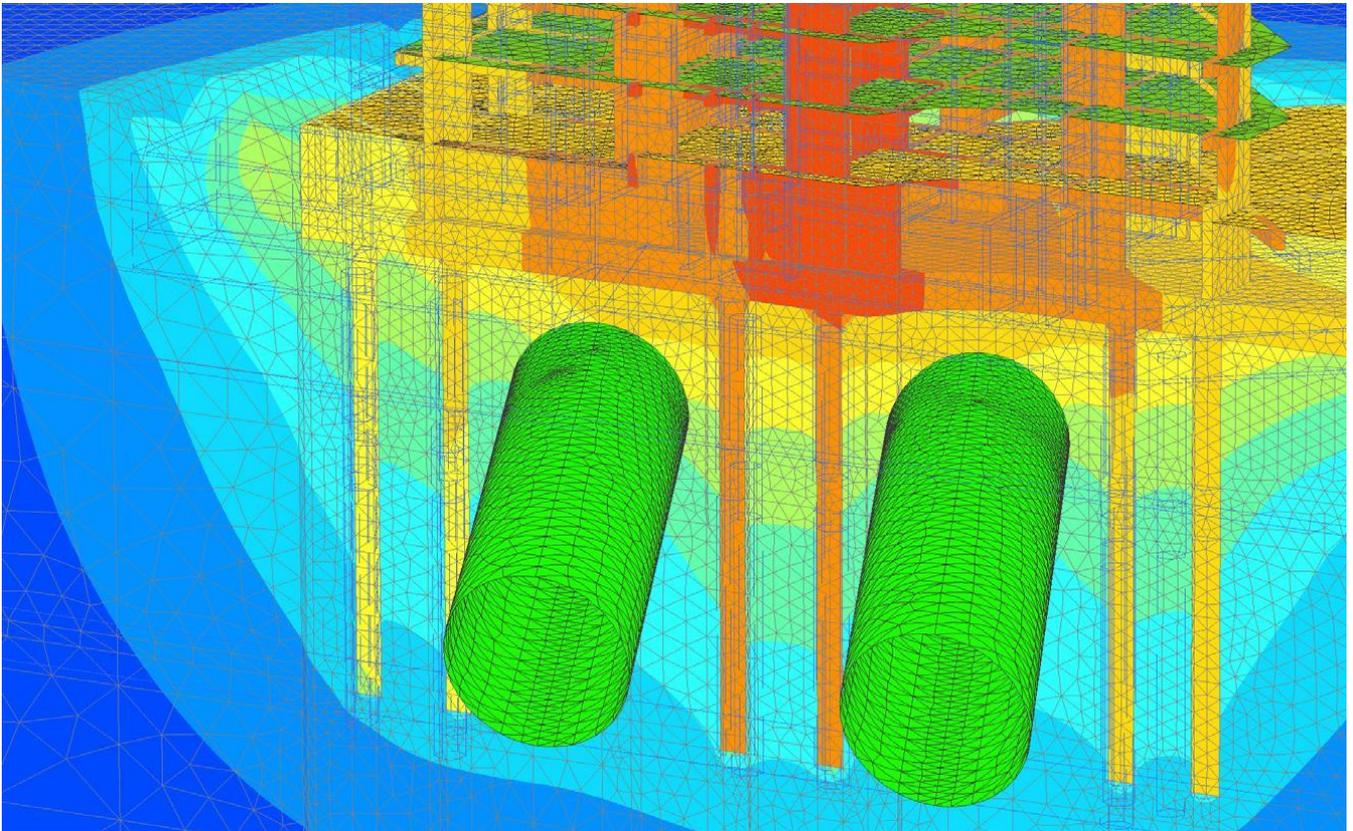


PLAXIS помог спроектировать первое в Бухаресте многоэтажное здание над тоннелями метро



Представляем обзор материалов о том, как геотехническое моделирование в программном комплексе PLAXIS, предоставленном компанией Bentley Systems, позволило оптимизировать проектирование фундамента 10-этажного жилого дома, который должны построить в западной части Бухареста непосредственно над тоннелями метро. Разработкой плана производства земляных работ и концептуального проекта фундамента этого здания занималась местная компания SAIDEL Engineering. Для повышения точности и оптимизации проектирования помимо двумерного использовалось трехмерное геотехническое моделирование в PLAXIS. Работа была выполнена быстро и экономически эффективно. Было показано, что воздействия на обделку тоннелей при реализации предложенного проекта будут минимальны и даже гораздо ниже предельно допустимых. Полученные проектные решения были утверждены оператором метрополитена румынской столицы.

Обзор выполнен при поддержке партнера журнала «ГеоИнфо» – представительства компании Bentley Systems в России и СНГ. Следует отметить, что компания Bentley Systems является ведущим мировым разработчиком и поставщиком программного обеспечения в сферах проектирования, строительства и эксплуатации инфраструктурных объектов и «гордится расширением своего геотехнического портфолио за счет приобретения компаний PLAXIS, Keynetix и SoilVision, вместе с которыми помогает инженерам играть важную роль в обеспечении безопасности инфраструктуры».

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА «ГЕОИНФО»

info@geoinfo.ru

Введение

Бухарест – столица Румынии и важнейший экономический и культурный центр этого государства (рис. 1). Он имеет площадь 238 кв. км и находится на юго-востоке страны в пределах Нижнедунайской низменности. Через него протекает несудоходная река Дымбовица. Вдоль северной окраины города расположена цепь живописных озер.



Рис. 1. Столица Румынии Бухарест – важнейший экономический и культурный центр страны

В современном Бухаресте соседствуют красивые здания XVI – начала XX века, мрачные функциональные здания 1930-х годов, а также множество безликих жилых домов и в то же время вполне привлекательных административных и других городских зданий, площадей, проспектов, бульваров, фонтанов и парков социалистических времен (рис. 2). В том числе в Бухаресте находится впечатляющий «Дворец Парламента» (ранее «Дом народа», или «Дворец Чаушеску») – самое тяжелое и дорогое из когда-либо построенных и при этом второе по величине административное здание в мире (после Пентагона) стоимостью 3 млрд евро (рис. 3). Сеть пассажирского транспорта Бухареста – крупнейшая в Румынии и одна из самых больших в Юго-Восточной Европе. Пассажирам там перевозят автобусы, троллейбусы, трамваи, скоростные трамваи, такси и метро. Городской метрополитен имеет пять основных линий общей протяженностью около 78,5 км.



Рис. 2. В современном Бухаресте соседствуют исторические здания и безликие жилые дома второй половины XX – начала XXI века



Рис. 3. Дворец Парламента в Бухаресте

До середины XX века Румыния была аграрной страной, но потом темпы урбанизации в ней значительно увеличились. Прежде всего выросла численность населения в Бухаресте. На сегодняшний день это наиболее индустриализированная часть государства и там проживает (вместе с пригородами) более 1,8 млн человек, то есть около 9% населения страны. В столице сконцентрирована четверть промышленного производства Румынии, и почти две трети налогов государство получает именно оттуда.

Бухарест был основан более 5,5 столетий назад. Самая старая его часть с узкими кривыми улочками и старинными 2–3-этажными зданиями и церквями расположена на левом берегу Дымбовицы. На правом берегу и севернее в XIX – начале XX века сформировался новый центр с красивыми виллами и дворцами во французском стиле.

Возникшую там же функциональную застройку 1930-х годов многие считают тяжеловесной и уродливой.

При социализме в 1952 году был составлен генеральный план реконструкции Бухареста. В результате были построены театры, выставки, цирк, множество жилых зданий, парки и зоны отдыха, но много потеряла историческая застройка. При Карпатском землетрясении 1977 года сильно пострадал весь город. Множество зданий обрушилось или было повреждено и нуждалось в укреплении и ремонте. После этого были снесены целые кварталы, место жительства сменили примерно 40 тыс. человек. Город был реконструирован, но при этом вновь был уничтожен ряд исторических зданий и церквей.

После падения режима Николае Чаушеску в конце 1989 года строительная отрасль в Румынии долгое время испытывала кризис, но уже в 2000-х годах она была одной из самых динамично развивавшихся в Западной Европе. Однако после мирового экономического кризиса 2008 года опять наблюдался упадок. Сейчас в румынском строительстве вновь происходит подъем благодаря тому, что в него вкладывают средства зарубежные организации. Прежде всего развивается жилищное и транспортное строительство, особенно в столице страны. Присутствует и точечная застройка на уже освоенных городских территориях, в связи с чем проектировщики Бухареста начали сталкиваться с рядом геотехнических проблем впервые.

Необходимость в инновационном проектировании для строительства над тоннелями метро

Недавно началась работа над проектом строительства 10-этажного жилого дома стоимостью 2,5 млн евро в западной части Бухареста, причем впервые в этом городе – над тоннелями метро, к тому же заложенными не слишком глубоко. Этот строительный объект, расположенный на таком нестандартном основании, требовал сложных геотехнических расчетов и одобрения транспортного оператора, обслуживавшего метро Бухареста (Metrorex).

Переделка проекта, ранее отвергнутого оператором метро, была задержана на два года, пока к работе над ним не приступила опытная местная компания SAIDEL Engineering. Перед ней стояла задача обеспечения геотехнического и строительного проектирования рассматриваемого объекта с целью снижения его общего воздействия на обделку тоннелей. Прежде всего требовалось разработать инновационный план создания котлована и концептуальный проект фундамента, которые одобрил бы Metrorex.

Ускорение оптимизации и повышение точности проекта с помощью передового программного обеспечения

Чтобы разработать качественный концептуальный проект, требовалось передовое геотехническое программное обеспечение. Поскольку компания SAIDEL Engineering уже почти десять лет являлась пользователем PLAXIS, она знала, что это геотехническое приложение, предлагаемое ныне компанией Bentley Systems, является наилучшим выбором для рассматриваемого случая.

В связи со строгими требованиями оператора метро по минимизации воздействий на тоннели компания SAIDEL Engineering первоначально выполнила

двумерный геотехнический анализ в программном комплексе PLAXIS 2D, чтобы определить осуществимые решения для строительства котлована и фундамента, которые соответствовали бы требованиям к смещениям грунта и прочности конструкций.

Несмотря на то что разрешение на строительство котлована на основании 2D-моделей оператор метро дал, специалисты SAIDEL Engineering хотели повысить точность, безопасность и оптимальность концептуального проекта фундамента с помощью трехмерного геотехнического моделирования и соответствующего анализа в PLAXIS 3D.

Уточненные 3D-модели были сопоставлены с исходными 2D-моделями для обеспечения дополнительной уверенности в надежности фундамента проектируемого здания и его незначительном влиянии на тоннели метро.

Расширенные возможности проектирования и анализа в PLAXIS 3D помогли проектной команде оценить пригодность использования плитного и свайно-плитного фундаментов с учетом различных диаметров и длины свай, с увеличением площади основания или без него. Для преодоления препятствий при моделировании компания SAIDEL Engineering использовала дополнительные расширенные возможности PLAXIS, в том числе шестиугольные призмы при моделировании свай и функцию «Твердое тело» при оценке нагрузок на опоры для обеспечения сходимости решений. Была даже проанализирована возможность использования под плитой слоя пенополистирола толщиной 15 см, но только между сваями, обрамляющими тоннели. Следует также отметить, что компании потребовалось изменить форму пятна застройки, чтобы уменьшить неравномерность воздействий строящегося и готового здания на грунтовое основание, при этом сохранив его функциональные и архитектурные особенности.

Для оценки взаимодействий между грунтом и сооружением был проведен нелинейный анализ с помощью уникальной функции применения комплексных геомеханических моделей грунта в PLAXIS.

Таким образом, выбранное программное обеспечение позволило точно смоделировать и проанализировать возможные проектные решения (рис. 4) и их воздействия на обделку тоннелей метро на всех этапах строительства и эксплуатации рассматриваемого объекта, в результате чего была разработана концепция проекта, которую вновь одобрил оператор метро.

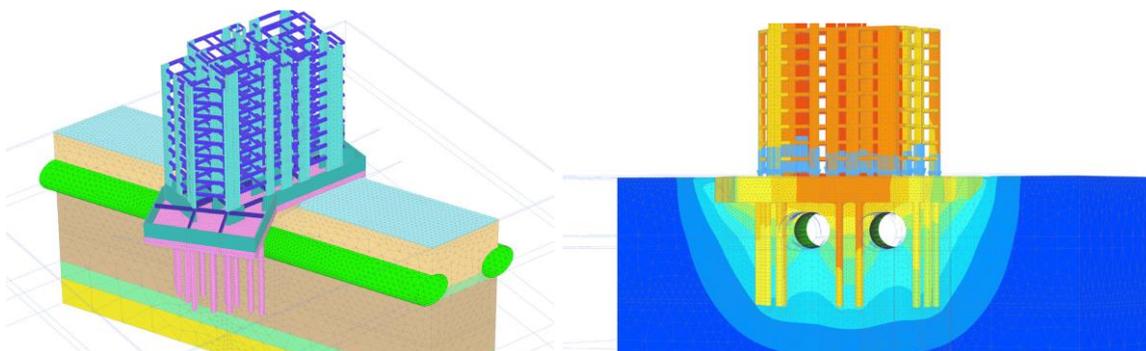


Рис. 4. Примеры трехмерных моделей многоэтажного жилого здания над тоннелями метро, созданных и проанализированных сотрудниками компании SAIDEL Engineering

Принятые решения по проекту фундамента включали плиту толщиной 1,5 м на 37 сваях диаметром 1,08 м и длиной 18 м (толщина плиты была уменьшена на полметра по сравнению с первоначальным проектом, что позволило использовать меньше бетона и арматуры). Точные 3D-расчеты показали, что эти решения приведут к подъему грунта примерно на 6 мм во время откопки котлована и к его осадке на такую же небольшую величину во время эксплуатации здания, что минимально повлияет на тоннели метро. Интересно отметить, что на основании результатов анализа было принято решение о сокращении количества этажей проектируемого жилого дома с 10 до 9, что также позволило уменьшить нагрузку на тоннели.

Благодаря своим проектным решениям компания SAIDEL Engineering смогла на 50% снизить воздействие на обделку тоннелей с точки зрения смещений и усилий в конструкциях по сравнению с первоначальным проектом.

Заключение

Использование программного комплекса PLAXIS, предоставленного компанией Bentley Systems, способствовало высокоточному моделированию и тщательному анализу возможных проектных решений для рассматриваемого строительного объекта – многоэтажного жилого дома, впервые для Бухареста возводимого непосредственно над тоннелями метро. Усовершенствованные модели грунта и динамическое моделирование строительства в PLAXIS обеспечили быструю, удобную для пользователя и надежную инженерную среду, которая ускорила оптимизацию проекта, предоставив улучшенные итерационные возможности. Это позволило компании SAIDEL Engineering добиться одобрения разработанного проекта и вернуть его на стадию реализации всего за три месяца после двухлетнего перерыва.

«PLAXIS – это наилучший инструмент, который рынок геотехнического программного обеспечения может предложить опытным геотехническим командам, желающим иметь конкурентные преимущества», – подчеркнул Жербан Николау, член проектной группы компании SEIDEL Engineering.

«Члены нашей команды успешно используют PLAXIS с 2000 года для различных международных проектов и самых сложных земляных работ и фундаментов глубокого заложения для высотных зданий в Румынии. Мониторинг во время строительства и обслуживания подтвердил результаты инженерно-геологического анализа. Таким образом, был получен опыт безопасного и экономичного моделирования на благо наших клиентов и окружающей среды. Особенности программного комплекса PLAXIS, а именно усовершенствованные комплексные геомеханические модели грунтов для описания их нелинейного поведения, элементы зон контактов для моделирования взаимодействий грунта и конструкций, поэтапное строительство, обеспечивающие достоверное моделирование процесса реализации проекта, и другие специальные элементы делают это приложение подходящим для численного анализа для геотехнических расчетов и проектирования», – пояснил Ион Рэйляну, исполнительный директор и руководитель отдела проектирования компании SAIDEL Engineering.

Благодаря своим успешным решениям на основе трехмерного геотехнического моделирования в PLAXIS компания SAIDEL Engineering повысила свою узнаваемость и стала еще более конкурентоспособной, но при этом дала хороший ориентир для работы других компаний над подобными проектами.

Источники

1. Бухарест // Ru.wikipedia. Дата последнего обращения: 31.10.2021. URL: ru.wikipedia.org/wiki/Бухарест.
2. Градюшко Н. Дворец Чаушеску. История строительства крупнейшего здания Европы // Onliner. 04.10.2016. URL: realt.onliner.by/2016/10/04/dvorec-10.
3. Девятиэтажное жилое здание над тоннелями метрополитена в западной части Бухареста. Бухарест, Румыния. Краткое описание проекта // Bentley.com/ru/. 2021. URL: bentley.com/ru/project-profiles/2020/saidel-engineering_building-above-subway.
4. Закирова В. В Бухаресте появится 57 000 новых квартир // Prian.ru. 06.08.1918. prian.ru/news/37037.html.
5. Планировка и архитектура Бухареста // Старый город Бухарест. 08.02.2010. URL: buharest-city.ru/?p=294.
6. Construction industry of Romania // En.wikipedia. The last accessed date: 31.10.2021. URL: en.wikipedia.org/wiki/Construction_industry_of_Romania.
7. Designing a nine-story residential building above subway tunnels in West Bucharest: finalist of Bentley Geotechnical Engineering YII 2020 awards // Geoengineer. 09.11.2020. URL: geoengineer.org/news/nine-story-residential-building-above-the-subway-tunnels-in-west-bucharest-project-finalist-of-bentley-geotechnical-engineering-yii-2020-awards.
8. Miller J. SAIDEL Engineering designs first residential building above subway tunnels in West Bucharest. PLAXIS provides industry model promoting future development over city tunnels // Indianinfrastructure. July 2021. URL: indianinfrastructure.com/2021/07/20/saidel-engineering-designs-first-residential-building-above-subway-tunnels-in-west-bucharest/.
9. pixabay.com/ru/.
10. SAIDEL Engineering designs first residential building above subway tunnels in West Bucharest. PLAXIS provides industry model promoting future development over city tunnels // Bentley. Advancing infrastructure. 2021.
11. SAIDEL Engineering designs residential building above subway tunnels // Virtuosity. A Bentley company. 28.05.2021. URL: blog.virtuosity.com/saidel-engineering-designs-first-residential-building-above-subway-tunnels-using-plaxis.
12. SAIDEL Engineering SRL. Nine-story residential building above subway tunnels in West Bucharest. Bucharest, Romania. Project Summary // Bentley.com/en/. 2021. URL: bentley.com/en/project-profiles/2020/saidel-engineering_building-above-subway.