

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ КАПИТАЛЬНЫХ И ОПЕРАЦИОННЫХ ЗАТРАТ

АВТОРЫ:

РЯБИН И.В.,
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

РЯБИН Т.В.,
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

ЗИМИН К.А.,
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Проектирование объектов в энергетике является относительно консервативной областью. В первую очередь это связано с требованиями обеспечения безопасности и надежности. Однако сегодняшние реалии требуют снижения капитальных и операционных затрат при стро-

ительстве новых и модернизации существующих объектов энергетики. Это может достигаться только путем новых подходов к формированию технических решений, пересмотра норм проектирования и использования комплексного подхода при реализации инновационных проектов.

Ключевые слова: комплексный подход; энергоэффективность; охлаждение; отопление; утилизация тепла; кондиционирование.



Комплексный подход к проектированию позволяет не только решить проблемы, трудноразрешимые типовыми решениями, но и снизить капитальные и операционные затраты

ВВЕДЕНИЕ

Исторически сложилось так, что проектирование объектов в энергетике является относительно консервативной областью. С одной стороны, это связано с требованиями безопасности и надежности, а также с опытом предыдущей эксплуатации. С другой стороны, сегодняшние реалии требуют снижения капитальных и операционных затрат с сохранением уровня надежности при проектировании и строительстве новых и модернизации существующих объектов энергетики. Это может достигаться путем новых подходов к формированию технических решений, пересмотра норм проектирования и использования комплексного подхода при реализации инновационных проектов.

Хорошим примером применения такого подхода является проект ВТСП кабельной линии 50 МВт 2500 А 2500 м «Центральная» РП-9 МЭС Северо-Запада. Работы по тематике строительства ВТСП кабельной линии (ВТСП КЛ) начались в 2010 году в рамках выполнения НИОКР. В 2012 году проекту был присвоен статус инновационного. В 2013 году началось проектирова-

ние кабельной линии и зданий вспомогательного оборудования. Более подробно технология ВТСП и аспекты ее применения описаны в статье «Применение ВТСП кабельных линий постоянного тока в электроэнергетике». В этой статье будут рассмотрены проектные решения в области вспомогательных систем на ПС «Центральная», которые могут быть применены в проектах других подстанций, а также их влияние на капитальные и эксплуатационные затраты.

В состав основного оборудования ВТСП кабельной линии входят: два согласующих трансформатора 110/8,27/8,27 кВ 63 МВА, две комплектные выпрямительно-образовательные установки (КВПУ) мощностью 50 МВт, система криообеспечения (СКО) и непосредственно сам кабель. Принципиальная схема ВТСП КЛ приведена на рис.1.

СПЕЦИФИКА ПРОЕКТА

Проведение НИОКР по созданию ВТСП КЛ и одновременное проектирование этой кабельной линии — это первый уникальный опыт для ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» опыт

по реализации проектов полного цикла: от научной разработки до ввода в эксплуатацию. Специфичность данного проекта можно условно разделить на четыре составляющих:

1. Проектирование (трассировка кабельной линии, проектирование зданий). Началось до окончания НИОКР (разработки и изготовления оборудования). Соответственно, формирование состава основного оборудования и технических требований частично происходило в процессе проектирования, из-за чего в проект постоянно вносились изменения.
2. Городское расположение подстанций. Вносило ограничения по габаритным размерам зданий и размещению оборудования.
3. Применение новых типов оборудования, устанавливаемого впервые на объектах ПАО «ФСК ЕЭС» (система криообеспечения, КВПУ).

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ВТСП КЛ



Рис. 1

СХЕМА ВОДОБОРОТНОГО ЦИКЛА

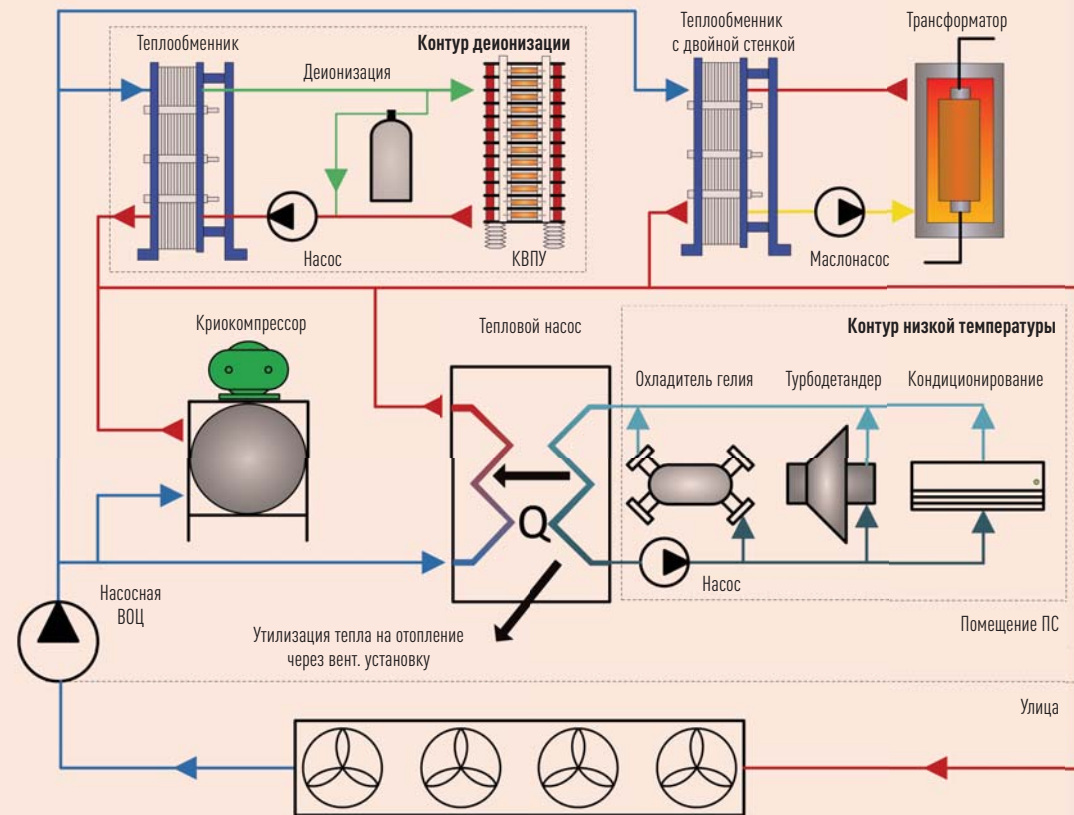


Рис. 2

4. Некоторые единицы применяемого оборудования являются мощными источниками тепла, которые нуждаются в системах принудительного охлаждения — (трансформатор, КВПУ и криогенная система). Суммарное тепловыделение при работе всех систем превышает 1 МВт.

практически всех сторон, задействованных в проекте. Это и разработчики кабеля, и изготовители нестандартного оборудования (СКО, КВПУ), проектировщики, изготовители силового оборудования, специалисты в области автоматизации и т.д.

Работа проектировщиков существенно осложнялась тем, что части оборудования на момент начала проектирования еще не существовало даже на бумаге. Работа изготовителей оборудования в рамках НИОКР, в свою очередь, осложнялась дополнительными требованиями, соответствующими специфике данного проекта — ограничения по габаритам, использование большого количества нетипичного оборудования, особенности отвода тепла.

В результате процесс проектирования превратился в итерационный процесс, технические решения претерпевали кардинальные изменения и возвращали нас в начало пути. Тем не менее, шаг за шагом нам удалось получить желаемый результат и сформировать комплексное решение, которое позволило учесть всю специфику проекта, а также существенно снизить капитальные и эксплуатационные затраты.

Следует отметить, что типичными для подстанций проектными решениями являются отдельные системы охлаждения для каждой единицы оборудования, отдельные сплит-системы кондиционирования для каждого помещения и отопление индивидуальными отопительными

ОПИСАНИЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Синхронизация выполнения НИОКР и процесса проектирования инновационного объекта является непростой задачей, требующей вовлечения

электроприборами. Все это повышает объем работ по монтажу оборудования, увеличивает количество токоприемников, повышает возможность коллизий при строительстве и значительно усложняет систему автоматизации, что приводит к увеличению сроков и капитальных затрат.

Применяя комплексный подход, учитывающий специфику проекта, было принято решение о создании единого водоборотного цикла, разделенного на несколько контуров для охлаждения всех источников тепла (рис. 2), и применении системы жидкостного охлаждения трансформатора. Это позволило снизить количество единиц оборудования, установленную и потребляемую мощность собственных нужд, а сле-

довательно, капитальные и операционные затраты. Далее в статье будут подробно рассмотрены наиболее интересные технические решения и процесс их формирования.

СИСТЕМА КРИООБЕСПЕЧЕНИЯ. ХОЛОДИЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Первой и наиболее существенной особенностью данного проекта является наличие системы криообеспечения (СКО) замкнутого типа (рис. 3). Циркуляция и охлаждение жидкого азота осуществляются

средствами системы по замкнутому контуру и не требуют дозаправки жидкого азота, в отличие, например, от проекта AmraCity (Германия, г. Эссен), где кабель охлаждается привозным жидким азотом, запасы которого необходимо пополнять раз в 1–2 недели.

Система криообеспечения выполнена по двухконтурной схеме: гелий является рабочим телом, жидкий азот — теплоносителем. Принцип действия системы заключается в сжатии гелия компрессором, охлаждении гелия водой, последующего адиабатического расширения гелия в турбодетандере с охлаждением до криогенных температур и отведением тепла от жидкого азота к охлажденному гелию, который снова сжимается компрессором.

КРИОГЕННАЯ СИСТЕМА

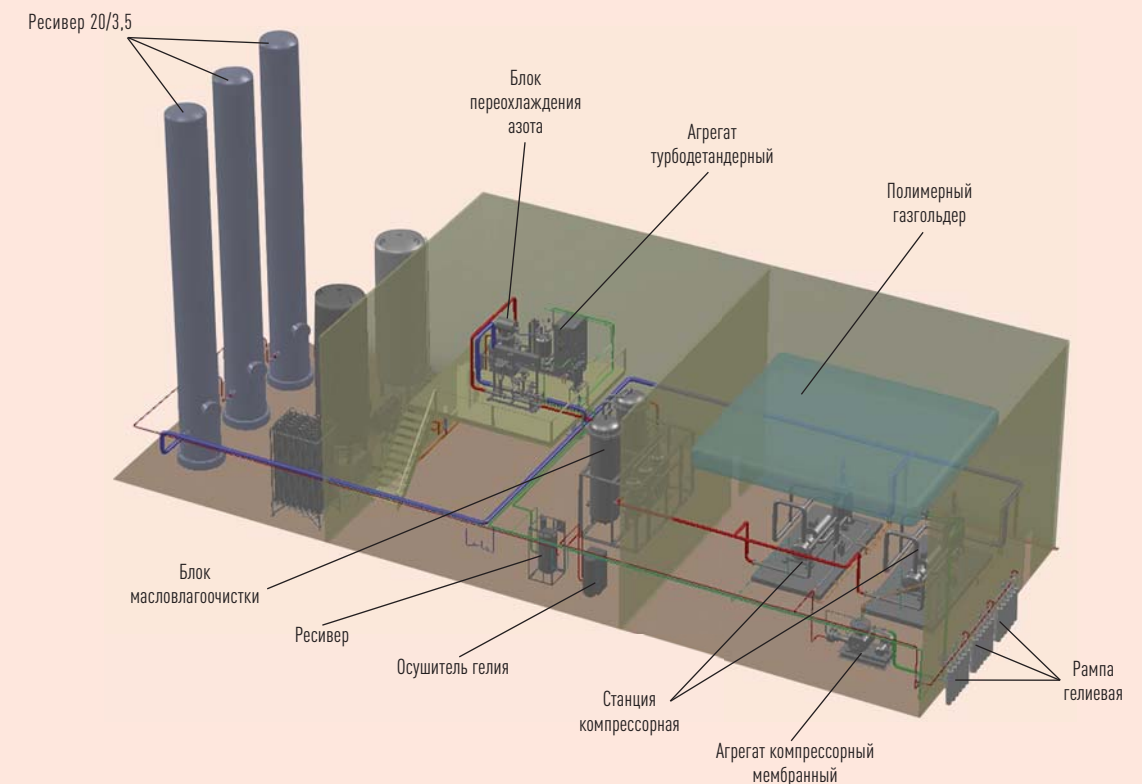


Рис. 3

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА

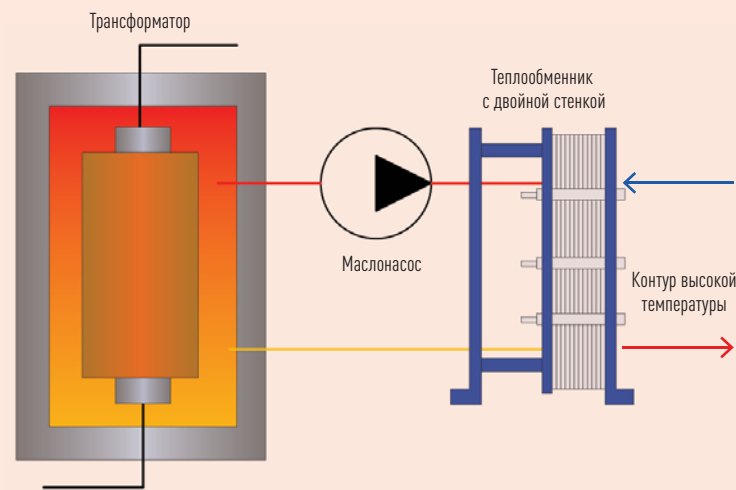


Рис. 4

Особенностью системы криообеспечения является высокая тепловая мощность и плотность тепловыделения источников тепла (компрессоров, турбодетандера и охладителя гелия). Это означает необходимость использования жидкостной системы охлаждения. При этом турбодетандер и охладитель гелия нуждаются в температуре охлаждающей жидкости 10 °С.

Для охлаждения системы криообеспечения был запроектирован водооборотный цикл с контурами высокой (криокомпрессор) и низкой (турбодетандер, охладитель гелия) температуры. Для отведения тепла от контура низкой температуры в контур высокой температуры используется фреоновая холодильная машина типа «жидкость-жидкость»; для отведения тепла от контура высокой температуры в атмосферу — сухой охладитель. Это инженерное

решение в последующем привело к созданию единого водооборотного цикла для всех источников тепла, не только для СКО, но и для силового электрооборудования (трансформатор, КВПУ) и инфраструктурных нужд.

Помимо обеспечения холодом криосистемы, контур низкой температуры и холодильную машину было решено использовать для нужд системы центрального кондиционирования. Такое решение влечет за собой незначительное увеличение мощности холодильной машины, но оно позволило отказаться от применения сплит-систем, которые обычно применяются на подстанциях.

Отдельно стоит остановиться на инженерном решении, в котором нам удалось совместить две разные функциональные задачи в одной установке. Фактически нам удалось использовать холодильную уста-

новку контура низкой температуры в качестве теплового насоса, использующего тепло контура низкой температуры для отопления здания. Использование предлагаемой схемы позволяет обеспечить снижение расхода электроэнергии на отопление здания в 4 раза практически без капитальных затрат на энергоэффективное оборудование (отдельный тепловой насос).

Термодинамически принцип действия теплового насоса аналогичен принципу действия холодильной машины: передача тепла от источника тепла с более низкой температурой к потребителю тепла с более высокой температурой за счет совершения дополнительной работы компрессором. При этом расход электроэнергии составляет приблизительно 1/4 от тепловой мощности (в зависимости от перепада температур).

СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА

Вторая проблема, возникшая в процессе проектирования, — большие габаритные размеры трансформаторной камеры. В типичных проектах подстанций с размещением трансформаторов в камерах применяются выносные охладители. В нашем случае использование выносных охладителей было затруднительно из-за ограничения площади строительства. В процессе проектирования первоначально планировалось применить навесную воздушную систему охлаждения трансформатора и отдельную вентиляционную установку для трансформаторной камеры. Это повлекло бы за собой установку шумоизоляции и увеличение размеров трансформаторной камеры. Поскольку

здание было ограничено в габаритах, при применении изначально планируемой системы охлаждения его пришлось бы делать четырех-, а не трехэтажным.

Принимая во внимание данные особенности, наличие водооборотного цикла для охлаждения криогенной системы, а также положительный опыт проектирования и эксплуатации системы отбора тепла на ПС 500 кВ «Нижегородская», было принято решение о применении системы жидкостного охлаждения всех источников тепла в один водооборотный цикл. Принципиальная схема системы охлаждения приведена на рис. 4, фото внедренной на ПС 500 кВ «Нижегородская» системы — на рис. 5. Аналогичная система охлаждения также применяется, например, на трансформаторе ABB нефтяной платформы Goliat FPSO в Норвегии. Также в программе повышения энергоэффективности ПАО «ФСК ЕЭС» планируется внедрение системы жидкостного охлаждения транс-



Рис. 5
Система, внедренная на ПС 500 кВ «Нижегородская»

форматоров и водооборотного цикла на ПС 750 кВ «Владимирская».

Жидкостная система охлаждения работает практически бесшумно и может быть размещена в трансформаторной камере без увеличения ее габаритов. Таким образом, существенно снижаются капитальные затраты за счет отказа от 4-го этажа, шумоизоляции, навесных охладителей и вентиляционной установки. Стоит отметить, что данное проектное решение появилось благодаря плотной работе со специалистами производителя трансформаторов — Тольяттинским трансформаторным заводом.

СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ КВПУ

КВПУ представляет собой сборку из тиристорных вентиляей, закрытых охлаждающими пластинами, к которым подводится смесь деионизированной воды и антифри-

за. Деионизация воды необходима для исключения электрических наводок.

Проектным решением для системы охлаждения КВПУ при организации водооборотного цикла стало применение двухконтурной схемы охлаждения (схема — на рис. 6, фото — на рис. 7), а не одноконтурной, с использованием в контуре чистой деионизированной воды, а не смеси деионизированной воды и антифриза, и более низкой вязкости. Это позволило снизить номинальный расход деионизированной воды на 30%, и, соответственно, — установленную и потребляемую мощность насосов. Дополнительным эффектом стало снижение объема контура деионизированной воды, за счет чего увеличился ресурс деионизационных фильтров.

Снижение расхода деионизированной воды дало еще один положительный эффект, заключающийся в увеличении надежности. Пластины охлаждения тиристорных вентиляей подключаются к коллектору

СХЕМА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ КВПУ

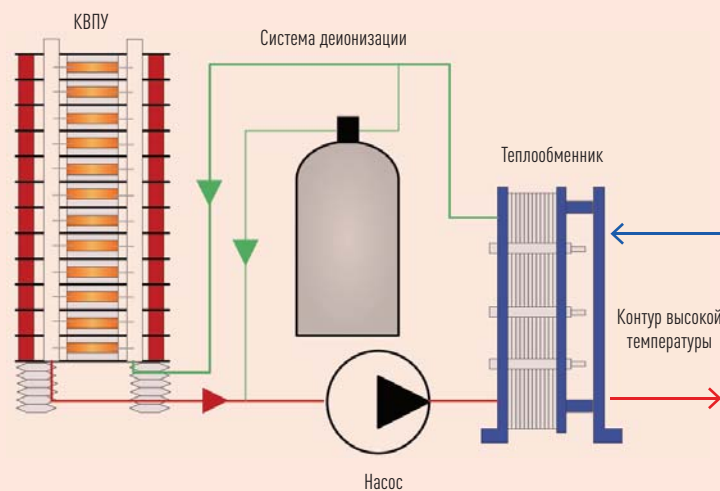


Рис. 6

деионизированной воды с помощью пластиковых трубок и арматуры. Исходя из опыта эксплуатации одноконтурной системы охлаждения выпрямителей на ПС 400 кВ «Выборгская», пластиковые части являются самым ненадежным местом: они регулярно протекают. При применении двухконтурной схемы расход деионизированной воды снижается, что снижает перепад давления и максимальное рабочее давление в системе, а следовательно, повышает надежность КВПУ.

охладитель. Применение единого сухого охладителя с более развитой поверхностью теплообмена, а не индивидуальных, позволяет значительно снизить удельную мощность вентиляторов на киловатт отведенного тепла. Также снижаются расходы на монтаж оборудования, количество единиц оборудования и занимаемая площадь.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА КАПИТАЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ

Основное влияние на капитальные затраты проекта оказал перевод трансформатора с воздушного охлаждения на жидкостное: габаритные размеры трансформаторной камеры были снижены, а система жидкостного охлаждения обладает значительно меньшей стоимостью,

установленной и потребляемой мощностью. Капитальные затраты были значительно снижены за счет перекомпоновки здания и снижения его высоты на один этаж.

Также существенное влияние оказало решение об объединении различных систем охлаждения в один водооборотный цикл из нескольких контуров. Благодаря этому существенно снизилось количество единиц оборудования, что сократило капитальные затраты на основное и резервное оборудование, занимаемую им площадь/объем, кабель, коммутацию, монтажные и пуско-наладочные работы.

Использование одного контура низкой температуры на нужды охлаждения криогеники и кондиционирования позволило использовать одну центральную холодильную машину. Это сократило количество и установленную мощность резервного оборудования, облегчило автоматизацию, монтаж и пуско-наладку систем.

Конкретная оценка влияния технических решений на капитальные затраты будет произведена в следующих публикациях после окончания стадии проектирования.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ОПЕРАЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ

Основным снижением операционных затрат является снижение расхода электроэнергии на собственные нужды подстанции. По предварительной оценке, потребляемая мощность описанных



Рис. 7
Система
охлаждения КВПУ

систем может быть снижена **более, чем в два раза**. Основной эффект в это вносит работа холодильной машины в режиме теплового насоса, что позволяет снизить расход электроэнергии на отопление здания в 4 раза. Причем этот экономический эффект получен при несущественном увеличении стоимости холодильной машины.

Вторая по величине составляющая снижения расхода электроэнергии собственных нужд — применение системы жидкостного охлаждения трансформатора. Снижение потребляемой мощности составляет порядка трех раз.

Также существенная составляющая снижения потребляемой мощности — применение централизован-

ного сухого охладителя. Большой сухой охладитель с развитой поверхностью теплообмена имеет намного меньшее энергопотребление на киловатт отведенного тепла.

Еще один способ потенциального снижения затрат — утилизация тепла от контура высокой температуры на отопление здания ЗР ПС «Центральная». Снижение расхода электроэнергии на отопление может составить до 4 раз.

ВЫВОДЫ

На примере этого проекта видно, что применение комплексного подхода позволило существенно снизить капитальные и операционные затраты. Почему же тогда

энергоэффективные технические решения не применяются повсеместно? Причина в том, что задания на проектирование часто пишутся, исходя из предполагаемого конкретного набора оборудования, и каждая единица оборудования рассматривается отдельно, а не в комплексе. В случае проекта ВТСП КЛ, когда проект велся параллельно с НИОКР и параметры оборудования появлялись в процессе проектирования, потребность в нестандартных технических решениях возникала сама собой. В итоге комплексный подход позволил снизить капитальные и операционные затраты, что говорит о целесообразности применения такого подхода к проектированию, включая самые ранние стадии проекта. ■