

## О ДЕФОРМАЦИЯХ ОСНОВАНИЯ ЗДАНИЯ ЛЬВОВСКОГО ТЕАТРА ОПЕРЫ И БАЛЕТА

Здание Львовского государственного академического театра оперы и балета им. И. Франко (далее именуемое «театр») построено в 1897—1900 гг. Мнение о возможных неравномерных деформациях основания было высказано при выборе вариантов фундамента [2]. Неравномерные осадки здания начались в период строительства и продолжаются до сих пор. В 50—60-х годах трещины в стенах распространились по всей высоте здания; порталная стена, отделяющая сцену от зрительного зала, потеряла связь с боковыми несущими стенами. С 1979 г. в здании идут реставрационные работы.

Прямоугольное в плане здание театра имеет длину 86 м, ширину около 40 м, высоту до конька крыши 25 м. Общая масса здания — приблизительно  $32 \cdot 10^6$  кг. Железобетонные ленточные фундаменты шириной 3,5...7,3 м на глубине в среднем 4,6 м от дневной поверхности передают на грунты естественного основания давление около 0,15 МПа. Распространяемая гидами версия о том, что театр построен на «дубовых сваях» или «плотах» — не более чем легенда [1].

Фундаменты театра через песчаную подушку толщиной 0,3...0,5 м опираются на невыдержанную по составу и мощности слоев толщи пойменных отложений р. Полтва, которая сейчас заклю-

чена в канализационный коллектор, расположенный в стороне от театра. Непосредственно под фундаментом залегает темно-серая, иногда почти черная, тугопластичная глина с растительными и древесными остатками. В разрезе основания встречаются торф, хорошо и плохо разложившийся (под передним фасадом), заторфованные глинистые грунты с включением неразложившихся остатков древесины (под задним фасадом и правой частью здания), пластичная супесь, песок мелкий средней плотности водонасыщенный. Полускальный грунт — мергель трещиноватый, в кровле выветрелый до щебнистой глины — находится на глубине 7,2...8,7 м от подошвы фундамента. Грунтовые воды трех типов: «верховодка», безнапорные и слабо напорные. Водоносные горизонты гидравлически взаимосвязаны. Известно, что «верховодка» подпитывалась за счет утечек из водопровода и канализации в театре. По отношению к бетону грунтовые воды неагрессивны.

Анализ старых карт города показал, что на месте театра в начале XVI в. существовал пруд, засыпанный в 1625 г. Пруд, видимо, входил в состав древних крепостных сооружений, фундаменты которых демонтировали во время строительства театра.

Наблюдения за осадками в ходе строительства велись только с апреля 1899 г. по февраль 1900 г. с точностью технического нивелирования. Осадка углов здания при этом составила 4,15...8,95 см. Максимально осел левый передний угол здания. 69 лет за осадками не наблюдали. С 1969 г. до настоящего времени производятся систематические инструментальные наблюдения (нивелирование II класса), результаты которых представлены на рис. 1. С наибольшей скоростью в последние годы деформируется правый задний угол здания.

Нами рассмотрены четыре гипотезы о причинах длительных и неравномерных осадок основания театра: уплотнение (фильтрационная консолидация) грунтов; пластические деформации (потеря устойчивости) грунтов; действие грунтовых вод; объемная ползучесть грунтов, обогащенных органикой. Первые три гипотезы были отклонены как несовместимые с фактическим материалом изысканий, выполненных Львовским филиалом УкрГИИТИЗ в 1980 г. В пользу четвертой гипотезы свидетельствуют результаты длительных (до 100 сут) компрессионных испытаний грунтов под давлением 0,15 МПа, исследований вибрации фундаментов и виброползучести грунтов. На графиках осадка—время, выполненных в полулогарифмическом масштабе, четко выражено состояние объемной ползучести, которую мы и считаем причиной длительных деформаций основания. На рис. 2 показаны вибограммы, записанные сейсмостанцией Поиск-1М и самописцем Н-39 на разных частях цоколя здания в разное время суток. Установлено, что наибольшая энергия вибраций выделяется на правой средней и задней частях здания, вблизи которых происходит интенсивное автомобильное и трамвайное движение. Чтобы оценить влияние вибрации на деформационное поведение грунтов, в наиболее подверженной вибрациям зоне подвалов театра были произведены длительные компрессионные испытания грунта несущего слоя.

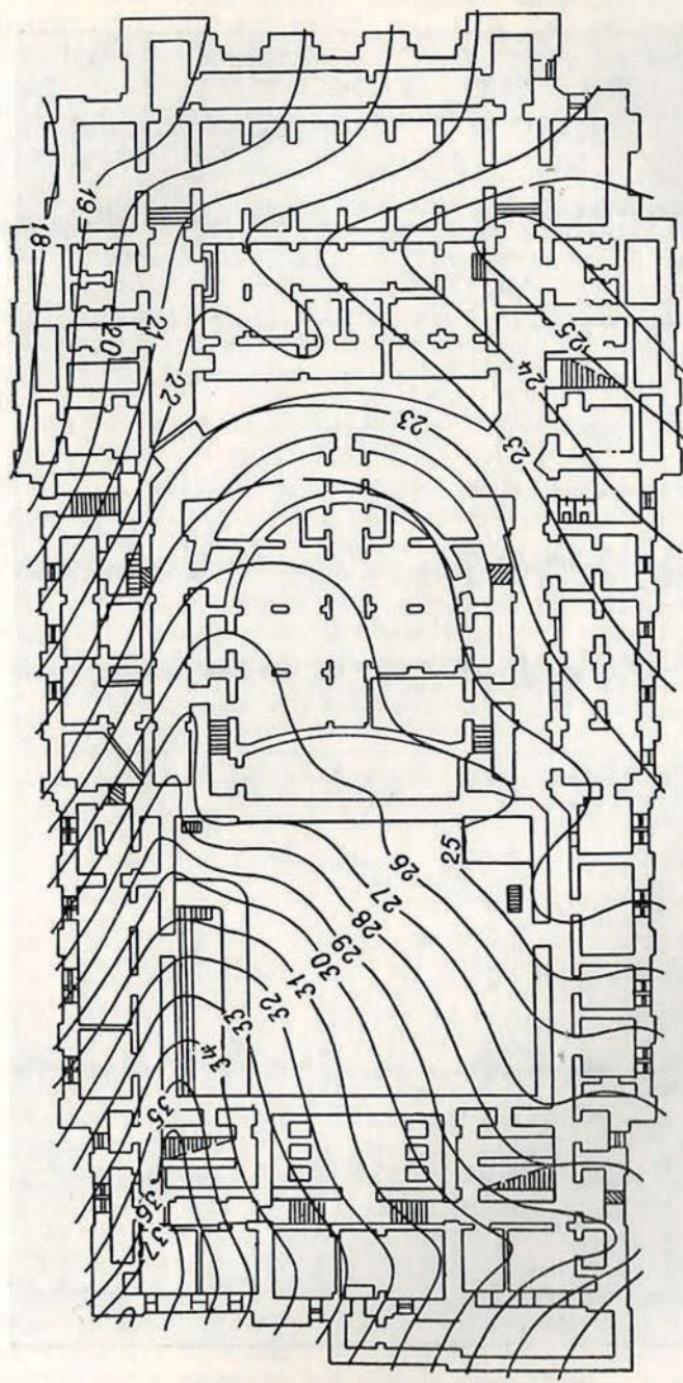
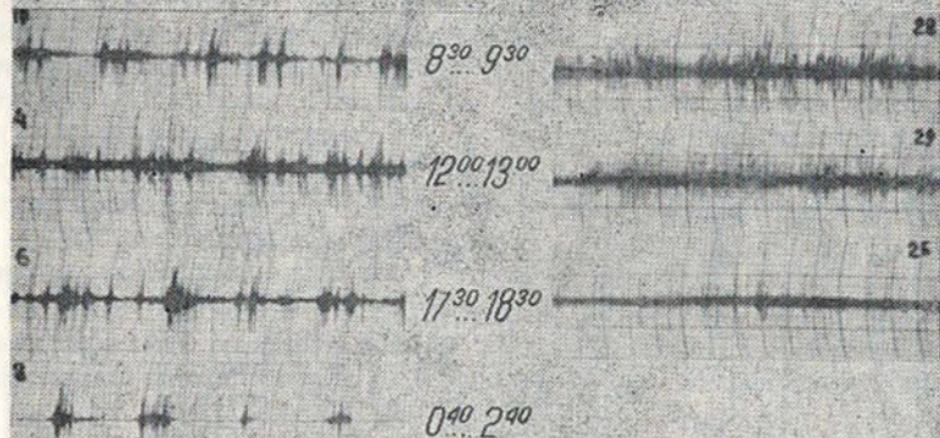


Рис. 1. Суммарная осадка стенных марок за 1969–1980 гг., в м.м.

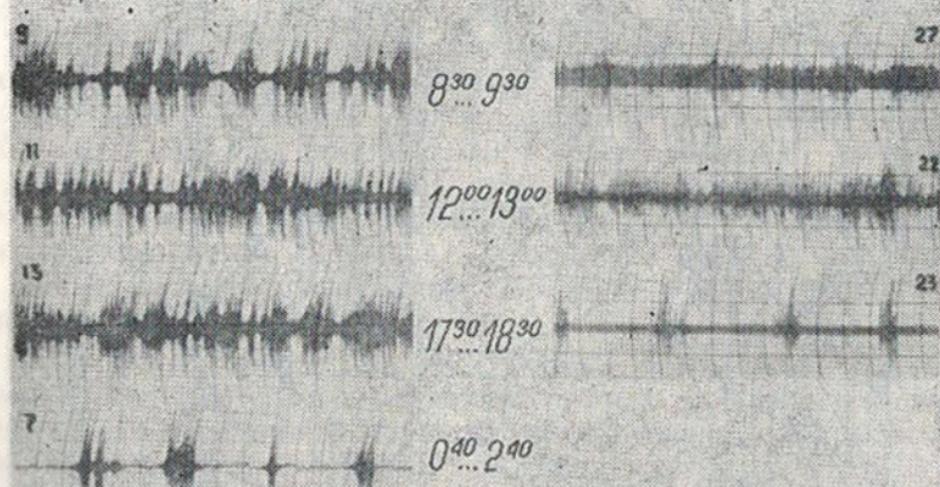
Правый передний угол

Левый передний угол



Правая середина

Левая середина



Правый задний угол

Левый задний угол

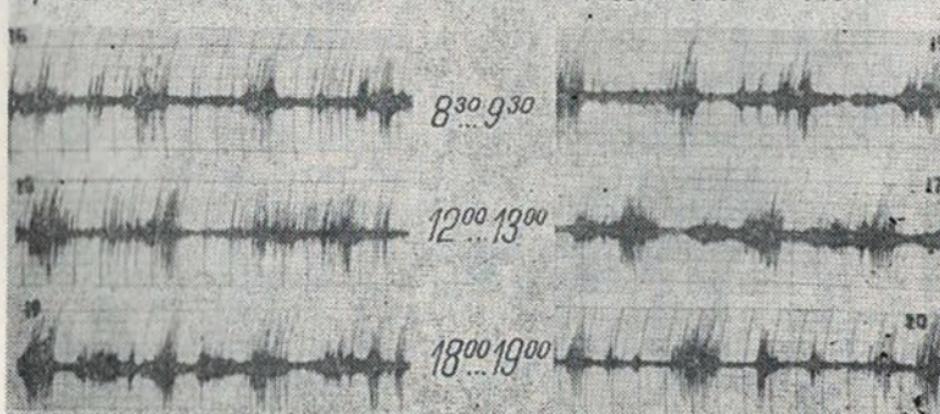


Рис. 2. Виброграммы цоколя здания театра в течение суток.

Контрольные пробы грунта испытывали в лаборатории. Обнаружено, что под воздействием вибрации скорость первичной консолидации грунта возрастает на 15%, а скорость объемной ползучести — на 30%. На этом основании мы считаем вибрацию, связанную с движением транспорта вблизи театра, управляемой причиной неравномерных деформаций, а неуправляемой — неоднородность грунтов основания.

Данные наблюдений за развитием осадок во времени использованы для прогноза дальнейших неравномерных деформаций основания. Чтобы преодолеть существенный недостаток этих данных — отсутствие непрерывных наблюдений от начала строительства, — произведена аппроксимация скоростей осадок в разные периоды времени. Причем для описания развития осадок  $S$  во времени  $t$  выбрана степенная функция  $S = at^\beta$ , которая при  $\beta < 1$  моделирует незатухающий процесс с убывающей скоростью  $V_S = \frac{\partial S}{\partial t} = a\beta t^{\beta-1}$ . Численные значения параметров  $a$  и  $\beta$  найдены

решением системы двух уравнений с двумя неизвестными, для чего привлечены данные о скоростях деформации в период строительства (1899—1900 гг.) и через 75 лет (1972—1978 гг.). Результаты последнего цикла наблюдений за осадками здания (1979—1980 гг.) рассматривались как «экзаменационный» материал (см. таблицу). По найденным значениям  $a$  и  $\beta$  был рассчитан ход абсолютных осадок здания во времени (рис. 3).

**Расчетные, фактические и прогнозные осадки основания здания Львовского театра оперы и балета**

Угол здания	Осадка за 1969—1980 гг., см		Прогноз осадки по сравнению с 1980 г., см	
	расчетная	фактическая	1990 г.	2000 г.
Передний левый	3,4	2,9±0,3	2,9	5,4
Передний правый	2,2	1,8±0,3	1,5	2,9
Задний левый	2,5	2,6±0,3	2,4	4,5
Задний правый	3,2	3,8±0,3	3,2	6,2

**П р и м е ч а н и е:** Наблюдатель — лицом к фасаду.

Для проверки расчетов абсолютных осадок тригонометрическим нивелированием определены высоты характерных архитектурных элементов здания над «условным нулем», известные по архивным материалам исполнительной съемки здания в фронтальной проекции. Наблюдательная сеть тригонометрического нивелирования была привязана к реперу № 68, исходному при наблюдении за осадками в 1969—1980 гг. Вертикальные углы измеряли теодолитом Т-5 одним приемом, базисы — 50-метровой компарированной рулеткой с точностью 1 мм. Определив таким образом высоты архитектурных элементов, мы нашли современные отметки «условного нуля» в разных точках здания. Разность начального

(271,00 м) и конечного значений абсолютных высот «условного нуля» интерпретировалась как общая осадка здания в точках измерения. Учитывалось, что при строительстве театра была использована система высот, отличающаяся от ныне принятой на «минус» 40 мм [3]. Это практически не влияет на полученные таким способом значения абсолютных осадок, так как среднеквадратическая погрешность определения высот тригонометрическим нивелированием соизмерима с указанной разностью. Найден-

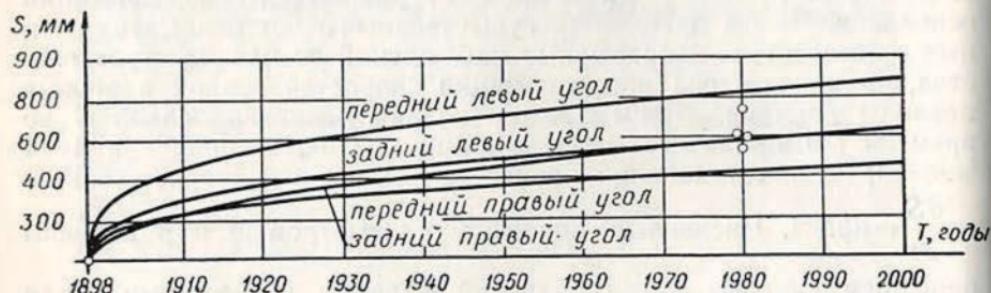


Рис. 3. Развитие расчетных осадок здания Львовского театра оперы и балета:  
○ — данные тригонометрического нивелирования.

ные изложенным выше способом осадки с вероятностью 95% не отличаются от расчетных более чем на 8 см, что составляет  $\pm 15\%$  их абсолютных значений.

Таким образом, можно утверждать, что основание театра продолжает деформироваться. Причина длительных деформаций — объемная ползучесть грунтов, причины неравномерных деформаций — вибрации от движения городского транспорта и неоднородность основания. Предположение об отрицательном влиянии грунтовых вод не согласуется с материалами изысканий. Дополнительная неравномерная осадка фундамента к 2000 г. составит около 3,3 см при сохранении условий эксплуатации здания. Значение неравномерной осадки можно уменьшить, если снизить уровень вибраций здания от движения городского транспорта.

**Список литературы:** 1. Bogucki J. O fundamentach nowego teatru we Lwowie. — Czasopismo techniczne, 1898, R. 14, № 14. 2. Opinia Komisyi Towarzystwa Politechnicznego we Lwowie w sprawie sposobu i kosztow fundowania nowego teatru na placu Goluchowskich. — Czasopismo techniczne, 1896, R. 16, № 2, 4, 5, 9, 10. 3. Wilkiewicz E. Niwelacja precyzyjna na obszarze Wielkiego Lwowa wykonana w roku 1934. — Czasopismo techniczne, 1938, R. 16, № 6.

Статья поступила в редакцию 10.20.82