

**ОЦЕНКА ДЕФОРМАЦИЙ ИСТОРИЧЕСКОГО ЗДАНИЯ В ТОМСКЕ С ПОМОЩЬЮ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ И КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

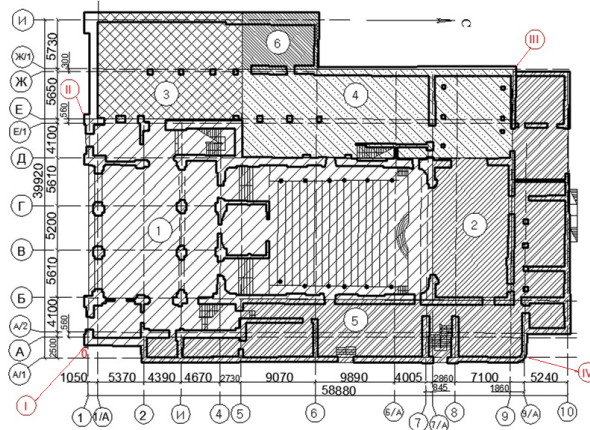
**Е.А. Епифанова**

Научный руководитель профессор Л.А. Строкова

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

В работе освещено изучение инженерно-геологических условий территории при реконструкции Томского театра юного зрителя. Особенности реконструкции сооружения связаны с непрекращающимися деформациями основания, сложностью режима подземных вод, нарушением природного сложения грунтового массива и физико-механических свойств. Это потребовало актуализации расчетной модели для оценки напряженно-деформированного состояния грунтового основания.

Здание (ТЮЗ) расположено по пер. Нахановича, 4 (бывший переулок Ямской до 20.05.1920 г.), Площадка непосредственно примыкает к защитной дамбе г. Томска, находится на правом берегу р. Томь южнее устья р. Ушайки.

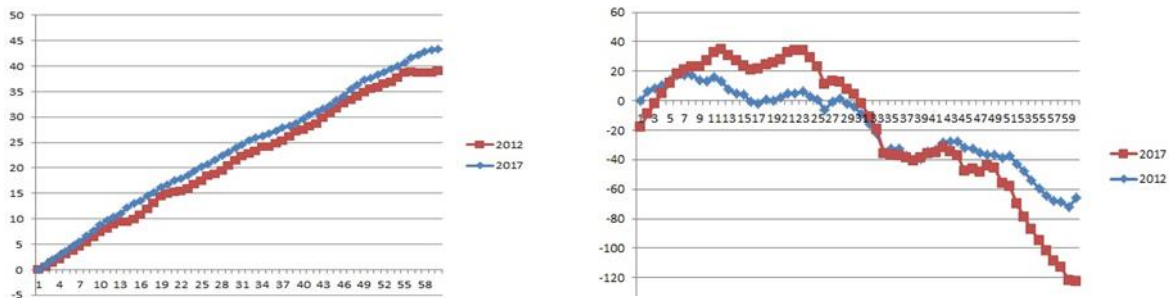


**Рис. 1** Схема плана по периодам строительства:

1 - постройка 1912 года - бывший кинотеатр "Новый", выполненный по проекту архитектора А. Лангера; 2 – граница постройки 1937 года - пристраивается сцена; здание функционирует как театр; 3...6 - границы постройки после реконструкций 50-х годов (точные даты не установлены); I-IV – углы здания, взятые для расчета деформаций

Лазерное сканирование здания для оценки деформаций проводилось с 7 станций, данные с которых сшивались в единое облако точек в программном комплексе Cyclone. После создания единого облака точек объекта выбиралась условная «нулевая» точка отсчета координат (0, 0, 0) для данного объекта. Условием определения направления осей точки отсчета являлось совпадение оси X и всех начальных («нулевых») пикетов направляющих осей, по которым велись наблюдения. Набор точек направляющей оси проводился через 10 см на высоту 6 м в результате построения секущей плоскости, перпендикулярной направлению оси. Полученный набор точек экспортировался в программу MS Excel для построения графиков геометрических параметров направляющей оси стены.

Выполнение деформационного мониторинга сооружения при помощи наземного лазерного сканирования позволяет выявить деформации по заданным плоскостям, что недоступно для традиционных методов наблюдения. Путем сравнения отсканированной модели здания с проектными или условно эталонными плоскостями можно получить отклонения каждой внешней стены или здания в целом от исходной формы. В данном исследовании для оценки деформаций здания был применен метод проекций стен на вертикальные плоскости. В программном комплексе Cyclone с помощью компьютерного моделирования в облако точек здания по четырем углам были вписаны условные направляющие, по которым определялись отклонения углов здания в 2012 и 2017 годах.



**Рис. 2** Отклонения в плане и по вертикали угла: I (a и b)

## СЕКЦИЯ 6. ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Для оценки деформаций грунтового основания проводилось моделирование в программном комплексе Plaxis. Грунтовый массив размером длиной 70 м, мощностью 25 м представлен в виде 2D – модели на рис. 3. После построения геометрической модели и задания свойств грунта PLAXIS автоматически сгенерирована сетка конечных элементов из 986 неправильных треугольных 15–узловых элементов. При расчете конечного элемента смещения рассчитываются по узлам, напряжения – в 11832 интегральных точках Гаусса (или точках напряжения). Вертикальная нагрузка от веса наземной части здания принята 90 кН/м. [1]

Для материала фундаментов использовалась упругая модель (Plaxis). Были использованы следующие параметры: удельный вес - 25 кН/м<sup>3</sup>, коэффициент Пуассона 0,25. Для оценки поведения минеральных грунтов использована упругопластическая модель с изотропным упрочнением Hardening Soil Model (Plaxis).

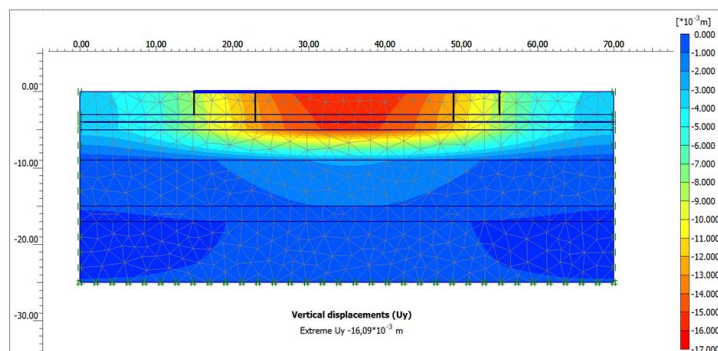


Рис. 3 Сетка конечных элементов

Расчеты заключались в определении вертикальных и горизонтальных перемещений грунтового основания от массы надфундаментной части. Моделирование процесса нагружения опоры осуществлялось с помощью опции расчета Staged construction. Эта опция позволяет активировать или деактивировать вес, жесткость и прочность выбранных компонентов конечно-элементной модели. Выполнено сравнение результатов моделирования с пространственно-координатным положением конструкций, установленном при лазерном сканировании.

Результаты исследований и их обсуждение

Сохранение исторических объектов является сложной задачей для инженеров, т.к. часто отсутствуют исходные данные по геологии, проектным решениям, имеются ограничения при отборе образцов строительных материалов и грунтов для более точного определения их физико-механических свойств. Кроме того, анализ литературы по данной тематике [2] показывает, что, как в нашей стране, так и за рубежом в настоящее время базис инженерно-геологических исследований исторических объектов только формируется в области теории, методов, нормативно-правового обеспечения этой деятельности.

Представлены две основные темы, представляющие интерес для данного исследования: (1) значимость методов лазерного сканирования для получения правильных данных по деформациям конструкции и (2) влияние геологических факторов на размещение деформаций в наземной части сооружения.

Применение наземных лазерно-сканирующих систем дало возможность произвести тотальную съемку объекта с высокой степенью плотности съемочных точек, построить векторные обмерные чертежи, точно определить деформации наземной конструкции. Совместное рассмотрение геологического разреза и систем трещин, полученных при помощи наземного лазерного сканирования в 2012 и 2017 гг., свидетельствуют о том, что наземная конструкция деформируется по диагонали, параллельно направлению бровки первой надпойменной террасы, вдоль реки Томь. Трехмерная модель позволила определить направление максимальных деформаций здания, что затруднительно при обычной съемке объекта.

Деформации наземной части здания являются неравномерными, поэтому, недопустимо связывать их с только уплотнением грунтов основания. Кроме того, деформации продолжаются и после выполнения капитального ремонта здания 2012 г., когда трещины и деформации были спрятаны за косметическим слоем и к настоящему времени раскрылись вновь.

Неравномерность деформаций, на наш взгляд, можно объяснить тремя факторами. Во-первых, ключевую роль в неравномерности осадок здания играет геоморфологические особенности участка. Совместное рассмотрение ориентировки здания и деформаций, полученных при помощи наземного лазерного сканирования в 2012 и 2017 гг., свидетельствуют о том, что наземная конструкция деформируется по диагонали, параллельно направлению бровки первой надпойменной террасы, вдоль реки Томь. Вероятно, такое расположение можно объяснить суффозионными и эрозионными процессами внутри грунтового массива при изменении уровней подземных и поверхностных вод в р. Томи и Ушайки.

Во-вторых, неравномерность деформаций, и это подтвердило моделирование напряженно-деформированного состояния грунтового массива, связана с разной глубиной опирания основного здания и пристроек. По результатам лазерного сканирования объекта в 2012 и 2017 гг. установлено, что сгущение деформаций наблюдается в зоне сочленения основного здания и пристроек с западной и восточной сторон здания. Максимальные расчетные значения вертикальных перемещений грунтового массива составили 12,71 мм,

горизонтальных – 1,72 мм. Расчетные значения вертикальных перемещений грунтового массива основного здания без пристроек составили 11,49 мм, горизонтальных – 1,71 мм. Поэтому концентрация деформаций в зоне сочленения пристроек и основного здания связана с пристройками, разной глубиной заложения их фундаментов.

В-третьих, продолжающие во времени деформации, вероятно связаны с ползучестью органоминеральных грунтов мощностью до 2 м, вскрытых тремя скважинами в непосредственной близости от здания. Моделирование ползучести грунта проводилось заданием дополнительных параметров для слоя, залегающего на глубине 3...5 м (модифицированный коэффициент компрессии  $\lambda^*=0,105$ , модифицированный коэффициент набухания  $\kappa^*=0,015$ , модифицированный коэффициент ползучести  $\mu^*=0,004$ ), собранных по литературным источникам из-за отсутствия данных по геологии участка в сфере взаимодействия. Приращения вертикальных и горизонтальных перемещений с учетом ползучести органоминерального грунта составили соответственно +3,38 и +0,17 мм в год.

#### Литература

1. Plaxis. Material Models Manual. 2016. – 216 с.
2. Sternberg H. Deformation measurements at historical buildings with terrestrial laserscanners / IAPRS Dresden 25-27 September 2006. – 2006. –Vol. 36. – Part 5. – P. 303–308.

### ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ ВОД МАЛО-ТАРЫНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (РЕСПУБЛИКА САХА)

**А.Д. Еркинбеков, Е.А. Филимоненко**

Научные руководители доктор геолого-минералогических наук Е.М. Дутова,

доктор геолого-минералогических наук Е.Г. Язиков

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Мало-Тарынское золоторудное поле расположено в Оймяконском районе Якутии в 70 км южнее пгт. Усть-Нера. Территория рудного поля расположена в пределах Адыча-Оймяконского мелкогогорья на восточном окончании Курдатского поднятия. Территория рудного поля характеризуется среднегорным, средне расчленённым рельефом; развитием многолетней мерзлоты; резко континентальным климатом.

Мало-Тарынское рудное поле входит в состав рудно-россыпного узла Адыча-Тарынской золотоносной зоны Яно-Колымской золотоносной провинции, Верхояно-Колымской складчатой области, которая является самой перспективной территорией России для развития золотодобывающей отрасли. В 40-60 годы XX века на территории Мало-Тарынского рудного поля велась подземная отработка россыпей золота, в более поздние годы россыпи обрабатывались открытым раздельным способом. В настоящее время на территории рудного поля планируется добыча коренного золота открытым горным способом. В связи с этим на территории Мало-Тарынского рудного поля ведутся комплексные поисковые, геолого-оценочные, а также эколого-геохимические и другие виды работ. В летние сезоны 2016 и 2017 гг. на территории Мало-Тарынского рудного поля производились гидрогеохимические исследования для решения задач поисковой и экологической направленностей. В настоящей работе обсуждаются результаты, полученные в рамках гидрогеохимических исследований, проведенных в 2016 г.

Гидросеть района относится к бассейну реки Малый Тарын – правого притока р. Индигирка. В пределах рудного поля водотоки представлены мелкими ручьями протяжённостью от 2 до 15 км с шириной русел 2-10 м, глубиной 0,1-0,5 м, скоростью течения 1-2 м/с, с расходом воды 0,2-2,0 м<sup>3</sup>/с. Наиболее крупными из притоков Малого Тарына являются ручьи Курдат, Эгелях, Маскыл.

Отбор проб воды в рамках проведения гидрогеохимических исследований производился в истоках и устьях правых ручьев-притоков р. Малый Тарын (руч. Ненадежный, Кус-Юрие, Маскыл, Эгелях, Зеленый, Голубичный и Пологий) и из устья левого притока – руч. Курдат. При наличии признаков прошлых отработок россыпей золота в руслах ручьев отбор проб воды осуществлялся ниже по течению относительно таких нарушенных ландшафтов. Отбор проб воды из р. Малый Тарын производился в 500 м выше по течению от границы Мало-Тарынского рудного поля и в границах рассматриваемой площади в точках, расположенных в 100-300 м ниже по течению относительно прудов-отстойников, сформированных в результате прошлых отработок россыпей золота на изучаемой территории. Отбор проб воды осуществлялся в строгом соответствии с нормативными документами – ГОСТ 31861-2012 и ГОСТ Р 52.24.353-2012. Лабораторно-аналитические работы по установлению химического и элементного составов образцов природных поверхностных вод производились в аккредитованной «Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии НОЦ «Вода»ТПУ» с применением высокочувствительных методов анализа (в том числе MS-ICP, ионная хроматография и др.) по аттестованным методикам. Общее количество отобранных и проанализированных проб природных поверхностных вод на территории Мало-Тарынского рудного поля составило 27 образцов (21 проба из ручьев, 6 проб из р. Малый Тарын).

По результатам исследований установлено, что поверхностные природные воды Мало-Тарынского рудного поля относятся к нейтральным (рН от 6,5 до 7,5), ультрапресным (минерализация менее 100 мг/дм<sup>3</sup>) и очень мягким (общая жесткость менее 1,5 ммоль-экв./дм<sup>3</sup>) водам. Воды ручьев относительно воды р. Малый Тарын характеризуются повышенной жесткостью, минерализацией и уровнями содержания в них основных ионов (таблица).

Согласно составленным формулам Курлова воды ручьев (1) и р. Малый Тарын(2) являются гидрокарбонатно-сульфатными магниевыми-кальциевыми. Фоновые природные воды Верхнеиндигирского района по своему составу являются гидрокарбонатными, а наличие повышенных концентрации сульфатов в водах проявляется