имелась возможность одновременного считывания одних и тех же параметров различными приборами. При ведении внешних и внутренних (галерея под дворцом) земляных работ в котловане данные получали, по крайней мере, один-два раза в неделю.

Контроль и обследование конструкций укрепления основания, подпорных сооружений и окружающих зданий позволили оптимизировать решения по устройству подпорных сооружений, сократить количество элементов, особенно грунтовых анкеров, а также вести работу по графику и в безопасных условиях. Максимальная величина деформации фасадов дворца не превышала 15 мм, что почти равнялось предсказанному максимальному показателю FEM.

5. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

На рис. 9 представлены основные окончательные показатели измерений в конце процесса глубокой экскавации и работ по усилению основания дворца Мэйор Сотто.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Усиление основания дворца Мэйор Сотто и работы по устройству котлована доказали, что применение различных технических решений по усилению здания и применение подпорных сооружений оправдано уникальностью сложного проекта. Доказана также важность мониторинга и обследования конструкций усиления здания, подпорных сооружений и окружающих зданий.

Авторы выражают благодарность владельцу дворца за разрешение на публикацию этой статьи, а также группе надзора под руководством г. Фредерико Алмейда и г. Ан-

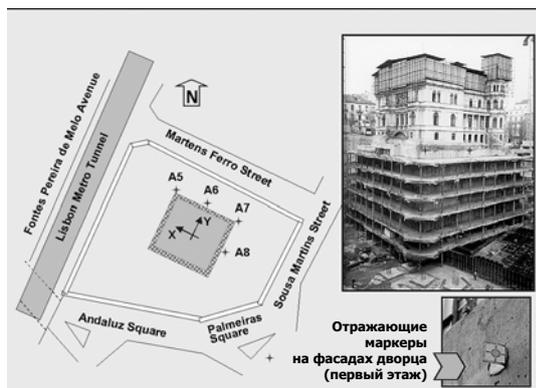


Рис. 8. Мониторинг и обследование (некоторые выявленные смещения фасадов дворца)

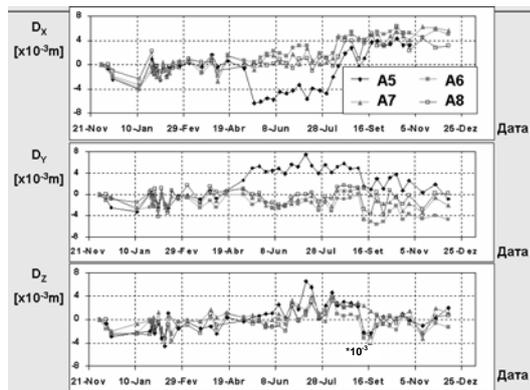


Рис. 9. Мониторинг и обследование тоннеля метро Лиссабона и основные окончательные показатели

Основные показатели

Внутреннее усиление основания дворца

Микросваи №80 $\varnothing 127 \times 9 \text{ м}$	62 штуки	744 метра
Стержни Gevi $\varnothing 32 \text{ м}$	244 штуки	960 метров
Усилие предварительного напряжения верхних балок		851 780 kNm

Наружное усиление основания дворца

Снежные буронабивные сваи $\varnothing 0.8 \text{ м}$ с шагом 1.0 м	133 штуки	3 417 метров
Предварительно-напряженные кольцевые балки		10 800 000 kNm

Усиление наружных стен здания

Стены в грунте (толщина 1.0 м)		2 706 м ²
Стены в грунте (толщина 0.6 м)		2 580 м ²
Снежные буронабивные сваи $\varnothing 0.8 \text{ м}$ с шагом 1.0 м	54 штуки	1 296 метров
Временные грунтовые анкеры	935 штук	19 431 метр

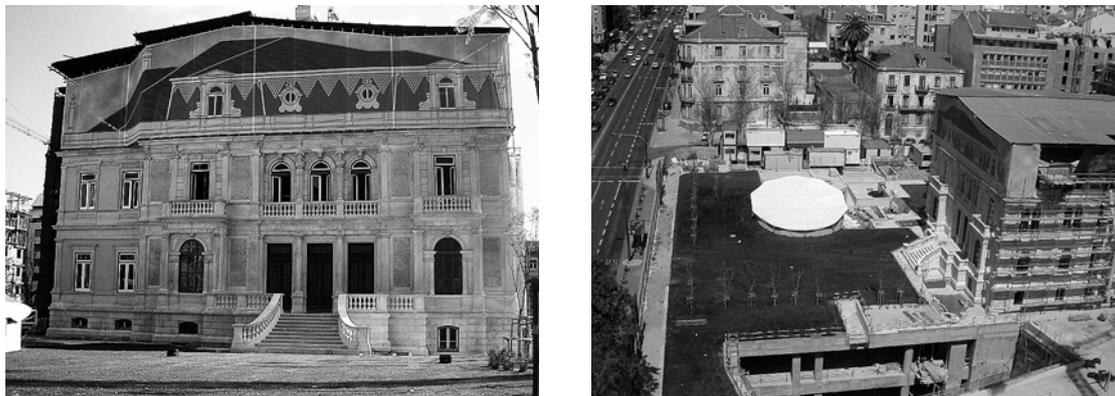


Рис. 10. Общий вид дворца на заключительной стадии работ

тонио Пинело (фирма *ÁREA CHAVE*). Авторы также отмечают, что представленная работа была выполнена многопрофильной группой сотрудников *Tecnasol FGE* с привлечением более 40 экспертов разных специальностей.

Список литературы

1. *Pinto A., Ferreira S. and Barros V.* Underpinning solutions of historical constructions. *Historical Constructions 2001-3rd International Seminar*, November 2001, University of Minho – Guimarães, Consolidation and Strengthening Techniques, pp. 1003–1012.