

## К ВОПРОСУ О СИСТЕМЕ МИКРОКЛИМАТА АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА

А.Ю. Пищулин, П.А. Стрижак  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, АТП

Проблема обеспечение электрической энергией потребителя находящегося на значительном удалении от централизованного источника электропитания существует уже продолжительное время и обуславливается, прежде всего, его местоположением. Удаленные объекты потребления электрической энергии по причинам экономической нецелесообразности прокладки централизованного энергоснабжения остаются изолированными. В этой связи за многие годы реализовано достаточно много решений по электроснабжению удаленного потребителя. Наиболее распространенным решением является электроснабжение посредством дизель-генераторных установок.

В нынешней экономической ситуации в России, согласно стратегическому развитию страны [3], положен курс на сокращение потребления нефтепродуктов, что связано с ростом тарифов на дизельное топливо и заботой об экологии. По последним данным за время эксплуатации дизельных агрегатов на выработку электрической энергии накопилось тысячи тонн отходов в виде металлолома – бочки для транспортировки нефтепродуктов [1].

В связи с таким положением остро встает вопрос о разработке новых источников электроснабжения потребителей удаленных объектов, которые полностью или частично могли бы заменить дизельные агрегаты.

С целью адекватного построения системы электроснабжения необходимо разделить потребителя на категории согласно ПУЭ.

Данная разработка относится к первой категории особой группы потребителя электрической энергии. Потребителями данной группы являются технологическое оборудование удаленного специализированного объекта, перерывы в электроснабжении которого могут повлечь существенные экономические и экологические потери.

Исходя из данного задания по электроснабжению ответственного удаленного потребителя разрабатывается гибридный энергокомплекс на основе возобновляемых источников с долей замещения дизельного агрегата не менее 60%, алгоритмы которого должны обеспечить электропитание потребителя по первой категории особой группы. Дизельный агрегат в энергокомплексе выступает в качестве гарантированного источника электрической энергии.

Как и любое другое техническое изделие, энергокомплекс должен характеризоваться коэффициентом полезного действия, который в общем случае имеет отношение отдаваемой электрической энергии потребителю к производимой. С целью повышения коэффициента полезного действия первым этапом ставится задача минимизации потребления энергетических ресурсов на собственные нужды. Данная задача является многопрофильной и решается ком-

плексно затрагивая как конструктивные особенности здания, так и электрические характеристики применяемого оборудования.

В данном докладе упор делается на энергоэффективность системы микроклимата энергокомплекса, поскольку именно данная система является основным потребителем вырабатываемых энергоресурсов энергокомплексом на собственные нужды.

Система микроклимата должна обеспечивать температурный режим для безаварийной работы установленного внутри энергокомплекса оборудования. В зимний период года система микроклимата должна обеспечивать компенсацию рассеянного через ограждающие конструкции здания тепловой энергии, в летний – отвод избытков тепловой энергии за пределы здания, полученные от работающего оборудования и приноса тепловой энергии через ограждающие конструкции, в осенне-весенний период года обеспечить комплексный подход по поддержанию заданных температурных режимов.

Как правило, удаленный потребитель с технологическим оборудованием располагается выше 56 параллели северной широты, что обуславливается суровыми климатическими особенностями районов. Соответственно, больший упор делается на обеспечении температурных режимов в зимнее время.

Анализ имеющихся в промышленности решений подходящих для использования в системе микроклимата выделил два основных направления:

4. оборудование, использующее электрическую энергию для прямого преобразования в какой-либо вид энергии.
5. оборудование, посредственно использующее электрическую энергию.

К первой группе относятся электрические конвекторы, преобразующие электрическую энергию непосредственно в тепловую и обеспечивающие конструктивными особенностями хорошую естественную конвекцию.

Ко второй группе относится оборудование, использующее электрическую энергию для переноса теплоносителя из одной части системы в другую. Как пример, тепловой насос, солнечный коллектор.

Эффективность использования электрической энергии в этих двух группах существенно различается, что подтверждается технической документацией на оборудование. Так, если принять за эталон электрический конвектор с 1000 Ватт потребления электрической энергии, то произведенная тепловая энергия составит те же 1000 Ватт. Теплый насос при потреблении электрической мощности в 1000 Ватт сможет произвести тепловой энергии, в зависимости от состояния окружающей среды, в 3-5 раз больше, чем электрический конвектор. На основе тепловых насосов разработано большое количество различного оборудования. Как пример, кондиционер, геотермальный тепловой насос.

Ко второй группе так же относится солнечный коллектор. Различают плоские и вакуумные солнечные коллекторы. Основное различие их заключается в климатической зоне применения. Так для применения в районах выше 56 параллели северной широты целесообразнее применять вакуумные солнечные коллекторы по причине их возможного использования при температуре окружающей среды вплоть до  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это обуславливается их конструктивными

особенностями, которые минимизируют тепловые потери через корпус изделия посредством вакуумной изоляции.

Поскольку электрическая энергия, вырабатываемая энергокомплексом, необходима для ответственного потребителя и любое ее даже не значительное потребление ведет к увеличению установленной мощности генерирующего оборудования, а как следствие накопителя энергии и силового оборудования, то целесообразно применять энергоэффективное оборудование.

У первой группы есть неоспоримое преимущество по удобству использования. Оно заключается в том, что нет необходимости в стороннем оборудовании, требующего дополнительного монтажа и отладки, то есть покупая электрический конвектор получаем законченное готовое решение. Но у этого решения есть существенный недостаток в его малой энергоэффективности. Представители второй группы не так просты в установке, отладке, но имеют в перспективе гораздо лучшие показатели энергоэффективности.

Рассмотрим обогрев помещения тепловой энергией равной 1000 Ватт. С целью сравнения поступления энергии возьмем солнечное излучение, чтобы сравниваемое оборудование оказалось в равных условиях. Для обеспечения электрической энергии электрического конвектора, а равно как и выработка тепловой энергии, в условиях падения солнечной энергии равной 1000 Вт/м<sup>2</sup>, КПД солнечной панели изготовленные из монокристаллического кремния равного 20 % и номинальной мощностью 330 Вт (ExmorK 330) с учетом преобразований необходимо установить 4 таких панели общей площадью 7,76 м<sup>2</sup>. Для получения такого же количества тепловой энергии от солнечного коллектора с КПД 70 %, без учета дополнительного оборудования, поскольку оно не оказывает прямое влияние на выработку тепловой энергии, достаточно установить один коллектор площадью апертуры 1,6 м<sup>2</sup> (Vitosol 200-T SP2A), при этом количество потребляемой электрической энергии будет обуславливаться затратами на циркуляционный насос и вентилятор теплообменника для рассеивания тепла в здании энергокомплекса, что составит, в зависимости от производителей оборудования, порядка 200 Ватт.

При понижении температуры окружающего воздуха разница в энергоэффективности снижается за счет увеличения тепловых потерь солнечным коллектором и увеличении выработки солнечными панелями электрической энергии в виду особенностей кремния [2].

Как альтернатива солнечному коллектору может выступить геотермальный тепловой насос, который обеспечит более равномерное и независимое от окружающей среды (температура, осадки, время суток) поддержание температурного режима в здании энергокомплекса.

В виду не значительных тепловых потерь, которые должны быть обеспечены конструктивным исполнением здания, геотермальный тепловой насос будет иметь небольшие размеры, и тем самым малое электрическое потребление и капитальные затраты.

Помимо более стабильного теплоснабжения в зимний период года геотермальный тепловой насос обладает функцией холодоснабжения в летний период года, чем полностью перекрывает потребности энергокомплекса в обеспе-

чении микроклимата. Снабжение холодом в летний период обуславливается еще одной причиной - необходимостью возврата тепловой энергии в грунт «выкаченной» в зимний период года, с целью обеспечения стабильности работы геотермального насоса. Затрачиваемая энергия при работе теплового насоса составляет от 30 до 50 % от получаемой тепловой энергии, что говорит об энергоэффективности. Как уже было сказано, тепловой насос обладает неоспоримым плюсом в обратимости процессов, то есть установка одной системы полностью закрывает потребности энергокомплекса по обеспечению заданных параметров температуры системой микроклимата. Помимо этого, установка промежуточного бака-накопителя позволяет увеличить надежность работы системы микроклимата, накапливая тепловую энергию и далее используя ее по мере необходимости. Установкой дополнительного электрического ТЭНа, либо теплообменника солнечного коллектора в бак-накопитель, можно повысить отказоустойчивости системы в целом, что является еще одним из важнейших показателей.

В осенне-весенний период года, когда температура наружного воздуха позволяет использовать «свежий» воздух, целесообразнее всего применять приточно-вытяжную вентиляцию с механическим побуждением потока воздуха. Еще одно распространенное название данного метода – «фрикулинг». На данный момент этот метод с каждым годом становится более актуальным и все больше находит применение в виду своего главного достоинства – малых затрат, как капитальных, так и энергетических. Особенно наглядно это тенденция видна в центрах обработки данных, где для большей энергоэффективности добавляют функцию адиабатического охлаждения.

Потребление электрической энергии сводится к затратам на вращение осевого двигателя вентилятора, что составляет порядка 50 Ватт в рамках здания энергокомплекса. Электрические приводы клапанов потребляют при этом незначительные 2-4 Ватта на удержание в зависимости от сечения клапана. В случае небольших теплоизбытков внутри здания энергокомплекса, затраты на электрическую энергию будут обуславливаться клапанами, то есть использованием естественной вентиляции.

Таким образом, подход к выбору того или иного источника для системы микроклимата должен быть комплексным, рассматривая все возможные варианты энергоэффективности, как в отдельно взятом источнике, так и в их совокупности.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ю.И. Соколов. Арктика: к проблеме накопленного экологического ущерба // Арктика: экология и экономика. 2013. № 2. С. 18–27.
2. А.В. Козлов, А.В. Юрченко, Д.А. Пестунов Влияние параметров атмосферы на энергетические характеристики кремниевой солнечной батареи // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т18. № 8. С. 731-734.

3. «Энергетическая стратегия России до 2030 года».  
<http://www.minenergo.gov.ru/activity/energostrategy/>.

Научный руководитель: П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой АТЭ ЭНИН ТПУ.

## **ТЕПЛОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБОГЕНЕРАТОРА С ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ**

Д.Ю. Ткачук

Томский политехнический университет  
ЭНИН, ЭКМ, группа 5АМ6Н

Одним из самых перспективных направлений в проектировании электрических машин является разработка турбогенераторов с воздушным охлаждением мощностью более 100 МВт. Это обусловлено их простотой в эксплуатации, более высокой надежностью по сравнению с существующими аналогами, пожаробезопасностью, а также отсутствием дополнительных систем жизнеобеспечения. В ремонтной и аварийной документации турбогенераторов акцентируется внимание на большом количестве повреждений конструктивных элементов, вызванных тепловыми нагрузками. Увеличение мощности турбогенераторов и повышение надежности невозможно без надежного охлаждения их элементов. Для контроля теплового состояния в турбогенераторе установлен ряд измерительных приборов, однако в условиях эксплуатации контроль наиболее теплонагруженной лобовой части не предусмотрен. Поэтому тепловое состояние лобовых частей токопроводящих стержней, обоснование их надежности, особенно в режимах короткого замыкания, должен выполняться на этапе проектирования турбогенератора и его системы охлаждения. [1]

В настоящей работе представлено моделирование теплового поля турбогенератора ТФ-160 [2] – исследуется температурное распределение в номинальном режиме работы.

При тепловом расчете в мировой практике проектирования турбогенераторов применяются следующие методы:

1. метод развернутых эквивалентных схем;
2. аналитический метод определения теплового состояния;
3. метод конечных элементов.

В данной работе для моделирования температурного поля турбогенератора нами используется метод конечных элементов, реализованный на основе программы ELCUT. Модули ELCUT позволяют проводить анализ физических полей и получать решение связанных многодисциплинарных задач в различных видах анализа. Основными этапами решения задачи расчета температурного поля в ELCUT являются следующие.

1. Выбор типа и класса решаемой задачи.
2. Создание геометрической модели объекта исследования (в нашем случае чертеж генератора выполнен в программе T-FLEX)