

Особенности выбора климатических параметров при проектировании систем холодоснабжения СКВ

ru.depositphotos.com

И. В. Сынков, главный специалист отдела ОТВВК БКП-7 АО «Атомэнергoproject», канд. техн. наук, доцент кафедры ТМПУ НИУ «МЭИ», otvet@abok.ru

Н. А. Гоголев, начальник отдела ОТВВК БКП-7 АО «Атомэнергoproject»

Ж. В. Прусова, ведущий инженер отдела ОТВВК БКП-7 АО «Атомэнергoproject»

Ключевые слова: система кондиционирования воздуха, холодоснабжение, холодильная мощность, влажность, энтальпия, холодильная нагрузка

Исходные данные являются основой для принятия всех инженерных решений и их обоснованности. Для систем кондиционирования воздуха (СКВ) и холодоснабжения СКВ наиболее важными исходными данными являются климатические параметры наружного воздуха. Это значения температур, влажности и определяемой ими энтальпии, которые влияют на холодильную мощность, затрачиваемую СКВ при охлаждении воздуха, и конденсацию содержащейся в нем влаги. Одним из основных критериев при выборе расчетных значений наружного воздуха является значение обеспеченности метеопараметров по времени. Превышение наружных параметров воздуха над их расчетными значениями приводит к отклонениям параметров микроклимата в помещениях или технологических параметров, связанных с работой СКВ. Определение продолжительности таких отклонений чрезвычайно актуально.

Цель данной статьи – провести анализ климатических исходных данных с точки зрения обоснования выбора расчетных значений наружного воздуха, принимаемых при проектировании систем СКВ и холодоснабжения, а также выявить факторы, которые в наибольшей степени влияют на режимы работы систем.

Введение

Оснащенность системами СКВ и комплексами холодоснабжения общепромышленных и общегражданских объектов продолжает расти, и актуальность выбора

расчетных параметров переоценить сложно в связи с высокими капитальными затратами и затратами энергии на обеспечение работы СКВ. Ошибки при их некорректном выборе приводят в итоге к невыполнению системами своих

функций и/или необоснованным затратам на климатическое оборудование. Нормативная база в данном случае оказывается не всегда актуальной или может отсутствовать, если, например, объект капитального

строительства находится за пределами России [1].

В данной статье рассматривается вопрос влияния климатических параметров с точки зрения общего анализа исходных данных для проектирования комплексов холодоснабжения, предназначенных для работы в составе систем СКВ для атомных электростанций в различных климатических зонах. Использована информация по климатическим данным, полученная ОА «Атомэнергопроект» для спроектированных АЭС, и обширный опыт в проектировании и эксплуатации объектов как внутри страны, так и за рубежом. Атомные электростанции включают в себя большое количество зданий различного назначения. В проекты АЭС входят как специализированные здания, связанные с обращением с радиоактивными веществами и обеспечением безопасности, т.е. имеющие специфические и повышенные требования к системам СКВ, так и здания административные, здания для электротехнического оборудования и различные вспомогательные здания, которые по своим требованиям с точки зрения СКВ значительно отличаются от общепромышленных и общегражданских.

Вопросом выбора оптимальных наружных параметров воздуха занимались такие известные специалисты в области вентиляции и кондиционирования, как А.Г. Сотников [3–5], А.Я. Креслинь [6], Е.Г. Малявина [7, 8], Ю.Я. Кувшинов [9, 10], Л.Б. Успенская [11] и другие. Авторами были предложены методики определения расчетных параметров воздуха, в том числе аналитические зависимости. Однако в данной статье вопрос климатических параметров рассматривается не с точки зрения теории влияния климата на СКВ,

а с точки зрения практического анализа имеющихся данных, полученных в результате многолетних наблюдений за климатом, с учетом специфических особенностей при проектировании АЭС, необходимых для обеспечения надежного функционирования оборудования станций. Климатические параметры наружного воздуха характеризуются значительными колебаниями в течение времени (суток, месяца, года), что ощутимо влияет на требуемую холодопроизводительность комплексов холодоснабжения, а также на выбор схемных решений, обеспечивающих их динамические характеристики.

Основными параметрами комплексов холодоснабжения, выбор которых зависит от параметров наружного воздуха, являются:

- номинальная, максимальная и минимальная холодильные мощности комплексов;
- продолжительность периодов, когда требуемая холодильная мощность превышает номинальную холодопроизводительность систем холодоснабжения;
- единая холодильная мощность отдельных холодильных машин и их количество, обоснование необходимости резервных холодильных машин и процента резервирования;
- характерные режимы работы комплексов холодоснабжения в течение года;
- динамика колебания холодильной мощности в течение суток.

Исходные данные

Исходными климатическими данными для анализа послужили результаты многолетних наблюдений метеорологических стан-

MAGNA

ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЕ КОТЛЫ



Реклама

15-100
кВт

линейка
МОЩНОСТИ

до 57 часов



работа на
одной закладке

ZOTA
GSM

МОДУЛЬ GSM

**ЗАВОД ОТОПИТЕЛЬНОЙ
ТЕХНИКИ И АВТОМАТИКИ**

Красноярск. ул. Калинина, 53А
(391)247-77-77
www.zota.ru

ций (МС) за температурой и относительной влажностью воздуха в районах с различным климатом для Площадок строительства АЭС:

- АЭС «Руппур» (Бангладеш) – тропический влажный климат;
- АЭС «Аккую» (Турция) – тропический климат;
- АЭС «Курская-2» (Россия) – умеренный климат;
- АЭС «Бушер-2» (Иран) – тропический климат.

При проведении анализа имеющихся результатов многолетних наблюдений были определены статистические расчетные параметры наружного воздуха, которые принято использовать при проектировании [1, 2]. Для теплового периода это значения, определенные из условия обеспеченности по температуре 0,95 и 0,99, а также значения при абсолютном наблюдаемом максимуме температуры,

которые используются в отдельных оговоренных случаях. Для выделенных значений температур определены соответствующие им средние значения относительной влажности и рассчитаны значения энтальпий.

Расчетные значения для рассматриваемых в статье районов представлены в табл. 1. Для возможности сравнения в таблице приведены средние значения параметров воздуха для наблюдаемых жарких пятидневок за исключением АЭС «Аккую» из-за неполных исходных данных для соответствующего периода.

Выборки значений для визуализации динамики климатических параметров в течение характерных периодов представлены на рис. 1–6. Совместный анализ данных графиков позволяет сделать оценку характера изменения требуемой холодильной нагрузки:

выделить характерные и пиковые режимы, их продолжительность и провести уточнение необходимой холодильной мощности. Данные графики также являются исходными данными для оценки потребления холода, тепловой и электроэнергии за год и другие отчетные периоды.

Для возможности качественного анализа были выбраны следующие исходные данные:

- параметры наружного воздуха приняты при обеспеченности по температуре 0,99;
- температура воздуха после воздухоохладителей систем СКВ – +20 °С;
- энтальпия – 40 кДж/кг (АЭС «Курская-2»), 47 кДж/кг (АЭС «Аккую»), 50 кДж/кг (АЭС «Руппур»), 45 кДж/кг (АЭС «Бушер-2»);
- разность энтальпий на входе и выходе из охладителей СКВ

Таблица 1

Параметры наружного воздуха в теплый период года

Параметры	АЭС «Аккую» (Турция)	АЭС «Курская-2» (Россия)	АЭС «Руппур» (Бангладеш)	АЭС «Бушер-2» (Иран)
Параметры обеспеченностью по температуре 0,95 (более высокое значение температуры наблюдается в течение 440 ч в году или менее)				
Температура, °С	32,4	23,5	33,5	36,2
Влажность, %	55	44	61	42
Энтальпия, кДж/кг	76,4	44,2	85,4	77,6
Параметры обеспеченностью по температуре 0,99 (более высокое значение температуры наблюдается в течение 88 ч в год или менее)				
Температура, °С	35	28,2	36,5	38,7
Влажность, %	45	34	49	31
Энтальпия, кДж/кг	76,7	49,5	85,8	73,7
Параметры при абсолютном наблюдаемом максимуме температуры				
Температура, °С	42,4	39,6	44	50
Влажность, %	25	18	93	22
Энтальпия, кДж/кг	77	61,2	191,7	95,1
Средние параметры для наблюдаемой жаркой пятидневки (пятидневка определена по критерию температуры)				
Температура, °С	–	31,5	34,1	37,2
Влажность, %	–	27,9	64,7	45,2
Энтальпия, кДж/кг	–	52,2	91,2	84,3

Таблица 2

Характерные режимы работы системы холодоснабжения

Характерные режимы работы системы холодоснабжения	Характерные периоды работы систем холодоснабжения для мест размещения станций			
	АЭС «Аккую» (Турция)	АЭС «Курская-2» (Россия)	АЭС «Руппур» (Бангладеш)	АЭС «Бушер-2» (Иран)
Режим ожидания/консервации межсезонного периода	Ноябрь, декабрь, январь, февраль, март	С сентября по май	Отсутствует	Январь, февраль, декабрь
Режим периодической работы/ мощность от номинальной, %	Октябрь, апрель, май/0÷30, дневные часы	Июнь, август/0÷55, дневные часы	Январь, февраль, декабрь/0÷70, дневные часы	Март, ноябрь/0÷35, дневные часы
Режим круглосуточной работы/ мощность от номинальной, %	Июнь, сентябрь/20÷75	Июль/5÷105	Март, октябрь, ноябрь/60÷90	Апрель, октябрь, май/35÷90
Режим пиковой нагрузки/ мощность от номинальной, %/ максимальный пик нагрузки, %	Июль, август/70÷115/до 135	Самый жаркий период жаркого месяца, самая жаркая пятидневка/55÷170/–	Апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь/80÷100/круглосуточно, до 120	Июнь, июль, август, сентябрь/90÷130/до 180

составила: 9,5 кДж/кг (АЭС «Курская-2»), 29,7 кДж/кг (АЭС «Аккую»), 35,8 кДж/кг (АЭС «Руппур»), 28,7 кДж/кг (АЭС «Бушер-2»), что для дальнейших расчетов было принято эквивалентным 100% номинальной нагрузки для комплексов холодоснабжения.

По результатам предварительного анализа для рассматриваемых районов выделены следующие характерные режимы работы комплексов холодоснабжения СКВ:

- режим ожидания/консервации межсезонного периода;
- режим периодической работы;
- режим круглосуточной работы;
- режим пиковой нагрузки.

Стоит отметить, что режим пиковой нагрузки относится в большей степени к системам СКВ, связанным с безопасностью блока, и учитывается при подборе оборудования для указанных систем.

Далее более подробно проанализируем имеющиеся климатические данные, с учетом принятых расчетных параметров, для каждой из Площадок строительства

АЭС. Для удобства результаты анализа приведены в табличной форме (табл. 2).

Результаты анализа

Площадка строительства АЭС «Руппур»

Соотношения средних характерных температур и энтальпий, представленные на рис. 1–6, позволяют сделать вывод о том, что текущие значения энтальпий могут превышать расчетные значения энтальпий при одном и том же значении расчетной температуры. В зависимости от влажности в рассматриваемом климатическом регионе необеспеченность, определенная по условию энтальпии, может быть как меньше, так и больше необеспеченности, определенной по условию температуры. Для количественной оценки степени необеспеченности по энтальпии необходимы статистические расчеты.

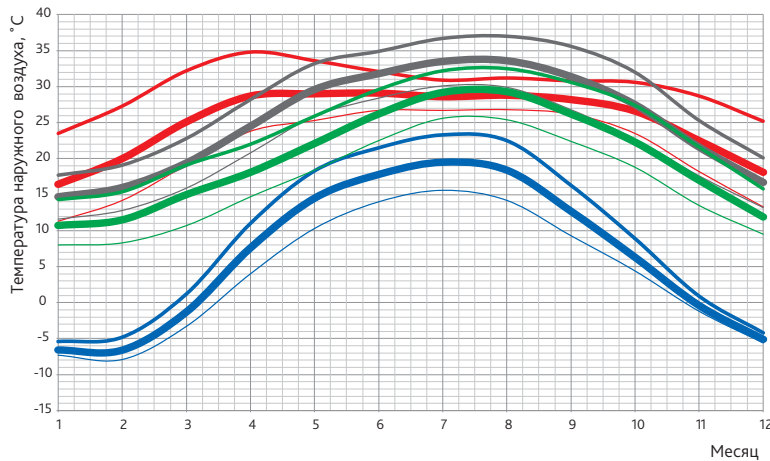
Анализ наиболее жаркой пятидневки (рис. 4–6) показывает, что при колебаниях температуры наружного воздуха в среднем от

+28 до +42 °С колебания энтальпии наружного воздуха в среднем составляют от 80 до 96 кДж/кг. В пересчете на холодильную мощность такие колебания энтальпии приведут к изменению холодильной мощности от 80 до 120% от номинальной. При анализе нагрузки в течение самого жаркого месяца изменение параметров воздуха между ночными и дневными часами приводит к изменению холодильной мощности от 90 до 110% от номинальной.

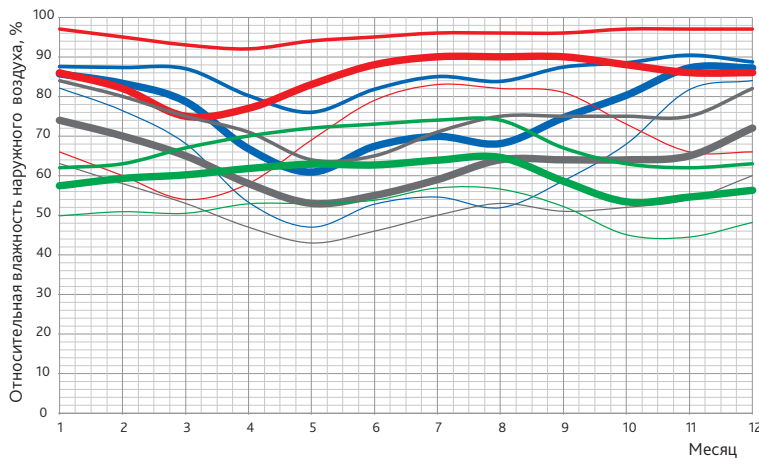
Площадка строительства АЭС «Аккую»

Сравнив расчетные параметры наружного воздуха при различной степени необеспеченности и при наблюдаемом максимуме, видно, что энтальпия наружного воздуха, принимаемая для расчетов, практически не меняется, при этом расчетные значения температур изменяются от +32,4 до +42,4 °С.

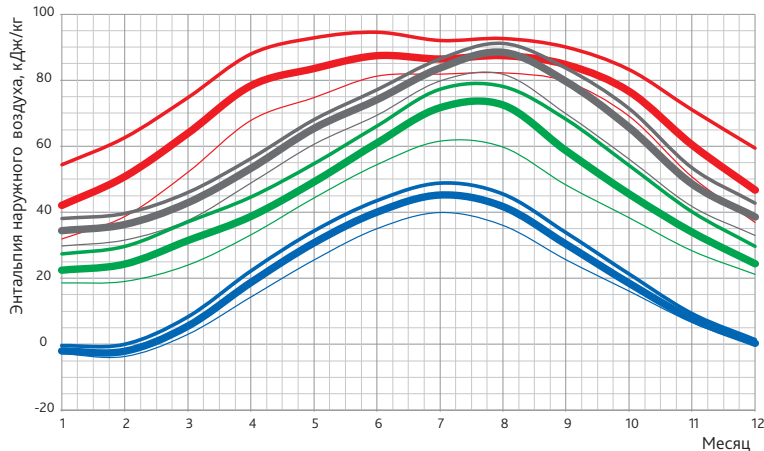
Для условий АЭС «Аккую» имеются данные по самой жаркой пятидневке только для периода с 6 до 18 часов (см. рис. 4–6), что затрудняет анализ климатических условий. Однако по имеющимся



■ Рис. 1. Средние значения температур наружного воздуха в течение года



■ Рис. 2. Средние значения относительной влажности наружного воздуха в течение года



■ Рис. 3. Средние значения энтальпий наружного воздуха в течение года

- среднее месячное значение (АЭС «Курск-2»)
- максимальное среднее месячное значение (АЭС «Курск-2»)
- минимальное среднее месячное значение (АЭС «Курск-2»)
- среднее месячное значение (АЭС «Руппур»)
- максимальное среднее месячное значение (АЭС «Руппур»)
- минимальное среднее месячное значение (АЭС «Руппур»)
- среднее месячное значение (АЭС «Бущер-2»)
- максимальное среднее месячное значение (АЭС «Бущер-2»)
- минимальное среднее месячное значение (АЭС «Бущер-2»)
- среднее месячное значение (АЭС «Аккую»)
- максимальное среднее месячное значение (АЭС «Аккую»)
- минимальное среднее месячное значение (АЭС «Аккую»)

данным можно сделать следующие выводы: среднее значение температуры этого периода не превышает расчетного значения (35 °С), энтальпия наружного воздуха превышает расчетное значение (76,7 кДж/кг) исключительно в дневные часы – с 10 до 18 часов – для самой жаркой пятидневки. В рассматриваемый период может наблюдаться кратковременное превышение требуемой холодильной нагрузки на 35% от расчетной. В целом требуемая холодильная мощность будет составлять от 75 до 115% от расчетной.

Площадка строительства АЭС «Бущер-2»

Сравнивая расчетные параметры, определенные при различной обеспеченности по температуре, получаем, что расчетная энтальпия воздуха при обеспеченности 0,95 (77,6 кДж/кг) выше, чем энтальпия при 0,99 (73,7 кДж/кг). Как следствие, производительность систем холодоснабжения при более жестких условиях по температуре ниже. Кажущееся противоречие объясняется снижением относительной влажности. Взаимное изменение значений температур и энтальпий лучше всего анализировать для периода самой жаркой пятидневки. Так, средняя энтальпия за самую жаркую пятидневку (84,3 кДж/кг) превышает принятое расчетное значение (73,7 кДж/кг), в то время как средняя температура за самую жаркую пятидневку (37,2 °С) ниже расчетного значения (38,7 °С).

Для самого жаркого месяца среднее значение энтальпии достигает 88 кДж/кг (см. рис. 1–3), что в пересчете на холодильную мощность составит 130% от номинальной в среднем за месяц. Для самой жаркой пятидневки (см. рис. 4–6) повышение

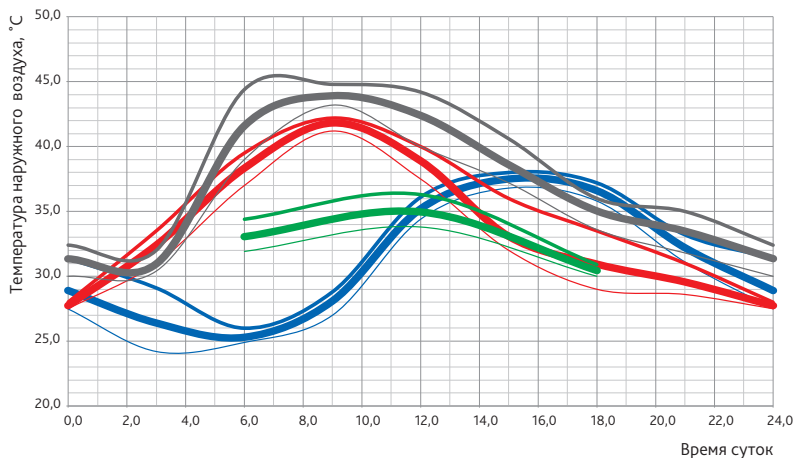
энтальпии в дневные часы доходит до 101 кДж/кг, что соответствует 180% холодильной мощности от номинальной.

Соотношения текущих температур и энтальпий для жаркой пятидневки (см. рис. 4–6) позволяют сделать вывод о том, что продолжительность периода с текущей температурой, превышающей расчетную, меньше, чем продолжительность периода с энтальпией, превышающей расчетную. Таким образом, степень необеспеченности, определенная из температурных условий, будет ниже, чем для условий, определенных по энтальпии, и текущие значения энтальпий будут превышать расчетные значения. Для окончательной оценки степени необеспеченности по энтальпии, так же как и для АЭС «Руппур», необходимы статистические расчеты.

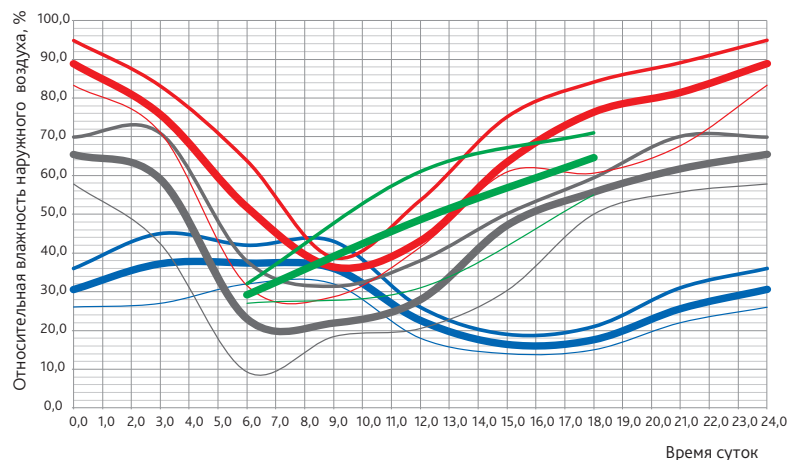
Площадка строительства АЭС «Курская-2»

С учетом данных по климатическим параметрам АЭС «Курская-2» для самой жаркой пятидневки можно сделать следующие выводы: степень необеспеченности, определенная по температуре, будет коррелировать с необеспеченностью по энтальпии для данной температуры вследствие того, что значения расчетной энтальпии воздуха и средней за жаркую пятидневку близки между собой (49,5 и 52 кДж/кг соответственно). Если для условий АЭС «Руппур» и АЭС «Бушер-2» общие тенденции наглядны и по ним можно оценить динамику необеспеченности с учетом энтальпии, то для условий АЭС «Курская-2» однозначный вывод сделать нельзя – необходимо проведение статистических расчетов.

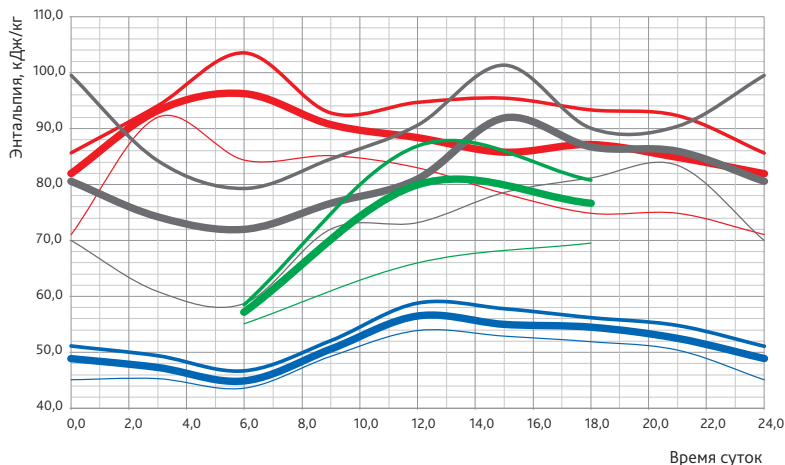
Данные по самой жаркой пятидневке позволяют сделать



■ Рис. 4. Средние значения температур наружного воздуха в течение самой жаркой пятидневки по температуре



■ Рис. 5. Средние значения относительной влажности наружного воздуха в течение самой жаркой пятидневки по температуре



■ Рис. 6. Средние значения энтальпий наружного воздуха в течение самой жаркой пятидневки по температуре

- среднее месячное значение (АЭС «Курск-2»)
- максимальное среднее месячное значение (АЭС «Курск-2»)
- минимальное среднее месячное значение (АЭС «Курск-2»)
- среднее месячное значение (АЭС «Руппур»)
- максимальное среднее месячное значение (АЭС «Руппур»)
- минимальное среднее месячное значение (АЭС «Руппур»)
- среднее месячное значение (АЭС «Бушер-2»)
- максимальное среднее месячное значение (АЭС «Бушер-2»)
- минимальное среднее месячное значение (АЭС «Бушер-2»)
- среднее месячное значение (АЭС «Аккую»)
- максимальное среднее месячное значение (АЭС «Аккую»)
- минимальное среднее месячное значение (АЭС «Аккую»)

следующие выводы: колебания температуры в период самой жаркой пятидневки составляют от +24 до +38 °С при среднем расчетном значении +28,2 °С; энтальпия наружного воздуха достигает значений от 43 до 59 кДж/кг, что превышает расчетное значение (49,5 кДж/кг) в среднем с 9 до 24 часов для самой жаркой пятидневки. В рассматриваемый период может наблюдаться превышение требуемой холодильной нагрузки на 90 % от расчетной. В целом средние ожидаемые колебания требуемой холодильной мощности будут составлять от 55 до 170 % от расчетной.

Заключение

Результаты обработки указывают, что выбор расчетных значений температуры, влажности и энтальпии по ключевому значению обеспеченности температуры является недостаточным. Значения удельных энтальпий, предлагаемых в качестве расчетных в [1], представлены только для территории России и не дают ответа, с какой обеспеченностью в течение года их сопоставлять.

Для систем СКВ ключевое значение имеет степень обеспеченности по энтальпии, что наглядно показывает анализ климата по Площадкам АЭС «Аккую», АЭС «Руппур» и АЭС «Бушер-2». Физически это связано со скрытой теплотой в воздухе, определяемой его влажностью и являющейся ключевой при расчете оборудования (воздухоохладителей, холодильных машин и т.п.). Отсюда следует вывод, что при расчете и выборе параметров воздуха для систем холодоснабжения СКВ необходимо делать поправку на обеспеченность по энтальпии.

В то же время в некоторых климатических зонах существуют Площадки, для которых ошибка из-за не учета энтальпии не приводит к серьезным просчетам и необеспеченность соблюдается (Площадка АЭС «Курская-2»).

Анализ показывает, что существуют Площадки, где максимальная расчетная холодопроизводительность требуется в ограниченный период времени (АЭС «Курская-2» – интервал от двух недель до полутора месяцев в дневные часы); Площадки, где холодопроизводительность существенно не изменяется в течение длительного периода времени (АЭС «Руппур», АЭС «Бушер-2» – сутки, недели), и Площадки (АЭС «Аккую»), на которых днем требуется работа систем холодоснабжения, а в ночные часы может потребоваться тепло-снабжение для систем вентиляции и СКВ. При этом стоит отметить, что возможны значительные перепады в потребности холода системами в течение суток.

Данные результаты анализа достаточно важны, так как требуют внимания к схемным решениям по комплексам холодоснабжения (единичной мощности холодильных машин, наличию резерва, анализу отказов и надежности оборудования). В частности, для Площадки АЭС «Аккую» характерная нагрузка меньше номинала на 25 %, а пиковая превышает номинал на 15 %.

Предлагаемый способ учета влияния обеспеченности по энтальпии позволяет корректировать холодильные мощности оборудования СКВ. Так, колебания потребности в холоде в наиболее нагруженном режиме (самый жаркий период) составляют в среднем 80÷120 % от номинала. Понимание степени ответственности

обеспечения холодом потребителей и продолжительности периода времени, когда допускается отклонение от расчетных режимов, дает возможность сократить установленные мощности оборудования или обосновать необходимость установки более мощного оборудования. По предварительным осредненным оценкам, возможность корректировки холодильной мощности составляет ±20 %.

Некорректный выбор расчетных параметров приводит либо к необеспечению системами кондиционирования заявленных параметров в помещениях, либо к избыточным (невостребованным) капитальным затратам на холодильное оборудование и подводимой электрической мощности (что существенно для гражданского строительства).

Необеспечение системами СКВ заданных параметров в помещениях основных зданий АЭС может привести к отказу технологического оборудования и, как следствие, к нарушениям нормальной эксплуатации АЭС (прекращение выработки электроэнергии, нарушение безопасной эксплуатации энергетической установки). Для вспомогательных зданий и сооружений серьезных последствий не предвидится за исключением нарушения санитарных норм и требований при превышении фактических значений над расчетными.

Избыточные решения также могут привести к серьезным проблемам, так как может нарушиться работа систем в режимах низкого потребления холода. В основном это связано с автоматическим отключением систем (увеличение частоты включения/отключения), что в конечном итоге влияет на увеличенный износ оборудования и снижение его надежности и, как

следствие, способствует возникновению указанных выше проблем.

Литература

1. Свод правил СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*».
2. Свод правил СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003».
3. Сотников А. Г. Аналитическая методика определения наружных расчетных параметров в системах микроклимата зданий // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 2. – С. 3–11.
4. Сотников А. Г., Кобышева Н. В. Расчетное влагосодержание наружного воздуха // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2010. – № 5. – С. 60–62.
5. Сотников А. Г. Проектирование и расчет систем вентиляции и кондиционирования воздуха. – СПб.: Береста, 2013. Т. I, 423 с. Т. II, 430 с.
6. Креслинь А. Я. Оптимизация энергопотребления системами кондиционирования воздуха. Рига: Рижский политехнический институт, 1982. С. 154.
7. Малявина Е. Г. Строительная климатология и показатели климата в помещении. – М.: МГСУ, 2015. С. 32.
8. Малявина Е. Г., Иванов Д. С., Фролова А. А. Климатическая информация в форме специализированного «типового» года // СтройПРОФИ. – 2014. – № 18. – С. 34–36.
9. Кувшинов Ю. Я. Теоретические основы обеспечения микроклимата помещения. – М.: АСВ, 2007. С. 184.
10. Кувшинов Ю. Я. Расчет годовых расходов энергии системами вентиляции и кондиционирования воздуха // АВОК. – 2006. – № 7. С. 15–18.
11. Успенская Л. Б. Математическая статистика в вентиляционной технике. – М.: Стройиздат, 1980. С. 108. ■

Читайте на сайте

«ЗДАНИЯ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ»:

● BREEAM – какой ценой?

Каким образом сертификация зданий влияет на процесс сохранения ресурсов на протяжении всего жизненного цикла строительного объекта – от создания идеи до эксплуатации или даже до сноса проектируемого здания вы узнаете из статьи Ксении Агаповой.

● Роль интегрированного энергомониторинга в автоматизации зданий

Специалист в области автоматизации зданий компании SAUTER (Германия) Андреас Ветцель делится опытом объединения традиционных методов управления инженерными системами и программ энергетического менеджмента. В статье также представлена информация о новых программах управления с интегрированным энергомониторингом в области автоматизации зданий.

● Индустриальный парк «Южные Врата»

Опыт сертификации по BREEAM индустриального парка «Южные Врата» – крупнейшего индустриально-складского комплекса в Подмосковье.

