

УДК 697.942.2

В. В. АФТАНЮК д-р техн. наук, проф.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса

**РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТЕАТРА**

*Рассмотрены основные аспекты реконструкции теплоэнергетической системы исторических зданий. Приведены рациональные технические решения по системам тепловой защиты, отопления, вентиляции и теплоснабжения здания театра. На основании математического моделирования тепловой инерционности воздуха в помещениях театра разработана конструкция энергоэффективной местной приточной системы вентиляции.*

*Розглянуто основні аспекти реконструкції теплоенергетичної системи історичних будівель. Наведено раціональні технічні рішення по системах теплового захисту, опалення, вентиляції та теплопостачання будівлі театру. На підставі математичного моделювання теплової інерційності повітря в приміщеннях театру розроблена конструкція енергоефективної місцевої припливної системи вентиляції.*

**Введение**

Одесский академический украинский музыкально-драматический театр имени В. Василько — коллектив с историей, насчитывающей более восьми десятилетий. Инициаторами создания в Одессе стационарного украинского театра выступили представители широкой театральной общественности города, а также рабочие одесских заводов и фабрик, порта, студенты, которые в начале 1925 года подняли перед органами власти вопрос о создании Одесского украинского театра [1].

Театр размещается в здании бывшего театра Сибирякова, было построено в XIX веке, и в настоящее время является памятником архитектуры и исторической достопримечательностью г. Одессы [1].

За продолжительный период работы театра здание неоднократно подвергалось реконструкции, однако реставрационные работы практически не касались изменения инженерных систем, тепловой защиты, выбора рационального источника теплоты.

В свою очередь, эксплуатация устаревших инженерных систем при современных ценах на энергоносители поставила театр в ситуацию, при которой стало практически невозможно в комфортных условиях проводить репетиции и театральные представления в холодный период года. Данная проблема требовала срочного решения, т.е. проведение комплексной реконструкции теплоэнергетической системы театра, которая включает реконструкцию систем микроклимата, тепловой защиты здания, источника теплоты.

Оснащение исторических зданий современными инженерными системами для создания микроклимата (ОВК) можно считать важнейшим аспектом всех реставрационных программ, особенно в случае, если старинное здание является памятником архитектуры и одновременно используется как действующее театральное помещение, требования к микроклимату могут оказаться противоречивыми. Специалисты по системам ОВК должны обеспечивать сохранность здания, и обеспечить комфортные условия для работы театрального коллектива. Внесение каких-либо изменений в интерьер здания в этом случае требует специальных познаний во многих областях. Без комплексного подхода к проблеме и тщательного анализа всех обстоятельств успех в работе невозможен. Архитекторы, инженеры, реставраторы, поставщики оборудования, владельцы зданий могут найти грамотные технические решения, только если они воспринимают здание в его историческом контексте [2].

Кроме этого установка современных систем микроклимата в исторических зданиях, как правило, сопряжена с большими затратами, поэтому выбору системы должно предшествовать решение следующих основополагающих вопросов:

1. Воздействие системы микроклимата на восприятие объекта посетителями.

2. Наличие разных требований к системе: с точки зрения музейных экспонатов и с точки зрения здания.

3. "Скрытая" установка оборудования без нарушения интерьера.

Владельцы здания и проектировщики несут ответственность за то, чтобы установка новой системы микроклимата не нанесла ущерба зданию.

Поэтому администрацией театра и управлением архитектуры, было выдвинуто ряд требований, которые необходимо было выполнить при реконструкции:

1. Обеспечение сохранности температурно-влажностного режима эксплуатации строительных конструкций;
2. Обеспечение внутреннего архитектурного облика здания;
3. Снижение энергопотребления зданием;
4. Не нарушение несущей способности основных строительных конструкций.

#### **Основная часть**

Для решения поставленных задач на первом этапе работы были проанализированы архитектурные и инженерные решения, которые влияют на эффективность теплоэнергетической системы здания.

С учетом этих требований, а также на основании изучения современного опыта создания энергоэффективных теплоэнергетических систем зданий, требований нормативных документов и натурных обследований здания театра была разработана структурная схема модернизации теплоэнергетической системы театра, которая включает:

1. Улучшение теплозащиты (стен, покрытия, окон).
2. Замена системы отопления.
3. Устройство системы кондиционирования зрительного зала;
4. Устройство систем вентиляции распределительных вестибюлей.
5. Автономное теплоснабжение (от собственной котельной).

Как показал анализ, технических решений модернизация теплоэнергетической системы имеет, бесспорно, положительные аспекты – это снижение энергопотребления и расходов на эксплуатацию.

Но требует, решения ряда вопросов, которые могут существенно нивелировать положительный эффект от модернизации.

Так изменение теплозащитных свойств и воздухопроницаемости ограждающих конструкций и окон, приводит к нарушению влажностного теплового и радиационного баланса в помещениях, что в свою очередь требует изменения систем микроклимата, которые в историческом здании должны быть выполнены таким образом, чтобы не нарушать внутренний облик здания и быть максимально эффективными. До модернизации большинство помещений имели естественные системы вентиляции.

Кроме этого, на основании изучения опыта проектирования энергоэффективных зданий было выявлено, что дополнительный эффект от применения энергосберегающих мероприятий, можно получить при условии обеспечения высокой скорости переходных процессов при изменении параметров внутреннего микроклимата, т. е. рационально проектировать системы имеющие высокие динамические характеристики (к которым относятся системы воздушного отопления) [3].

Это особенно важно в здании театра в котором по технологическому режиму возникает необходимость быстро изменить параметры микроклимата, например в начале представления, в антракте или в конце представления, когда в помещения вестибюлей и других помещений попадает значительное количество людей которые являются источником выделения тепла, влаги и  $\text{CO}_2$ .

На следующем этапе работы были рассмотрены динамические свойства тепловой защиты ограждающих конструкций с нормативной теплоизоляцией при различных метеорологических условиях для условий г. Одесса. Анализ переходных процессов показал, что при наиболее вероятных комбинациях температур и скоростей ветра, постоянная

времени изменяется не более чем на 10 %, а переходные процессы измеряются часами, т.е. не могут быстро существенно влиять на температуру внутреннего воздуха.

В тоже время для обеспечения эффективного индивидуального управления параметрами микроклимата, возникает вопрос о тепловой инерционности воздуха в помещении при работе систем вентиляции. При этом в расчетах следует учитывать реальную инерционность вентиляционного воздушного потока, которая будет создаваться системами вентиляции.

Для анализа тепловой инерционности воздуха в помещениях театра, была разработана математическая модель, в которой использовано дифференциальное уравнение теплового баланса [4].

$$c\rho \cdot L_0 [t_v(\tau) - t_{вх}] + c\rho \cdot V \frac{dt_v}{d\tau} = \alpha \cdot F [t_{ст} + t_v(\tau)] + Q_{\Sigma} \quad (1)$$

где  $t_v(t)$  – среднеобъемная температура воздуха, находящегося в помещении в рассматриваемый момент времени  $t$ ;

$c$  – удельная изобарная теплоемкость воздуха;

$\rho$  – плотность воздуха;

$L_0$  – объемный расход воздуха, проходящего через помещение,  $m^3/c$ ;

$t_{вх}$  – средняя температура воздуха, входящего в помещение;

$V$  – объем воздуха в помещении;

$t_{ст}$  – средняя температура стенок, пола, потолка помещения;

$F$  – площадь общей поверхности стенок, пола, потолка помещения;

$\alpha$  – средний коэффициент теплоотдачи воздуха со стенками помещения (без учета лучистой составляющей, так как воздух прозрачен к тепловому излучению);

$W_{ист}$  – интегральная мощность всех тепловых источников, действующих внутри помещения (прямое солнечное излучение, посетители и др.).

Типовой график изменения температуры воздуха в помещении на переходной стадии при скачке температуры приведен на рис 1. Представленный график показывает, что переходный процесс продолжается в течение 1 часа.

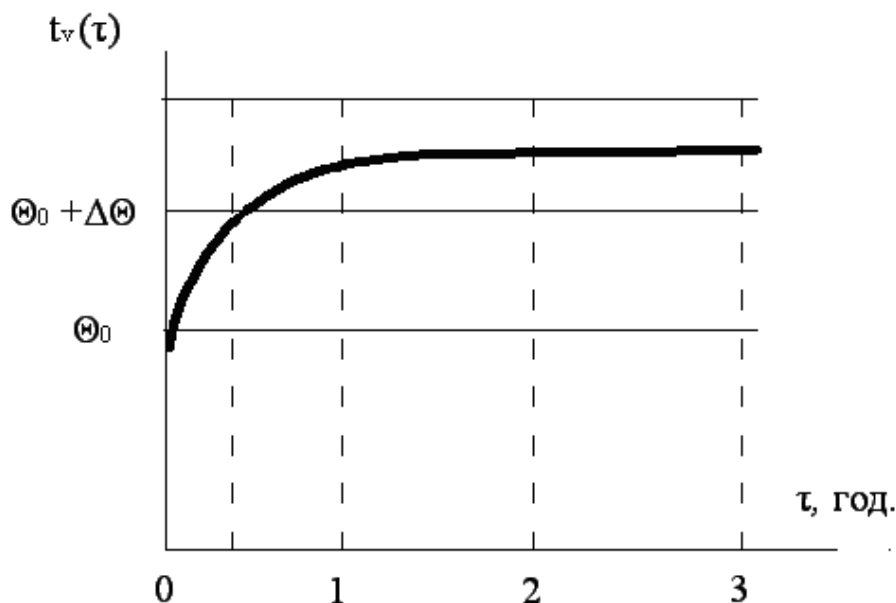


Рис. 1. График изменения температуры в помещениях театра при пассивном регулировании.

На основании проведенных расчетов на модели получены данные о тепловой инерционности воздуха в помещениях театра которые составляют 17,5 минут, причем при изменении коэффициента теплоотдачи воздуха  $\alpha$ , (что возможно осуществить путем изменения подачи воздуха на ограждающие конструкции с большей скоростью)

инерционность воздуха значительно уменьшается до  $\varepsilon = 6,3$  минут при  $\alpha_2 = 10,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$ , та  $\varepsilon = 3,3$  минут при  $\alpha_3 = 21 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$ .

На основании проведенного моделирования для обеспечения высокой скорости изменения состояния внутреннего микроклимата было предложено использовать в местные приточные системы вентиляции (рис. 2).

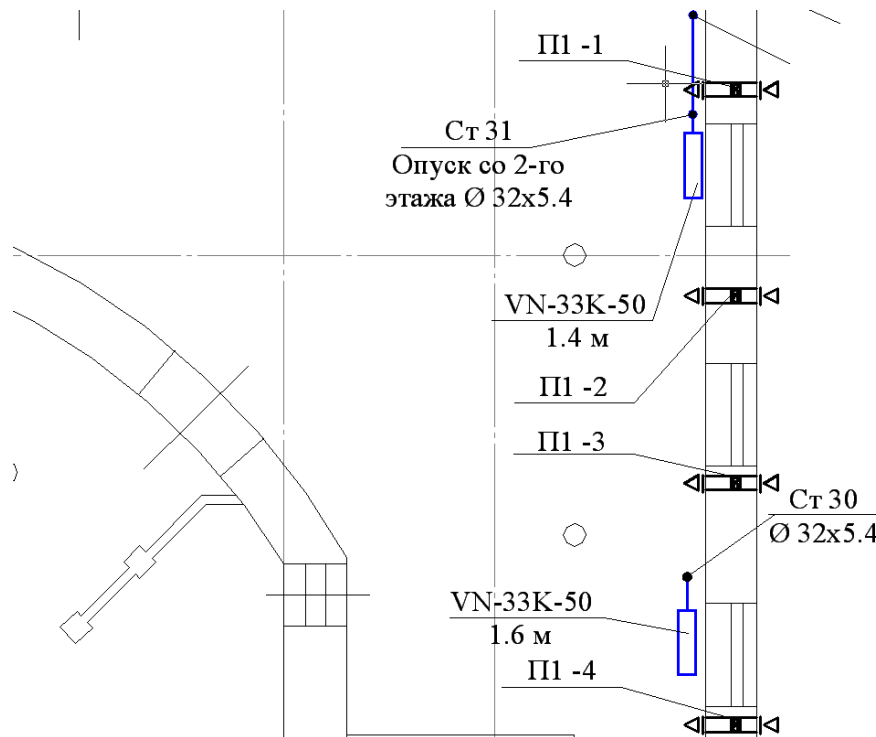


Рис. 2. Фрагмент плана 1 этажа театра.

П1-1 – П1-4 – местные приточные системы вентиляции;  
VN -33К-50 – отопительные приборы системы отопления

Предложенные системы оборудованы электрокалорифером, который позволяет нагревать воздух до нормируемой температуры, в тоже время эти системы не нарушают внутреннего интерьера, т. е. не нарушают восприятие объекта посетителями.

Всего в здании запроектировано 42 местные приточные системы, которые позволяют обеспечивать оптимальный воздухообмен в помещениях с учетом наполняемости театра.

Запроектированные местные приточные системы позволяют гибко и быстро реагировать на изменения микроклимата в зависимости от наполняемости театра и обеспечивают экономию энергии.

Удаление воздуха осуществляется через вытяжные системы В1–В4, которые расположенные в смежном помещении (Греческий зал), с которым показанные на рис. 2 помещения сообщаются через арочные проемы.

Для улучшения теплозащиты здания было проведено проектирование утепления кровли здания театра с помощью технологии и теплоизоляционных материалов фирмы «УРСА», что позволяет, обеспечить экономию на отопление за счет снижения расхода газа в объеме более 160000 грн/год, расчет экономического эффекта от утепления произведен с помощью программы фирмы УРСА [5].

В процессе модернизации изменен источник теплоснабжения здания с ТЭЦ на индивидуальную котельную, теплоноситель вода с параметрами  $90-70 \text{ }^\circ\text{C}$ .

До реконструкции отопление в здании обеспечивалось за счет однотрубной системы отопления подключенной через элеваторный узел к городской тепловой сети. С целью сохранения строительных конструкций было принято решение, не изменять принципиально

конструктивно систему отопления, но обеспечить ее современным энергоэффективным оборудованием.

Поэтому в здании театра запроектирована вертикальная однотрубная система водяного отопления, в качестве нагревательных приборов приняты стальные радиаторы "VONOVA", (рис. 2), произведен тепловой расчет нагревательных приборов с определением требуемой площади поверхности нагрева и гидравлический расчет системы отопления с помощью программы ГЕРЦ 3,5. Применение однотрубной системы также позволило сохранить строительные конструкции здания, т.к. возможно использовать существующие проемы в перекрытиях. А применение на радиаторах трехходовых клапанов CALIS совместно с термостатическими головками фирмы ГЕРЦ [6], обеспечило возможность термостатического регулирования.

#### Выводы

В результате оптимизации проектных решений по реконструкции теплоэнергетической системы театра определены рациональные пути по устройству систем тепловой защиты, отопления, вентиляции и теплоснабжения.

На основании математического моделирования тепловой инерционности воздуха в помещениях театра разработана конструкция энергоэффективной местной приточной системы вентиляции.

Полученные результаты можно рекомендовать для практического использования при реконструкции зданий имеющих архитектурно-историческую ценность.

#### Список литературы

1. Федченко Л. История театра / Федченко Л. // [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.teatr.od.ua/> – Название с экрана.
2. Шерон С. Парк. Системы микроклимата для исторических зданий / Шерон С. Парк // АВОК №1/2000. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=29/](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=29/) – Название с экрана.
3. Табунщиков Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Табунщиков Ю. А., Бродач М. М. – М.: Авок-пресс, 2002. –156 с.
4. Афтаниук В. В. Дослідження динамічних характеристик систем повітряного опалення та вентиляції виробничих приміщень / В. В. Афтаниук // Холодил. техніка і технологія / Одес. держ. акад. холоду. – Одеса, 2010. – № 1 (123) . – С. 76–78.
5. Альбом технічних рішень тепло- та звукоізоляції огорожувальних конструкцій житлових, громадських та промислових будинків на основі виробів зі скляного штапельного волокна URSA CLASSWOOL та екструдованого пінополістиролу URSA XPS / Матеріали для проектування. – К.: ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», ПП «УРСА», 2009. –154 с.
6. Покотилов В.В. Пособие по расчету систем отопления / Покотилов В.В. –Минск: ГЕРЦ Армагурен Г.м.б.х., – 2006. – 144 с.

## RECONSTRUCTION OF HEATING-ENERGY SYSTEM THEATRE

V. V. AFTANIUK, Dr. Sci. Tech., Prof.  
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa.

*The main aspects of reconstruction of the heating-energy system of historical buildings. Given rational technical solutions for thermal protection systems, heating, ventilation and heating of the theater. Based on mathematical modeling of the thermal inertia of the indoor air of the theater of design energy-efficient local-supply ventilation system.*

Поступила в редакцию 11. 05 2011 г.