

# Цифровые двойники ЛЭП

## Концепция цифровой модели управления производством

В этой статье мы рассмотрим модель построения цифрового двойника линий электропередач (ЛЭП) и практическое решение по реализации данной модели. Создание цифровых двойников является сегодня новым и неизбежным этапом в развитии технологий цифровизации, затрагивающем все отрасли экономики. Этот процесс сопровождается переводом управления производством в виртуальную сферу. Бурное развитие аналитических и информационных подходов с применением искусственного интеллекта и нейронных сетей в промышленном производстве с начала XXI века полностью подтвердило эффективность такого подхода.

Цифровизация позволяет создать единое информационно-технологическое пространство любой отрасли, в том числе и электроэнергетики – по всей ее технологической цепочке: от электростанции до конечного потребителя.

Одним из эффективных направлений решения стоящих при этом задач является использование технологии Computing Edge (краевых распределенных вычислений). Эта технология заключается в применении аппаратных устройств, устанавливаемых на промышленное оборудование всевозможных типов. Они осуществляют прием, аналитическую обработку и передачу результатов аналитики непосредственно на самих устройствах. При этом, при всей сложности и большом объеме принимаемых и обрабатываемых данных, на верхний уровень диспетчеризации передается лишь итоговый результат аналитической обработки данных.

Данная технология стала, по сути, новым этапом в развитии средств промышленной телеметрии. Она обладает целым рядом преимуществ по сравнению с традиционными средствами телеметрии. Во-первых, обработка данных производится здесь децентрализованно, непосредственно по месту установки устройств. При этом информационная нагрузка на линии связи и центральный сервер минимизируется. Во-вторых, очень важным является то, что диспетчеризация становится прогностической. Это означает, что коррекция производственного процесса производится заранее, а не постфактум, когда аварийное событие уже произошло. Кроме того, при использовании данной технологии принимаются и обрабатываются высокочастотные потоковые данные реального времени (с устройств видео- и аудиофиксации, вибродатчиков и т.д.), а также данные из сторонних источников (промышленной сети, сети интернет) – на что не способны традиционные телеметрические средства.

## Аппаратная база аналитических решений в электроэнергетике

В качестве аппаратной базы аналитических решений по технологии Computing Edge в электроэнергетике используется модуль дистанционной диагностики (МДД). Этот модуль представляет собой законченную аппаратную платформу, на которую в дальнейшем возможно размещать различные датчики или иные контролируемые устройства. Модуль размещается непосредственно на объекте измерения (на контролируемой линии ЛЭП с напряжением 6–110 кВ).

МДД содержит следующие основные компоненты:

- блок питания, представляющий собой трансформатор тока, который осуществляет отбор мощности от провода ЛЭП;
- блок хранения энергии;
- центральный процессор, который осуществляет обработку информации;
- блок передачи информации (sim-чип и антенна, интегрированная на устройстве);
- датчик температуры;
- датчик вибрации.

Возможно также оснащение модуля некоторыми другими датчиками, например, датчиком контроля натяжения провода и датчиком контроля токов утечки.

Корпус МДД позволяет достаточно быстро и легко размещать его на проводе. Для надежной его фиксации на проводе предусмотрены специальные механические крепления, ко-



торые позволяют избежать даже небольших скольжений и изменений угла подвеса в процессе эксплуатации устройства. Это очень важно для того, чтобы обеспечить долгосрочный мониторинг работы ЛЭП.

МДД измеряет следующие параметры провода ВЛ:

- силу тока в проводе в диапазоне значений от 0 до 250 А;
- температуру провода в диапазоне значений от -35 до +150 °С;
- угол стрелы провеса в диапазоне значений от 0 до 75 градусов;
- частоту вибрации в диапазоне значений от 0 до 200 Гц;
- амплитуду вибрации в диапазоне значений от 0 до 50 мм;
- натяжение провода в диапазоне значений от 0 до 20 кН;
- силу токов утечки в диапазоне значений от 10 мА до 1 А.

Соответственно, МДД представляет собой универсальную аппаратную платформу цифрового двойника провода ВЛ, которая позволяет реализовать целое семейство устройств для контроля различных параметров линии электропередач. Устройства передают информацию в стандартных протоколах, используя для ее транспорта GSM/GPRS сети. Информация передается на центральный сервер, который осуществляет сбор и обработку сигналов с устройств, а также дальнейшую трансляцию данных на уровень представления информации в энергокомпании. Реализовано также специальное приложение для контроля состояния устройств с мобильных телефонов и планшетов, без использования стационарных компьютеров.

В зависимости от конфигурации, решение позволяет иметь полное представление о состоянии линии электропередач без выезда на объект обслуживающего персонала. При этом появляется возможность проводить анализ в режиме онлайн, что значительно снижает стоимость обслуживания ЛЭП и позволяет оперативно реагировать на внештатные ситуации.

Существует несколько основных вариантов реализации модуля МДД в зависимости от наличия базовых датчиков. Один из возможных способов использования модуля – это интеллектуальный индикатор контроля коротких замыканий, который реагирует на превышение силы тока в линии по сравнению с заданным при помощи уставки верхним уровнем его величины. При увеличении тока выше уставки в течение заданного периода времени приходит сигнал о срабатывании устройства.



В данной конфигурации устройство может быть применено как дополнительное средство к оборудованию по определению мест повреждений (ОМП) на линиях с разветвленной структурой для определения мест короткого замыкания на спайках и направить бригаду ремонтников сразу к месту возникновения неисправности, сократив тем самым время ее устранения.

При размещении устройств на расстоянии 1 км друг от друга в случае возникновения короткого замыкания программа определяет сегмент сети между двумя группами устройств и сообщает оператору силу тока и фазу (фазы), в которых произошло короткое замыкание. Модуль осуществляет осциллографирование произошедшего короткого замыкания. На основании осциллограммы можно определять направление тока короткого замыкания, что позволяет более полно использовать возможности модулей на линиях с двусторонним питанием. Сейчас также ведется разработка модуля для возможности определения однофазных замыканий на землю в сетях с глухозаземленной нейтралью. После этого возможности модулей будут серьезно расширены.

Другим вариантом использования МДД является контроль утечки через изоляторы. В этом случае на тарелку изолятора ставится трансформаторный датчик микротока. Это возможно, как для гирлянды анкерных опор, так и подвесных изоляторов. Точно так же, в зависимости от уставки контролируется ток утечки через гирлянду, посредством чего мы можем судить о вероятности возникновения «перекрытий» по гирлянде из-за загрязнения или, например, из-за помета птиц.

Ну и главным на сегодня направлением применения МДД является контроль провода по различным параметрам его эксплуатации, таким как: стрела провеса, температура, которая позволяет вычислять массу гололеда. Также при помощи дополнительного анализа мы можем получать данные по обрыву стальных несущих элементов или необратимому вытяжению провода. Кроме того, как показали натурные испытания, появляется возможность фиксировать отклонение гирлянды от вертикали, что свидетельствует о существенной неисправности сети и может стать причиной ее внепланового ремонта.



Таким образом, устройства МДД представляют собой аппаратную базу для телеметрического контроля объектов ЛЭП в режиме реального времени, осуществляемого на первом уровне обработки. На следующем уровне эти данные применяются для аналитических решений узкоспециальных задач. Опыт применения устройств МДД на реальных объектах позволяет обучать на их данных нейронные сети, способные обеспечить прогностику событий. Совокупность телеметрических и аналитических решений позволяет построить полнофункционального «цифрового двойника» действующих ЛЭП.

#### **Методология решений узкоспециальных задач отрасли**

Первичной задачей телеметрии является фиксация выхода основных параметров за аварийные пределы допустимого минимума или максимума значений, то есть контроль «коридора нормы». А вот задачи аналитики шире. Они позволяют определить развитие процессов в реальном времени. На первом этапе практического применения аналитика выявляет существующие зависимости только на одном из основных контролируемых параметров. Например, по периоду и уровню амплитуды вибрации провода выявляется факт «пляски проводов» на участке ЛЭП с установленными на нем МДД.

Следующим, вторым, этапом аналитики является диагностика по совокупности показаний параметров. В частности, можно привести примеры диагностики по соотношению величины тока и степени нагрева провода, а также выявление комплексной ситуации на основании фиксируемых МДД совокупных показаний трех параметров: угла стрелы провеса, амплитуды и частоты вибрации. В результате таких совокупных воздействий фиксируются нестандартные случаи, которые можно классифицировать и в дальнейшем использовать при прогностической аналитике. Эти примеры иллюстрируют уже сложный анализ данных по многопараметрическим зависимостям. При таком анализе могут браться в расчет уже показания нескольких смежных объектов, и ситуа-

ция может диагностироваться в целом по ЛЭП.

Ряд узкоспециальных задач решается на основании существующих методик, когда требуемый параметр не дан явно, а вычисляется исходя из обработки данных МДД. В ряде случаев для этой цели подключаются также дополнительные внешние данные. Если расчетная модель достоверна, тогда функция вычисления реализуется программно, в режиме реального времени. В качестве примера можно привести расчетную задачу отклонения стрелы провода на основе выявления гололедных образований.

Расчетная модель создается поэтапно. Вначале ставится задача, исходя из технологических и экономических потребностей заказчика. Затем определяется алгоритм расчета согласно утвержденным методикам и нормативам. Далее определяется целевая переменная расчета и обеспечивается поток входных данных для расчета в режиме реального времени. После чего программируется алгоритм и автоматизируется сам расчет.

На следующем, третьем, этапе наступает очередь применения нейросетевой прогностики. В отличие от традиционных алгоритмических данных, нейросети не программируются, а обучаются на архивах данных реальных объектов. Поэтому, по мере накопления опыта работы МДД и роста количества данных (и параметрических, и сводных, и расчетных) расширяются возможности обучения нейросетей на их основе.

Нейросети применяются для прогностики целевых переменных. Они предоставляют возможность предсказывать наступление событий по совокупности факторов за несколько часов до их проявления. Еще одной целью применения нейросетей является классификация событий по набору значащих параметров. Если некоторое состояние, характеризующееся совокупным показанием определенного набора параметров, соотносить с каким-либо технологическим событием (например, чрезмерная «пляска проводов», обрыв провода и др.), то в дальнейшем при наступлении этих сводных состояний в многопараметрическом анализе событие можно будет классифициро-

вать в автоматическом режиме. Это важно для того, чтобы диспетчерская служба в таких случаях не терялась в догадках о том, что именно произошло на линии, а сразу же получала готовый диагноз произошедшего.

### **Прикладные задачи аналитики в электроэнергетике**

Прикладных задач в электроэнергетике очень много, и они весьма разнородны. В рамках единой концепции цифровизации ЛЭП прорабатываются разнородные решения относительно основных прикладных задач. Решения могут быть основаны только на данных МДД, на данных группы объектов, с подключением внешних данных и прочие.

Прикладные задачи имеют вполне определенный технологический и экономический смысл, упрощая и удешевляя обслуживание ЛЭП, предупреждая аварии, а также сокращая время и стоимость технических работ на линиях.

На аппаратной базе МДД решается следующий спектр прикладных задач электроэнергетики в отношении ЛЭП:

- предупреждение, раннее обнаружение, весовой уровень гололедных образований;
- выявление «пляски проводов» и условий их возникновения на участках ЛЭП;
- точное определение степени «усталости металла» проводов;
- контроль температуры провода при перегрузке ВЛ и плавке гололеда;
- определение места обрыва провода с точностью до пролета.

На аппаратной базе других устройств решаются следующие прикладные задачи:

- выявление прочности бетонных опор ЛЭП (при помощи нейрокompьютера);
- видеоконтроль: перегрева отдельных участков электрических цепей, при выявлении УФ явлений (обнаружение молниевых разрядов), при охране периметра (при помощи устройства МСД).

Вместе с тем, объединяющим ключом всех разнородных прикладных задач является модель «цифрового двойника ЛЭП» - полнофункционального виртуального представления контрольного участка ЛЭП. Характеризуя эту модель, уместно отметить, что «цифровой двойник» - это не некая расчетная модель системы в идеальных условиях, а сумма достоверных прогнозов действительных объектов. При этом цифровой двойник достоверен как в режиме реального времени, так и при имитации условий.

В режиме реального времени «цифровой двойник» позволяет контролировать и предвидеть технологические события в действующей системе. А в режиме имитации он позволяет моделировать предполагаемые изменения в системе, а также проводить всесторонний тренинг персонала (чем оказывает практическую помощь проектировщикам, конструкторам и службам по персоналу).

### **Постановка проблемы выявления гололеда на основании данных МДД**

Раннее выявление гололедных образований на ЛЭП и оценка степени обледенения имеет практическое значение при обеспечении бесперебойной подачи электроэнергии в сложных метеословиях и для профилактики обрывов на линии в этот период. Рассмотрим эту задачу в качестве примера разработки и реализации аналитических решений на аппаратной базе МДД.

Целевой переменной расчета гололеда является вес гололедных образований на 1 метр провода. Он рассчитывается через отклонение стрелы провеса с учетом метеословий. МДД предоставляет для выполнения расчета входные переменные: температуру провода, амплитуду вибрации и угол провеса. Остальные входящие переменные определяются характеристиками конкретной линии, для которой выполняется аналитический расчет.

Задача расчета сводится к решению системы уравнений и вычислению необходимого параметра. Математическая модель, описывающая поведение натянутого провода, уже давно известна и используется повсеместно при проектировании ВЛ. Определение величин напряжения на проводе и стрел провеса при изменениях атмосферных условий для различных длин пролетов выполняется при помощи уравнения состояния провода (формула Броуда) и формулы стрелы провеса. В формулах задаются начальные параметры, соответствующие установке провода: начальное условие натяжения, удельный вес провода, длина пролета между устройствами соседних линий, модуль упругости материала провода, температура в момент подвеса. Решая данную систему уравнений, мы получаем кубическое уравнение для параметра стрелы провеса и можем вычислять на основе данных о текущей температуре провода значение указанного параметра (стрелы провеса) без учета дополнительных воздействий на провод, таких как гололед, изморозь, или что-то иное. То есть, это является теоретическим значением стрелы провеса.



Натурные испытания подтвердили достоверность используемого теоретического подхода. Данные испытаний показали, что теоретические значения стрелы, полученные из расчетных формул при измеренной величине температуры, с точностью до 10 сантиметров совпадают с измеренными значениями. Кроме того, очень хорошо совпадают также теоретические и практические циклы изменения стрелы провеса в режимах день/ночь, а также совпадает тенденция уменьшения стрелы при наступлении осенне-зимнего периода.

Решая уравнение состояния провода относительно параметра удельного веса провода, мы можем получить значение веса гололеда и при дальнейшем расчете толщину гололедных отложений. Практическая проверка расчетного метода была проведена на конкретном контрольном (действующем) объекте. Метода контроля стрелы провеса достаточно для определения начала и контроля динамики гололедных процессов. Но для ответственных линий целесообразно использовать дополнительно также датчик натяжения. Он позволит более точно определить вес отложений, а также контролировать динамические нагрузки в проводе, возникающие под действием ветра. Это, в свою очередь, позволит принимать решения о плавке гололеда с учетом фактических нагрузок в проводе и избежать перерасхода электроэнергии на преждевременные плавки.

Также система может показать, что вес гололеда еще не критичен, но динамические нагрузки в проводе приближаются к максимально допустимым и необходимо проводить противогололедные мероприятия. Кроме того, система может учитывать накопленный износ провода и дать рекомендации провести плавку раньше в зависимости от степени износа. Дополнительная возможность, которая появляется при использовании метода, это контроль проведения плавки в реальном времени и, как следствие, экономия электроэнергии.

### **Модели нейросетевой прогностики с привлечением метеоданных**

Нейросеть представляет собой наиболее эффективный метод решения многопараметрических задач нелинейной оптимизации. Она применяется для расчетов состояния не теоретических моделей, а вполне реальных объектов промышленности (в том числе электроэнергетики), каждый из которых обладает своей спецификой, собственным местом рас-

положения и набором конкретных персональных данных, которые значительно сложнее, чем у идеальных систем.

Достоверность аналитического определения физических состояний открывает возможность прогнозировать данные состояния нейросетью, а также классифицировать их по совокупности входящих параметров. Прогностика осуществляется без вычисления сложных алгоритмических взаимосвязей, а по факту. То есть нейросеть не пользуется сложными формулами и вычислениями. Она обучается на реальных данных реального физического объекта.

В качестве примера возможного применения нейросети в создании «цифрового двойника» ЛЭП рассмотрим модель по обнаружению гололедных образований, обученную на архиве данных МДД контрольной линии и данных метеостанции, установленной на том же участке ЛЭП. Метеостанция передает 28 параметров погоды реального времени с периодичностью в 15 секунд. Каждый из параметров по отдельности мало информативен, но взятые все вместе, да еще и с показателями МДД, они целиком характеризуют комплекс взаимодействия погоды и состояний провода на участке.

При разработке нейросетевой модели в качестве рабочей гипотезы исследования была принята возможность достоверно прогнозировать состояние провода в режиме реального времени нейросетью, обученной на архиве данных МДД и метеостанции. В качестве входящих данных исследования были выбраны передаваемые от МДД амплитуда и частота вибрации провода на трех пролетах ЛЭП и угол провеса провода, а также 12 из 28 параметров метеостанции. Был использован общий объем данных для обучения нейросети в количестве более 27 миллионов записей, которые содержались в 948 173 пакетах данных, сформированных с 01.04.2021 года.

Целевой переменной рабочей гипотезы был установлен угол провеса провода, на основании данных о котором, как было показано выше, определяется факт проявления и вес гололедных образований. На 1-м этапе проверки рабочей гипотезы проверялась воспроизводимость указанного параметра. Для этого осуществлялась проверка гипотезы многопараметрической зависимости целевой переменной от показателей метеостанции и данных МДД соседних объектов на основании прогноза обученной нейросети. То есть проверялась возможность получить адекватные данные о состоянии кана-



ла «значение угла стрелы провеса» по связным параметрам, при исключении объективных данных целевой переменной из набора входных параметров. Или, говоря проще, насколько адекватно действительным данным канала можно воспроизвести их по косвенным данным. По итогам проверки выявлена сходимость целевой переменной и воспроизведенного нейросетью ее значения с точностью 96,7%. Это подтвердило зависимость целевой переменной (угла провеса) от совокупности входящих данных – показателей метеостанции и значений, полученных от МДД. Соответственно, было доказано, что параметр целевой переменной можно воспроизвести.

После доказательства воспроизводимости целевого параметра, на 2-м этапе проверки рабочей гипотезы была поставлена задача формирования и оценки достоверности прогноза, хотя бы на несколько часов вперед. Для решения этой задачи была использована глубина входящих данных уже в обученную нейросеть в объеме 1 сутки. Горизонт прогноза был установлен в 1 час. Такая небольшая величина горизонта прогноза объясняется небольшим объемом метео данных о погоде, имевшимся в наличии и использованным для обучения нейросети на момент решения данной задачи. Но и набранных данных оказалось достаточно, чтобы обеспечить точность прогноза при тестировании на уровне 95%. Для чистоты эксперимента, прогноз был сформирован ранее, чем пришли реальные данные от МДД, а уже после их поступления было выявлено соответствие с прогнозом. Соответственно, несмотря на небольшой объем метео данных, в пределах поставленной рабочей гипотезы возможность прогноза была доказана достоверно.

Рассмотренная модель имеет скорее иллюстративный, нежели практический характер. Но данный метод прогнозтики автоматизирован и готов к применению в структуре действующего программного обеспечения. Для формирования действующей модели прогноза требуется обучение на данных объемом не менее 1 года. То есть нейросеть должна «знать» весь общегодовой календарный цикл изменений погоды на участке. Данная модель применима в режиме реального времени, с формированием целевого достоверного прогноза на горизонте 4–6 часов. Эта модель может быть также использована для определения условий, вызывающих наибольшие вибрации провода: по направлению и силе ветра, а также для расчета ветрозащиты.



### Высококачественная аналитика определения прочности опор ЛЭП

Рассмотрим еще один пример, где весьма успешно работают нейросети, обеспечивая точность прогноза до 98%. Это задача определения прочности опор ЛЭП. Аппаратной базой при решении этой задачи является нейрокомпьютер. Данная задача решается методом неразрушающего контроля прочности бетона, из которого изготовлены опоры ЛЭП. Нейрокомпьютер принимает и обрабатывает сигналы микрофона, фиксирующего в режиме реального времени процесс проведения испытаний бетона.

Все вычисления по определению прочности бетона выполняются согласно СТО 56947007-29.120.95.017-2009 Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» «Методика диагностики состояния фундаментов опор ВЛ методом неразрушающего контроля». Методом исследования является автоматическое модулирование механических ударов по бетонному блоку с фиксацией аудиосигнала и последующим его разложением на амплитудно-частотные характеристики (АЧХ). При этом выявляются резонансные частоты с анализом происходящих на диаграмме АЧХ изменений при последовательном разрушении блока. При разрушении блока наблюдается постепенный распад основного резонанса со смещением пика от 3875 к 3720 Гц и усилением побочных резонансов. При разрушении блока поперечной трещиной наблюдается резкое снижение амплитуды и полная потеря исходной резонансной частоты.

Нейросеть обучается на базе реальных измеренных значений указанных параметров. Это в дальнейшем позволяет ей в режиме реального времени фиксировать степень целостности бетонного блока и, соответственно, прогнозировать разрушение бетона во времени. Такая методология в конечном счете дает возможность прогнозировать срок службы бетонной опоры ЛЭП, исходя из установленных закономерностей смещения резонансной частоты, с точностью прогноза не менее 95%. Кроме того, осуществляется классификация состояния бетонной опоры для выполнения ее своевременной замены и предотвращения аварий на линии ЛЭП. ■

■  
Статья подготовлена по материалам вебинара «Искусственные нейросети и электроэнергетика. Выбираем данные для аналитики. Построение Цифрового Двойника ЛЭП», проходившего 29 сентября текущего года.

# Защита помещений от шума

Владимир Куприянов

## Что такое звук и шум

Одним из важных показателей комфортности пребывания людей в помещении является уровень шума в нем. Шум, как известно, это совокупность неясных отличающиеся сложностью временной и спектральной структуры звуков, сливающихся в однообразное звучание. Соответственно, понятие шума тесно связано с акустикой помещений. Вспомним, что звук – это механическое колебание воздуха. Мы живем в мире звуков, они окружают нас буквально везде, как правило, сливаясь в многоголосье шума.

Очень важной для человека характеристикой, как звука, так и шума является сопутствующая ему амплитуда воздушных колебаний, которую мы воспринимаем как уровень громкости. Еще одним важным параметром является частота воздушных колебаний. Человеческое ухо слышит звуки только определенного частотного диапазона: от 20 Гц до 20 кГц. Все, что ниже по частоте (инфразвук) и выше по частоте (ультразвук) мы не слышим, однако и эти звуки, особенно если их уровень высокий, воздействуют на организм человека и в основном в негативном плане.

Различным помещениям свойственны шумы разного уровня. Так, в производственных помещениях уровень шума зачастую довольно высокий. Здесь источник шума нередко бывает расположен непосредственно в самом помещении. В жилых помещениях и помещениях некоторых видов общественных зданий уровень шума, напротив, бывает обычно небольшим. Для жилого помещения низкий уровень шума вообще является одним из самых важных требований комфортности, чтобы пребывание в нем не вызывало у человека постоянное напряжение и раздражение. Особенно вредным является воздействие шума на организм спящего человека.

Уровень шума измеряется в децибелах (дБ). В качестве иллюстрации отметим, что шум дождя – это порядка 40 дБ, голос чело-

века – 60 дБ, автомобили, движущиеся по шоссе – 85 дБ, музыка на концерте – 100 дБ, реактивный двигатель самолета – 130 дБ (это уже болевой порог для человеческого уха).

## Чем отличается акустика помещения от его звукоизоляции

При проектировании помещений стоят две задачи, которые часто путают между собой – это акустика помещения и его звукоизоляция. На самом деле, это совершенно разные задачи, у них различные способы решения и применяются абсолютно разные материалы.

Акустика направлена на то, чтобы сформировать внутри помещения правильное звуковое поле. Многие замечали, что в пустом помещении, особенно если там еще не было внутренней отделки, наблюдается чрезмерная гулкость. Если там, например, что-то говорить, то сказанное будет повторяться многократным эхом. Такой эффект образуется из-за пониженного звукопоглощения ограждающих конструкций этого помещения, в результате чего все звуки там не поглощаются данными конструкциями, а многократно отражаются от них и возвращаются снова в помещение. Но стоит только провести отделочные работы и установить в помещении мебель, как все эти эффекты в большинстве случаев пропадают. Для жилых помещений такого решения зачастую бывает достаточно и каких-то дополнительных мер по обеспечению приемлемой акустики помещения, как правило, не требуется. А вот в отношении помещений специального назначения, например, театров, концертных залов, вопрос хорошей акустики приобретает первостепенное значение.

При этом помещение с хорошей акустикой может обладать весьма плохими звукоизоляционными свойствами. Точно также встречаются и обратные примеры, когда помещение обладает очень хорошей звукоизоляцией, но при этом отвратительной акустикой.

Шум дождя  
40 дБ

Голос человека  
60 дБ

Автомобили  
85 дБ

Музыка на концерте  
100 дБ

Реактивный двигатель  
130 дБ



Для жилых помещений значительно важнее обеспечить хорошие звукоизоляционные свойства. Звукоизоляция – это свойство ограждающей конструкции противодействовать проникновению через нее шума. В жилые помещения шум может поступать через ограждающие конструкции, например, с улицы от транспорта, движущегося по автомагистралям или по железной дороге, из соседних помещений, где проживают шумные соседи или установлено излучающее шум инженерное оборудование.

От своего источника шум падает на ограждающую конструкцию, частично отражаясь от нее, а частично проникая внутрь и выходя уже на другой стороне конструкции, обращенной в помещение. При этом одни конструкции задерживают внутри себя большее количество шума, а другие меньше. Какой конкретно будет степень затухания шума зависит от звукоизоляции ограждающей конструкции.

Погруженность в шумовое поле совершенно обыденная история для любого жилого дома, расположенного практически в любом населенном пункте. А люди, как правило, довольно восприимчивы к шуму, который является для них нежелательным дискомфортом. Если же уровень шума в его источниках достаточно большой, то без специальных мероприятий по повышению звукоизоляции ограждающих конструкций и всей системы дома уже просто не обойтись.

Требуемый уровень звукоизоляции закладывается уже на этапе проектирования и при строительстве дома. В рамках данных мер, в частности, производится виброизоляция фундамента здания в тех случаях, где имеются потенциальные внешние источники вибрации или иная необходимость в реализации такого решения. Заранее просчитывается воздействие также и внутренних источников шума и вибрации, расположенных в самом здании: лифтов, канализационных стояков и другого инженерного оборудования.

### **Нормативные требования и рекомендации**

Основной нормативный документ, который регламентирует требования по акустике и звукоизоляции зданий и помещений, это Свод правил СП 51.13330.2011 «Защита от шума». Данный документ является актуализированной редакцией действовавшего ранее СНиП 23-03-2003.

Свод правил устанавливает нормативные требования, во-первых, к воздушному шуму. Это такой вид шума, который распространяет-



ся к ограждающей конструкции здания (стены, пол, потолок) по воздуху. При этом, каждый из конструктивных элементов здания имеет определенный уровень индекса звукоизоляции по воздушному шуму, который также измеряется в децибелах, и величина которого нормируется Сводом правил.

Второй важный параметр, который также нормируется СП 51.13330.2011, это индекс приведенного ударного шума. Данный параметр регламентируется только для перекрытий в зданиях. Отметим, что ударный шум возникает только тогда, когда происходит механическое воздействие на элемент здания (например, на ограждающую конструкцию).

Оба указанных выше нормируемых параметра связаны с звукоизоляцией ограждающих конструкций. Сводом правил нормируется еще и коэффициент звукопоглощения, но он связан уже с акустикой помещений. Когда мы говорим об индексе звукоизоляции воздушного шума, то здесь важно отметить, что чем выше значение показателя этого индекса, тем звукоизоляция лучше. В ударном шуме все иначе: звукоизоляция будет лучше при более низких величинах показателя индекса звукоизоляции ударного шума.

Для каждого помещения, в зависимости от его назначения, в Своде правил регламентируются предельно допустимые уровни звукового давления, а говоря проще, уровни фонового шума. Эти нормируемые уровни разложены по частотному спектру звука (по октавным полосам частот), поскольку различные частоты по-разному воздействуют на человека.

Так, для жилых помещений установлены два нормативных параметра: на дневной период времени и на ночной. Днем в жилых помещениях допускается наличие несколько более сильного шума: эквивалентный уровень звука – 40 дБ, максимальный уровень звука – 55 дБ. А ночью, когда шум особенно неблагоприятно воздействует на организм человека, его допустимый уровень ниже: эквивалентный уровень звука – 30 дБ, а максимальный уровень звука – 45 дБ.



Нормируются в Своде правил также предельные величины индексов изоляции воздушного шума ограждающих конструкций и приведенных уровней ударного шума перекрытий при передаче звука сверху вниз и снизу вверх. Здесь также дается разбивка по видам зданий и помещений в зависимости от их назначения, а кроме того установлены самостоятельные нормативы на различные виды ограждающих конструкций и их расположение в помещениях.

Как мы уже отмечали, приведенные в Своде правил требуемые величины индексов изоляции воздушного шума ограничены снизу, т.е. в реальности должны наблюдаться более высокие значения этого параметра, а требуемые величины приведенных уровней ударного шума ограничены сверху, т.е. в реальных условиях должны присутствовать менее высокие значения этого параметра.

В СП 51.13330.2011 приводится множество информации, связанной с рекомендациями по проектированию ограждающих конструкций, обеспечивающих нормативную звукоизоляцию и защиту от шума. Приведенные в данном Своде правил нормативы являются инструкцией к действию для проектировщиков при выборе конкретных конструкций ограждений для проектируемого ими здания.

Вместе с тем, следует заметить, что на практике ситуация с методологией расчетов по защите от шума обстоит по-разному. Ситуация с расчетом акустики помещений сейчас обстоит довольно хорошо. А вот в отношении расчета звукоизоляции имеются весьма серьезные проблемы. Дело в том, что несмотря на наличие в СП 51.13330.2011 описания расчета

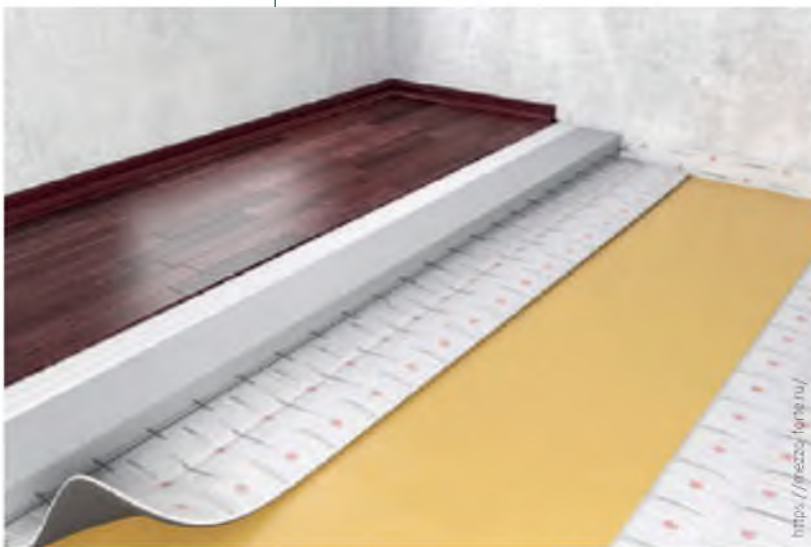
ограждающей конструкции на звукоизоляцию, нормальная методика расчета на воздушный шум все-таки при этом отсутствует.

Ведь в Своде правил описано буквально только два – три варианта конструкций, которые можно лишь очень приблизительно рассчитать. Да к тому же и спектр применяемых в них материалов, технические характеристики которых приведены в СП, очень небольшой, всего лишь 5-6 наименований. А это означает, что любой вариант, отличающийся по конструктиву или по материалам от этого скудного набора автоматически приводит к серьезным ошибкам в расчете.

Поэтому тем, у кого имеется такая возможность, приходится проводить в лаборатории натурные испытания на звукоизоляцию каждого типа конструкции, которая используется при включении в проект здания. Зачастую только протокол таких испытаний является единственным законным основанием для признания конструкции соответствующей требованиям по звукоизоляции от воздушного шума.

Что касается ударного шума, то звукоизоляцию от него рассчитать проще, чем такой же показатель от воздушного шума. Для этого существует нормальная методика, которая позволяет качественно рассчитать индекс передачи перекрытием ударного шума, исходя из некоторых параметров. Данные параметры достаточно легко найти. Здесь, по сути, надо знать толщину материала, из которого изготовлено перекрытие, толщину материала, из которого изготовлена стяжка, и параметры материала, из которого вы хотите сделать звукоизоляционный слой. Для материала звукоизоляционного слоя достаточно иметь значение трех параметров: толщины, коэффициента относительного сжатия и динамического модуля упругости.

Заметим, что СП 51.13330.2011 не единственный нормативный документ по вопросам защиты от шума, имеется еще ряд подобных документов. Назовем в качестве примера один из них - Свод правил СП 271.1325800.2016, регламентирующий звукоизоляционные аспекты проектирования вентиляционных систем, а также систем кондиционирования. Это важный для практического использования документ, поскольку, как известно, вентиляция и кондиционеры являются одними из самых шумных инженерных систем в здании. Данный свод правил весьма большой по объему, и он полностью предназначен для проектировщиков.



## Реальность, мифы и легенды звукоизоляции

В старых домах каких-либо проблем с звукоизоляцией не было. Это касается не только домов сталинского периода застройки, но и так часто критикуемых хрущевок, не говоря уже о зданиях, построенных еще раньше. Причина этого проста – в те периоды в строительстве применялись другие материалы, чем сейчас. Если раньше стены и перегородки изготавливали из прочных и массивных материалов (бетон, кирпич), то в современном строительстве почти сплошь все это состоит из легких пеноблоков. Такой современный подход закладывает основу для системной проблемы, ведь легкие строительные материалы намного хуже по своим звукоизоляционным свойствам по сравнению с тяжелыми.

Согласно статистике по 120 измерениям индекса звукоизоляции перегородок в квартирах реального современного жилого дома, проведенным Институтом исследований и испытаний в области строительства, более чем в 70% случаев в них не обеспечивается нормативный уровень звукоизоляции. А для перегородок, состоящих из пеноблоков, неудовлетворительный результат по звукоизоляции показали все 100% обследованных объектов.

А это означает, что современные здания и помещения, зачастую, требуется оснащать дополнительными решениями и конструкциями, повышающими степень их звукоизоляции. И здесь мы сталкиваемся с первым мифом, гласящим, что мероприятия по повышению звукоизоляции – это дорого. В реальности же все обстоит иначе. Для этого не обязательно и даже не нужно звукоизолировать весь периметр помещения. Любой специалист в данной сфере сможет найти в помещении проблемные места и надо будет лишь правильно организовать только их дополнительную звукоизоляцию.

Так, если какое-то помещение является источником шума для тех, кто находится внизу под ним, то самое лучшее решение – это сделать звукоизоляцию пола в этом шумном помещении. Стоимость работ в таком случае будет примерно в 3 раза меньше, чем если бы пришлось делать звукоизоляцию потолка в нижнем помещении.

Если мы говорим о стенах, то здесь чаще всего возникает вопрос не о самой целесообразности звукоизоляции, а о толщине звукоизоляционного слоя, на которую готов пойти заказчик. И здесь проектировщик является заложником действующих стандартов, ведь



изделия из всех используемых при звукоизоляции материалов (гипсокартон, минеральная вата, стекловата, полиэфирное волокно и другие) имеют свою стандартную толщину.

Вообще при проектировании звукоизоляции необходимо учитывать не только акустические расчеты и требования к параметрам защиты от шума, но и конструктивные особенности изолируемых элементов: полнотелой или пустотелой является ограждающая конструкция, каковы возможные способы и особенности крепления к ней звукоизоляционного слоя и элементов внутренних инженерных сетей.

В частности, в мероприятиях по защите от шума должна быть предусмотрена установка на стенах звукоизоляционных подрозетников. Это особенно важно, когда используются архитектурно-планировочные схемы помещений с расположением в них электрических розеток друг напротив друга (например, в номерах гостиниц), что является прямым мостиком для прохода звука. В этом случае без дополнительных мер по звукоизоляции (специальных подрозетников) даже при хорошо изолированных стенах слышимость будет превосходной. Такой же эффект будет наблюдаться и при расположении в помещениях в один ряд телевизоров.

А вообще, любая звукоизоляция базируется на использовании двух компонентов: гибкая вставка (например, пружина) и массивная вставка (например, блок). Для повышения звукоизоляции необходимо максимально утяжелить второй слой и, если есть возможность, увеличить его относ. Варьируя эти параметры можно получить различный уровень защиты от шума. Когда финишные условия по цене вопроса дороговаты для заказчика, то можно увеличить величину относ. и в меньшей степени менять параметры массивного компонента. При этом увеличивается толщина звукопоглощающего слоя по отношению к толщине звукоизоляционного слоя. Следует помнить, что звукоизоляция – это масса и плотность, больше ничего. Все остальное сказки, мифы и легенды. ■

■ При подготовке статьи использовались материалы форума «Акустика и звукоизоляция в дизайне и архитектуре», проведенного 17-18 сентября текущего года компанией «К-ФЛЕКС».

# Водоснабжение мужского монастыря Ганина Яма

Ольга Балова

## Место исторической скорби

Ганина Яма — общепринятое название заброшенного Исетского рудника возле Екатеринбурга, куда в ночь с 17 на 18 июля 1918 г. после расстрела были привезены останки императора Николая II, его семьи и четверых приближенных. Сначала их скинули в шахту, находившуюся рядом с Ганиной Ямой, а потом там же сожгли при помощи керосина и серной кислоты. Останки были зарыты.

На Архиерейском соборе 14 августа 2000 г. Николай II и его семья были прославлены в чине святых Царственных Страстотерпцев. 28 декабря 2000 г. постановлением Священ-

ного Синода Русской Православной Церкви благословлено открытие мужского монастыря во имя Царственных Страстотерпцев в урочище Ганина Яма города Екатеринбурга. Сейчас в монастыре действует семь храмов — по количеству убитых членов царской семьи (рис. 1).

## Строительство монастыря

Коллектив архитекторов (рис. 2) в составе Татьяны Алексеевны Петкевич (17.07.1953–12.10.2001), (архитектор-градостроитель), Натальи Сергеевны Акчуриной (профессор, кандидат архитектуры, член Союза архитекторов, преподаватель кафедры архитектурного проектирования УрГАХУ), Надежды Васильевны Дорониной (доцент УрГАХУ), Александра Евгеньевича Шарыпова (руководитель АМП «ЛЕАР») и конструктора Анатолия Григорьевича Трущева (консультант Екатеринбургской епархии, профессор, ранее преподававший в УрГАХУ) приступил к проектированию монастыря весной 2000 г., победив в закрытом епархиальном конкурсе.

На Ганиной Яме, у памятного креста, установленного над шахтой, первоначально было поручено запроектировать просто небольшой навес над аналоем и домик с кельями для монахов, а потом — небольшой храм и братский корпус. Идея монастыря развивалась от изначального обустройства места для молитвы до небольшого скита, а затем и монастырского комплекса.

В основу генерального плана была заложена идея пасхального яйца как символа Воскресения и Возрождения. Вся территория делилась на паломническую и монастырскую. В паломнической части находятся храмы, колокольня-водонапорная башня, музей, церковная лавка. В монастырской — братский корпус, трапезная, хозяйственные постройки. Все постройки монастыря деревянные и строительство монастыря знаменовало собой возрождение деревянного храмового зодчества.

Строительство первого храма в честь святых Царственных Страстотерпцев было начато 22 сентября 2000 г., а 27 декабря 2000 г. храм был освящен. Этот храм ближе остальных расположен к шахте № 7, в которую были сброшены тела Царственных Страстотерпцев. Второй храм во имя святого преподобного Серафима Саровского строился практически параллельно с Царским храмом и был освящен весной 2001 г.

Третьим был заложен храм во имя святого преподобного Сергия Радонежского. Своим шатром храм вознесся на тридцатиметровую



Рис. 1. План монастыря Святых Царственных Страстотерпцев Ганина Яма



Рис. 2. Коллектив архитекторов Петкевич Т.А., Акчурина Н.С., Доронина Н.В. (слева направо)

высоту. Идея устремленности к небу воплотилась в создании высокого подклета с размещенными в нем служебными кельями. Высокие сложные крыльца и каскады бочек с главками, поддерживающие восьмерик под шатром, создают образ храма, подобного высокому монашескому подвигу преподобного Сергия.

11 апреля 2001 г. был заложен надвратный храм в честь иконы Божией Матери «Иверская», обозначивший главный вход в монастырь. Пятый строился храм во имя святителя Николая, архиепископа Мир Ликийских, Чудотворца. Его закладка также была произведена весной 2001 г. Никольский храм встал на месте одного из кострищ, где сжигали останки царской семьи, рядом с галереей вокруг шахты. Образ храма решен в виде совокупности семнадцати главков. Высота храма 17 метров. Эти числа отнюдь не случайны: они связаны с памятью о дате 17 июля 1918 года.

За 2002–2006 гг. в монастыре были построены храм в честь иконы Божией Матери «Державная», архиерейское подворье, домовый храм во имя святого праведного Иова Многострадального, игуменский корпус, здание церковной лавки и музея. Над ними работали архитекторы Екатеринбургской епархии К.В.Ефремов и В.А.Шадрин. В 2006 г. была запроектирована и построена паломническая трапезная на входной площади монастыря. Изменения в составе проектировщиков исключили преемственность в реализации первоначальных замыслов монастырского комплекса. При этом нарушается общая стилистика, т.к. новые постройки совершенно разные.

### Водонапорная башня

В 2003 г построена большая монастырская колокольня (рис. 3), запроектированная еще в первом варианте генплана (рис. 4). Колокольня с тремя главками увенчивает здание водонапорной башни, которая построена над скважиной глубиной 75 м. При бурении строители вышли на подводную реку диаметром 5 м. Водонапорная башня и звонница представляют собой самостоятельные сооружения, не связанные конструктивно (рис. 5, 6). Высота здания около 30 метров. Водонапорный бак имеет размеры 2 x 3 x 1,5 метра. На колокольне 9 колоколов. Звук распространяется со звонницы свободно, не приглушается и не теряет частотных и других характеристик.

При рубке углов сооружения применялись старинная традиционная технология «в чашу» («в обло с остатком») и материал прежних



Рис. 3. Колокольня-водонапорная башня

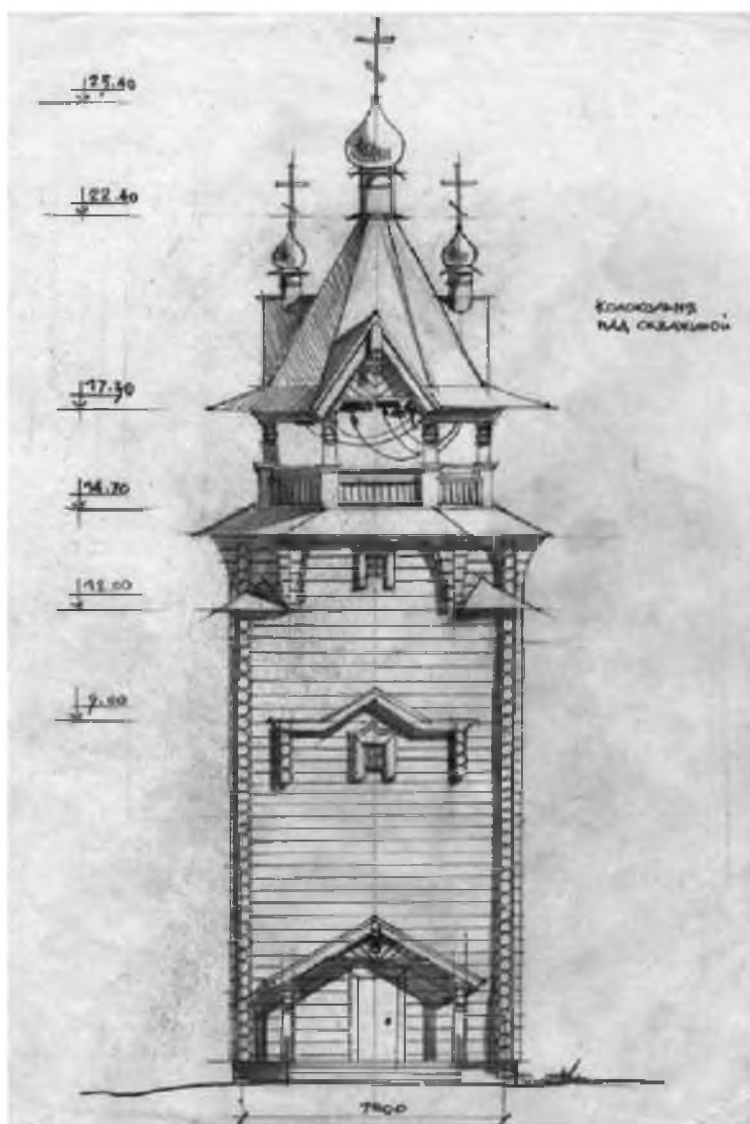


Рис. 4. Первоначальный эскиз

Автор благодарит за предоставленные материалы профессора, кандидата архитектуры, члена Союза архитекторов Наталию Сергеевну Акчурину.

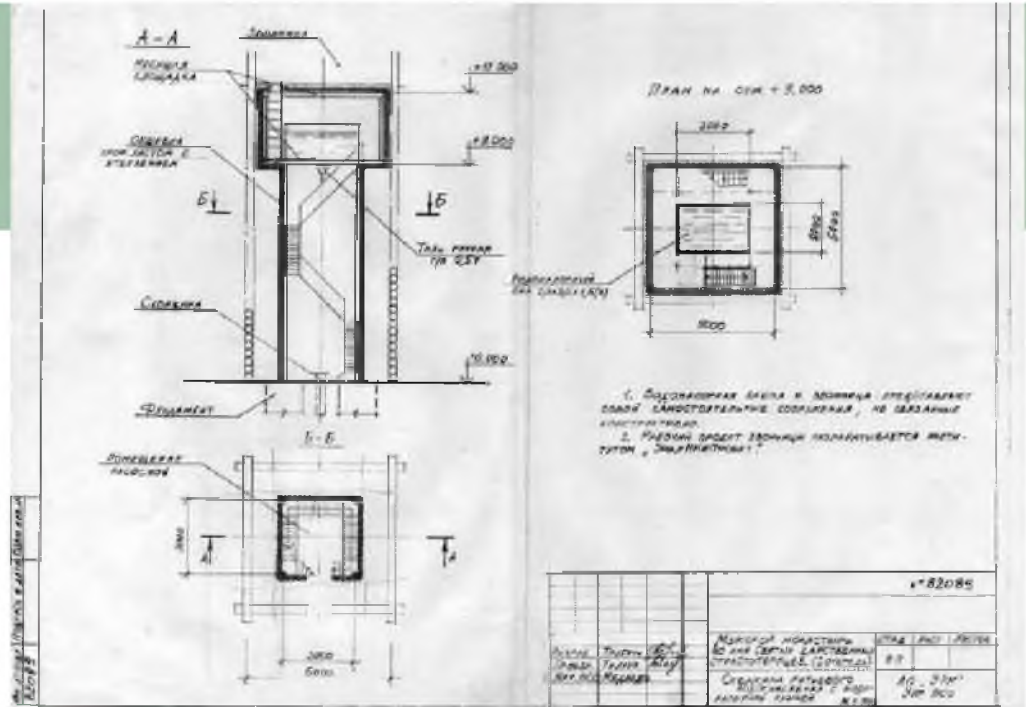


Рис. 5. Конструктивная схема

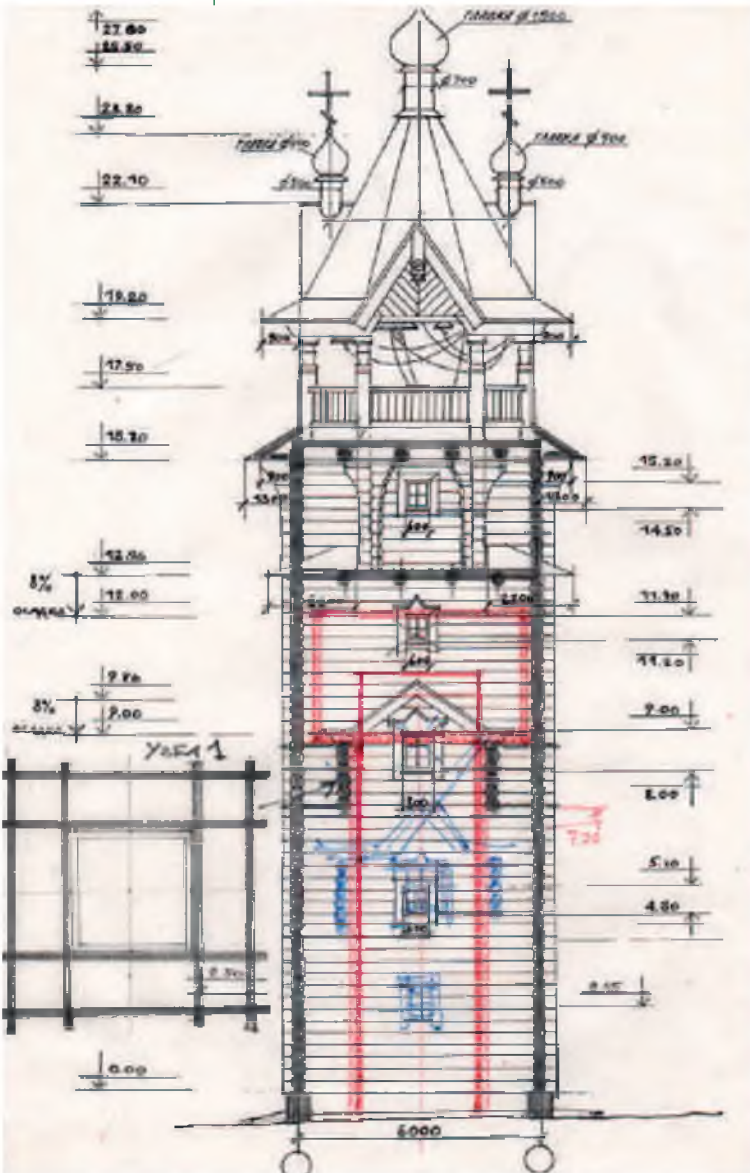


Рис. 6. Разрез

времен (кругляк). Такой сруб не только наиболее устойчив и защищен от атмосферного воздействия, он прост в реализации и представляет большие возможности в эстетическом плане. А самое главное - это наиболее органичная форма деревянного храма.

Данная постройка является настолько оригинальной, что привлекла внимание екатеринбургских ювелиров, которые изготавливают на заказ сувениры из латуни «Ганина Яма – водонапорная башня – колокольня».

### Литература

1. Акчурина Н.С. Строительство современных деревянных храмов на Урале: авторский опыт проектирования [Текст]: монография / Н.С. Акчурина; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный архитектурно-художественный университет» (УрГАХУ). – Екатеринбург: Архитектон, 2016. – 164 с.: ил.

2. Долгов А.В. Деревянное зодчество Урала. Свердловская область. Челябинская область [Текст]: [научно-популярное издание] / А.В. Долгов, Н.Н. Митина, В.Д. Оленьков. - Екатеринбург: Сократ: Ин-т УралНИИпроектРААСН, 2012. – 230, [1] с.: ил., карты, портр., цв. ил., карты.

3. Петкевич Т.А. Комплекс мужского монастыря во имя святых Царственных Страстотерпцев на Ганиной Яме / Петкевич Т.А., Акчурина Н.С., Доронина Н.В. // Известия вузов. Architecton. – 2003. – N 4/5. – С. 18–19: ил.

4. Монастырь святых Царственных Страстотерпцев Ганина Яма [Текст]: [фотоальбом] / [фотографии: Козионов П. и др.]. – Екатеринбург: Изд. мужского монастыря святых Царственных Страстотерпцев (в урочище Ганина Яма), 2017. – 38 с.: ил., портр., цв. ил., портр. ■

ОТСКАНИРУЙТЕ QR-КОД И ОСТАВЬТЕ ЗАЯВКУ НА  
ПОЛУЧЕНИЕ БЕСПЛАТНОГО АУДИТА ПО ВНЕДРЕНИЮ  
УСЛУГИ ЭНЕРГОКОНСАЛТИНГ



### ЭКОНОМИЯ

Экономия до 30% на оплате электроэнергии. Переход на оптимальную ценовую категорию




### ОПТИМИЗАЦИЯ ТРУДОЗАТРАТ

Делегирование обязанностей по проведению взаиморасчетов со сбытовой компанией



### БЕЗ ВЛОЖЕНИЙ

Внедрение / модернизация систем учета энергоресурсов без первоначальных вложений

 **СВЯЗЬ ИНЖИНИРИНГ М**  
СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ



**WEB**  
[www.allmonitoring.ru](http://www.allmonitoring.ru)



**E-MAIL**  
[info@allmonitoring.ru](mailto:info@allmonitoring.ru)



**ТЕЛЕФОН**  
+7 (495) 640-47-53



**АДРЕС**  
г. Москва, Каширский проезд, д. 13

# Приглашаем оформить подписку на журнал «Коммунальный комплекс России»

## Каждый подписчик в течение года получит:

- 12 красочных печатных номеров журнала, наполненных актуальными публикациями по самому широкому спектру злободневных вопросов, относящихся ко всем направлениям сферы ЖКХ;
- бесплатный доступ к информационной системе, размещенной на официальном сайте журнала <http://gkhprofi.ru/> и содержащей богатый набор методических разъяснительных материалов по самым важным аспектам практической деятельности в сфере ЖКХ;
- возможность получения бесплатных консультаций от ведущих экспертов отрасли по способам решения вопросов, относящихся к деятельности конкретно вашей организации;
- возможность бесплатной публикации на страницах журнала статьи о своей компании.

**КОММУНАЛЬНЫЙ  
КОМПЛЕКС  
РОССИИ**

## По вопросам подписки обращайтесь:

тел. 8(499) 372-10-39,  
8 800-200-11-81;  
[zolin@od-group.ru](mailto:zolin@od-group.ru)

**Золин  
Юрий Михайлович**

ЖУРНАЛ «КОММУНАЛЬНЫЙ  
КОМПЛЕКС РОССИИ» –  
источник мудрости для птиц  
высокого полета.

*Не забудьте  
подписаться!*

