

## **Применение УЗИП (ЩЗИП) в районах с тяжелыми климатическими условиями. Часть первая.**

В данной статье рассмотрены вопросы применения устройств и щитков защиты от импульсных перенапряжений УЗИП (ЩЗИП) в условиях экстремальных температурных нагрузок на различных производственных объектах. Напомним, что согласно ГОСТ IEC 61643-11-2013 допустимые условия эксплуатации УЗИП в нормальном диапазоне составляют от минус 5 до плюс 40 °С при относительной влажности от 5 до 90 %. Данный диапазон распространяется на УЗИП для внутренней установки в защищённых от погодных условий местах без контроля температуры и влажности.

Расширенный диапазон температур составляет от минус 40 до плюс 70 °С при относительной влажности от 5 до 100 %. Этот диапазон распространяется на УЗИП для наружного применения в незащищённых от погодных условий местах.

По способу размещения различают УЗИП внутренней установки, предназначенные для установки в оболочке и/или внутри зданий или под навесами.

УЗИП, предназначенные для применения без оболочек, вне зданий и навесов (например, в низковольтных воздушных линиях электропередач) считают предназначенными для наружной установки.

УЗИП в низковольтных распределительных системах производства АО «Хакель Рос» являются в основном УЗИП внутренней установки. Ограничители перенапряжений класса II для воздушных линий серии SPB, разделительные разрядники серий ГСР и HGS, а так же устройства ГИК для защиты полевого оборудования относятся к УЗИП для внешней установки.

Для размещения УЗИП на открытом воздухе, где он помимо колебаний температур подвержен образованию инея, росы, воздействию пыли, снега, солнечной радиации, в его конструкции необходимо предусмотреть целый комплекс мер, которые неизбежно ведут к удорожанию – заливку компаундом, защиту от коррозии, усиленную изоляцию и т.д. По этой причине номенклатура «всепогодных» УЗИП крайне ограничена. УЗИП внутреннего исполнения может подходить по своим защитным свойствам, но не иметь «всепогодных» аналогов для работы в условиях повышенной температуры и влажности, на открытом воздухе, во взрывоопасных зонах.

Снять проблему установки УЗИП помогают различные оболочки – шкафы, коробки, кожухи. Преимущества данного решения очевидны: оболочки способны обеспечить защиту группы УЗИП, оболочка не связана с УЗИП, и при его повреждении сохраняет свои свойства; оболочка позволяет поместить дополнительное оборудование совместно с УЗИП для получения комплектного щитка защиты ЩЗИП с функцией защиты от перенапряжений, ввода и распределения электроэнергии, управления освещением и т.д.

ЩЗИП различного исполнения намного выгодней, и позволяют решить задачи по размещению стандартных УЗИП фактически в любых условиях. При этом изготовитель АО «Хакель Рос» использует специальные конструкции ЩЗИП, для обеспечения эксплуатации УЗИП в жесткой обстановке.

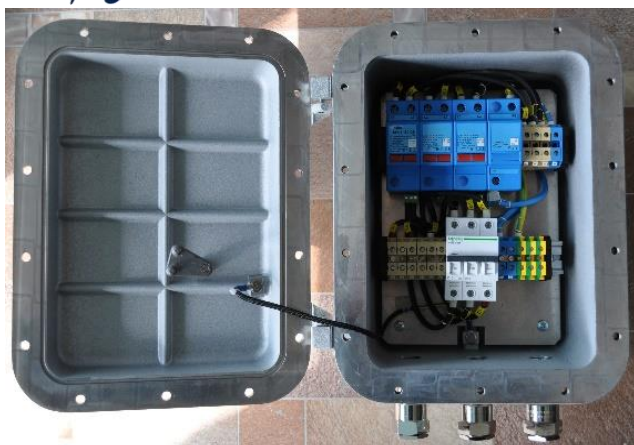


Рис.1 –Различные исполнения ЩЗИП.

ЩЗИП® АО «Хакель Рос» ТУ 3434-001-79740390-2007 предназначены для защиты электроустановок от воздействия опасных перенапряжений, вызванных прямыми ударами молний в систему внешней молниезащиты объекта или линии электропередач, наводками от удаленных разрядов молний и коммутационными помехами.

ЩЗИП® имеют следующие сертификаты:

- сертификат соответствия №ТС RU C-RU.МЛ02.В.00377 Щитков защиты от импульсных перенапряжений низковольтных комплектных ЩЗИП, ТУ 3434-001-79740390-2007 требованиям Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 004/2011 "О безопасности низковольтного оборудования".
- сертификат соответствия РОСС RU.ПЦ01.Н04911 Щитков защиты от импульсных перенапряжений низковольтных комплектных ЩЗИП требованиям п.1.2.3.6 ТУ 3434-001-79740390-2007 по стойкости к воздействию землетрясений интенсивностью 9 баллов по шкале MSK-64 по ГОСТ 30546.1-9.
- сертификат соответствия системы добровольной сертификации ГАЗПРОМСЕРТ ГО00.RU.1131.Н00395 требованиям ТУ 3433-001-79740390-2007.

Технология защиты электрооборудования от воздействия импульсных перенапряжений с помощью отдельных распределительных щитов с установленными УЗИП была освоена и усовершенствована специалистами АО «Хакель Рос» в результате изучения нормативных документов в области энергетики и связи, анализа продукции зарубежных компаний, опыта работы с проектными и эксплуатационными организациями.

Монтаж УЗИП в шкафу ЩЗИП это еще не гарантированная защита от воздействия ВВФ, при этом актуальной остается задача определения температурного режима внутри оболочки в интервале возможных значений температуры эксплуатации.

После получения данных расчета можно сравнить полученные значения с техническими характеристиками оборудования, и далее принимать решения о соответствии изделия и его комплектующих условиям эксплуатации. Если условия по температурному режиму не выполняются, разработчику остается либо пересмотреть состав КИ внутри оболочки ЩЗИП, либо дополнительными мерами, которыми являются вентиляция и обогрев, обеспечить требуемый температурный режим. И если с точки зрения УЗИП вопрос решается достаточно просто, так как в АО «Хакель Рос» существует специальная серия УЗИП с расширенным температурным диапазоном от минус 60 до плюс 80 °С и относительной влажности в

соответствии с климатическим исполнением УХЛ2.1 (ГОСТ 15150-69) – от 75 % при 15 °С до 98 % при 25 °С, то для остального оборудования единственным выходом является оболочка с искусственно регулируемыми климатическими параметрами.

В общем случае выбор устройств вентиляции и обогрева, а также применение утеплителей, отражающих пленок, вентиляционных решеток зависит от трех действий.

Первое, это определение повышения температуры внутри оболочки по методу стандарта МЭК 60890. Второе, вычисление результирующей температуры, с учетом температуры окружающей среды в месте эксплуатации. Третье, расчет мощности обогревателя (или вентилятора) для обеспечения необходимого значения температуры.

Согласно ГОСТ IEC 61439-1-2013 раздел 9.2 «Превышением температуры элемента или части является разница между температурой этого элемента или части, измеренной согласно 10.10.2.3.3, и температурой окружающего воздуха снаружи НКУ. Если же средняя температура окружающего воздуха свыше 35 °С, тогда пределы превышения температуры устанавливают согласно этим особым условиям эксплуатации, так чтобы сумма температур окружающего воздуха и индивидуального предела превышения температуры оставалась неизменной. Если средняя температура окружающего воздуха ниже 35 °С, то такая же адаптация пределов превышения температуры допускается по соглашению между изготовителем и потребителем».

Метод расчета, предлагаемый в Стандарте МЭК 60890:1987 «Узлы низковольтной аппаратуры и механизмов управления, частично подвергшиеся типовым испытаниям. Методы оценки повышения температуры с помощью экстраполяции», применим только при выполнении следующих условий:

- номинальный ток цепей НКУ не должен превышать 80 % номинального тока (на открытом воздухе) устройств защиты и электрических компонентов, установленных в этих цепях;
- приблизительно равное распределение потерь мощности внутри оболочки и отсутствие преград, затрудняющих их распространение за пределы НКУ;
- оборудование размещено так, что циркуляция воздуха затруднена незначительно;
- оборудование предназначено для постоянного или переменного тока до 60 Гц включительно, с полным током питания не более 1600 А;
- проводники, проводящие ток свыше 200 А, и конструктивные части расположены так, что потери на вихревые токи пренебрежимо малы;
- для оболочек с вентиляционными отверстиями поперечное сечение воздуховыпускных отверстий составляет, по крайней мере, 1,1 поперечного сечения воздуховпускных отверстий;
- в каждой секции НКУ имеется не более трех горизонтальных перегородок;
- в тех местах, где оболочки имеют внешние вентиляционные отверстия, поверхность вентиляционных отверстий в каждой горизонтальной перегородке должна составлять, по крайней мере, 50 % от горизонтального поперечного сечения отсека.

Стандартный шкаф ЩЗИП полностью удовлетворяет данным требованиям.

Для проведения расчетов необходимы следующие параметры:

- размеры оболочки: высота, ширина, глубина;
- тип установки оболочки (см. таблицу 4);
- наличие вентиляционных отверстий;
- количество горизонтальных внутренних перегородок;
- потери мощности установленного в оболочке оборудования (см. таблицу 9);

- потери мощности проводников внутри оболочки, равные сумме потерь мощности каждого проводника в соответствии с приложением 1.

На первом этапе необходимо рассчитать эффективную площадь поверхности теплообмена  $A_{\text{э}}$ . Поверхность шкафа контактирует с окружающей средой, температура которой отличается от температуры внутри шкафа. Эффективная площадь теплообмена  $A_{\text{э}}$  зависит от геометрических размеров и расположения шкафа, с поправкой на коэффициент  $A_0$ .

На втором этапе рассчитывается мощность тепловых потерь, выделяемых оборудованием внутри шкафа. Тепловая мощность шкафа определяется как сумма потерь мощности отдельных элементов, установленных в шкафу:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1)$$

Тепловые потери отдельного установленного оборудования можно уточнить по их электрическим характеристикам. Для оборудования и проводников с неполной нагрузкой можно определить потери мощности по следующей формуле:

$$Q = Q_n \times (I_d / I_n)^2 \quad (2)$$

где:

$Q$  — потери активной мощности;

$Q_n$  — потери номинальной мощности (при  $I_n$ );

$I_d$  — действительное значение тока;

$I_n$  — номинальный ток.

Далее, с учетом известных значений температур окружающей среды ( $T_{\text{emin}}$ ,  $T_{\text{emax}}$ ), можно найти максимальные и минимальные значения температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) внутри шкафа:

$$T_{\text{imax}} = Q / (K \times A_{\text{э}}) + T_{\text{emax}} \quad (3)$$

$$T_{\text{imin}} = Q / (K \times A_{\text{э}}) + T_{\text{emin}} \quad (4)$$

где:

$A_{\text{э}}$  — эффективную площадь поверхности теплообмена.

$T_{\text{emin}}$  — мин. значение (рабочее или предельное) температуры окружающей среды

$T_{\text{emax}}$  — макс. значение (рабочее или предельное) температуры окружающей среды

$T_{\text{imin}}$  — мин. значение температуры внутри оболочки

$T_{\text{imax}}$  — макс. значение температуры внутри оболочки

$K$  — постоянная, учитывающая материал оболочки.

Для некоторых распространенных материалов, используемых для изготовления шкафов, она будет иметь следующие значения:

- $K = 12 \text{ Вт/ м}^2/\text{}^{\circ}\text{C}$  для оболочки из алюминия;
- $K = 5,5 \text{ Вт/ м}^2/\text{}^{\circ}\text{C}$  для оболочки из окрашенного металла;
- $K = 3,7 \text{ Вт/ м}^2/\text{}^{\circ}\text{C}$  для оболочки из нержавеющей стали;
- $K = 3,5 \text{ Вт/ м}^2/\text{}^{\circ}\text{C}$  для оболочки из полиэфира.

Обозначим требуемые значения температур внутри шкафа как  $T_{\text{min}}$  и  $T_{\text{max}}$ .

Значения  $T_{min}$  и  $T_{max}$  главным образом определяются температурным диапазоном эксплуатации компонентов ЩЗИП. Далее принимаем решение о выборе необходимой системы поддержания микроклимата.

Если максимальное расчетное значение температуры внутри оболочки превышает заданное ( $T_{max} > T_{max}$ ), то необходимо предусмотреть систему принудительной вентиляции, теплообменник или кондиционер воздуха.

Если минимальное расчетное значение температуры меньше заданное ( $T_{min} < T_{min}$ ), то необходимо предусмотреть систему обогрева.

При проектировании должны быть приняты серьезные меры по предупреждению образования конденсата. На практике самый большой риск образования конденсата возникает, когда происходят совместные колебания высокой относительной влажности и температуры. Подобное явление наблюдается в герметичных шкафах при уличном размещении. Доля водяного пара в атмосферном воздухе называется абсолютной влажностью (измеряется в  $г/м^3$ ).

Отношение массовой доли водяного пара в воздухе к максимально возможной при данной температуре измеряется в процентах и определяется по формуле:

$$RH = \frac{P(H_2O)}{P^*(H_2O)} \times 100\%, \quad (5)$$

где RH – относительная влажность рассматриваемой смеси (воздуха);

$p(H_2O)$  – парциальное давление паров воды в смеси;

$p^*(H_2O)$  – равновесное давление насыщенного пара.

Относительная влажность используется для определения точки росы – температуры, ниже которой начинается образование конденсата.

При 100 % процентной относительной влажности воздух настолько насыщен, что достигается так называемая точка росы. При этом лишний пар конденсируется, или кристаллизуется, в зависимости от температуры.

Температура точки росы  $T_p$  определяется по формуле:

$$T_p = \frac{b \gamma(T, RH)}{a - \gamma(T, RH)}, \quad (6)$$

где,

$a = 17,27$ ,  $b = 237.7$  °C, RH – относительная влажность в долях объема.

$$\gamma(T, RH) = \frac{a T}{b + T} + \ln RH \quad (7)$$

Существует более простая формула при значениях  $RH > 0.5$

$$T_p \approx T - \frac{1 - RH}{0,05}. \quad (8)$$

Действие влажности на громадное большинство изделий связано со сравнительно продолжительными процессами диффузии или электрохимическими процессами. В естественных условиях на изделия действует переменная влажность. Поэтому в первую очередь следует учитывать не верхние, а эффективные значения влажности и температуры. Такие значения влажности учитывают при оценке параметров изделий, связанных со сравнительно длительными процессами (изменение сопротивления, емкости, электрической

прочности изоляции, процессами набухания, старения, коррозии, электролиза, гидролиза). Однако, поскольку некоторые быстроразвивающиеся процессы (например для диэлектриков изменение напряжения перекрытия по поверхности) зависят от верхнего значения влажности, в требованиях также приводят верхние значение.

В общем виде действие влажности на изделия при их эксплуатации и хранении определяется ее действием на металлы и полимерные материалы. Результаты действия влажности на металлы определяется в основном необратимыми процессами (коррозия, иногда электролиз), на полимерные материалы – как обратимыми процессами (например, диффузия), так и необратимыми (старение). При этом в необратимых процессах совместно с температурно-влажностным комплексом участвует агрессивная среда.

Исследования влияния значений влажности и температуры, а также концентрации агрессивной среды на сроки службы и сохраняемости изделий или материалов (далее – сроки L), определяемого влиянием этих значений на скорости указанных химических и физических процессов, позволяют сделать вывод о том, что это соотношение может быть определено по формуле:

$$L = A \times e^{\frac{B \times C^{-m} \times \eta^{-n}}{T}} \quad (9)$$

где L – срок службы или сохраняемости объекта;

T – температура, К;

$\eta$  - относительная влажность воздуха, %;

C – концентрация агрессивной среды воздуха г/м<sup>3</sup> или %

A, B, n, m – постоянные коэффициенты, зависящие от природы материала и условий применения, определяемые экспериментально для конкретного материала или изделия.

Это соотношение может служить математической моделью долговечности и сохраняемости изделий или материалов. Существует четкая корреляция между среднегодовыми значениями температуры и влажности и влиянием на свойства технических изделий длительно действующих переменных природных значений влажности и температуры, наблюдаемых в конкретном регионе.

Таким образом, значения сочетания «среднегодовая относительная влажность – среднегодовая температура» являются наиболее объективными представительными метрологическими показателем, на котором должно базироваться климатическое районирование для учета воздействия влажности на технические изделия, сооружения и материалы. По климатограммам на рис. 2, данным таблицы 2 для 4 классификационной группы, которой соответствует исполнение У1 получаем сочетание «среднегодовая относительная влажность – среднегодовая температура» - 75% при плюс 15°С.

Принимая во внимание значения суточных колебаний температуры, сочетание «среднегодовая относительная влажность – среднегодовая температура» можно говорить о работе в условиях повышенной влажности и о существовании возможности выпадения конденсата. Необходимо искусственно поддерживать температуру внутри шкафа, не допуская конденсации влажности, при изменениях температуры.

Климатограмма холодного умеренного климата

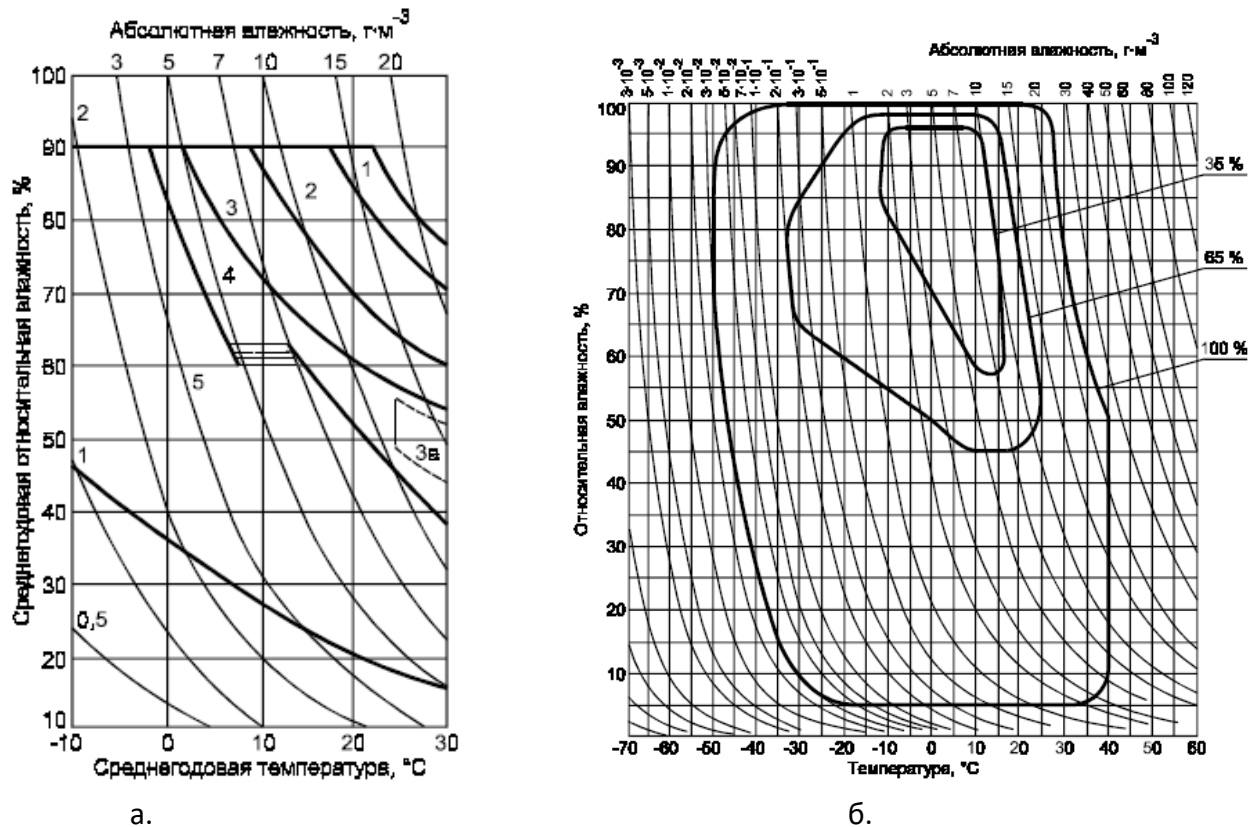


Рис. 2

- а. Значения сочетаний «среднегодовая относительная влажность – среднегодовая температура»
- б. Климатограмма холодного умеренного климата

Для того чтобы понять, какие существуют возможные сочетания температуры и влажности пользуются климатическими графиками приложения 11 ГОСТ 15150-69. Климатограмма построена для ориентировочной оценки пределов сочетаний «влажность воздуха – температура воздуха», которые могут действовать на изделие в районе с умеренным климатом. Выделенные границы – 35% и 65% это суммарная продолжительность сочетаний параметров от общего времени наблюдений; 100% – предельные возможные сочетания температуры и влажности (наблюдаемые).

Данные климатограмм в том числе наглядно иллюстрируют значения режимов эксплуатации по таблицы 2. Для представленных графиков по линии 100% влажности определяется абсолютная влажность в зависимости от исходного значения температуры, которая и выпадает в виде конденсата. Чем выше температура, тем больше водяного пара может содержаться в воздухе.

Шкафы и щиты, установленные на улице, находятся в особой группе риска: конденсат в них образуется уже от одного ночного понижения температуры, но в еще большей степени – в результате сезонных изменений погоды или внезапных перепадов температур, например, во время грозы в летнее время.

Оптимальные условия работы электрических компонентов могут быть достигнуты только при постоянной температуре. Воздух в электрических шкафах должен нагреваться до температуры, при которой он способен вместить весь водяной пар. Если воздух в ЩЗИП охлаждается, то его относительная влажность повышается, вследствие чего конденсат

выпадает на металлических стенках, а также на контактных группах электрических или электронных компонентов. Образование конденсата начинается, только когда относительная влажность достигает 100 %, при нормированных верхних значениях 80% или 98% конденсация влаги не наблюдается.

Для упрощения определения температуры точки росы можно воспользоваться таблицами сочетаний исходных значений, и колебаниями температуры. Однако при 80% или 98% и даже при более низких значениях относительной влажности шкафам и щитам с электрическими и электронными компонентами угрожает опасность, потому что и при таких условиях может происходить коррозия. В результате различных долгосрочных эмпирических исследований предел, после которого начинаются коррозионные процессы, был определен на отметке 65 % относительной влажности. Поддержание стабильной температуры не приведет к 100% влажности, но значение влажности может достигнуть 65 %. Для поддержания влажности на отметке 65 % устанавливается гигростат и обогреватель.

Таблица 1 – Определение точки росы

Т воздуха,	Т точки росы при °С при относительной влажности воздуха в %										
	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
25	12,2	13,9	15,3	16,7	18	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2	24,1
24	11,3	12,9	14,4	15,8	17	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	23,1
23	10,4	12	13,5	14,8	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	22,1
22	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,1
21	8,6	10,2	11,6	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2
20	7,7	9,3	10,7	12	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2
19	6,8	8,3	9,8	11,1	12,3	13,4	14,5	15,3	16,4	17,3	18,2
18	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3	12,5	13,5	14,5	15,4	16,3	17,2
17	5	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	14,5	15,3	16,2
16	4,1	5,6	7	8,2	9,4	10,5	11,6	12,6	13,5	14,4	15,2
15	3,2	4,7	6,1	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	12,5	13,4	14,2
14	2,3	3,7	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4	13,2
13	1,3	2,8	4,2	5,5	6,6	7,7	8,7	9,6	10,5	11,4	12,2
12	0,4	1,6	3,2	4,5	5,7	6,7	7,7	8,7	9,6	10,4	11,2
11	-0,4	1	2,3	3,5	4,7	5,8	6,7	7,7	8,6	9,4	10,2
10	-1,2	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2

Графики суточных колебаний температуры для различных месяцев позволяют оценить, как меняется температура в течение дня. Для графика на рис. 3 окружающая температура может изменяться в диапазоне от плюс 11 до плюс 22 °С; суточная амплитуда колебаний может составлять около 9 °С за 12 часов. При начальной температуре плюс 22 °С выпадение конденсата при резких колебаниях температуры возможно уже при влажности воздуха выше 65%. При наличии утеплителя нужно дополнительно учитывать скорость изменения температуры в шкафу, совместив графики изменения температуры колебания воздуха и



температуры воздуха внутри оболочки. Теплопроводность утеплителя меньше и колебания температуры воздуха могут не достигнуть точки росы, так как наружная температура поменяет знак.



Рис.3 – Суточные колебания температуры для летних месяцев умеренного климатического пояса.

Минимальная допустимая температура в шкафу во избежание образования конденсата при любых сочетаниях температуры и влажности при эксплуатации должна быть не менее точки росы, когда влажность достигает 100 %.

Для этого устанавливаем систему контроля влажности и обогрева для поддержания температуры на уровне выше температуры точки росы. Для среднего сочетания по рис. За 75 % – 15 °С точка росы – плюс 10,6 градусов и ниже, следовательно, поддерживаем температуру не менее плюс 10 °С. Система гигростат-обогреватель не должна допускать падение температуры вслед за изменением температуры окружающей среды в данном случае более 5 °С. Мощность обогревателя должна быть достаточной. Если собственное тепловыделение шкафа незначительно считаем, что параметры влажности и температуры внутри и снаружи оболочки совпадают.

Если тепловыделение шкафа значительное, то воздух подсушивается, и влажность внутри шкафа будет меньше, но при рабочих верхних значениях температуры и влажности 100% конденсация влаги при температурных колебаниях будет происходить, если не увеличивать мощность обогрева. Характеристики климатического района У1 доказывают необходимость установки системы контроля и поддержания влажности для защиты оборудования от воздействия повышенной влажности конденсации влаги.

В продолжении статьи в качестве примера для расчета теплового баланса будет рассмотрен шкаф ЩЗИП, совмещенный с оборудованием САУ крановой площадки газопровода. ЩЗИП установлен на объекте Краснотурьинского ЛПУ МГ ООО «Газпром трансгаз Югорск» в умеренном климатическом поясе.

*Источники:*

1. Технические условия ТУ 3434-001-79740390-2007 «Щитки защиты от импульсных перенапряжений низковольтные комплектные».
2. ГОСТ IEC 61643-11-2013 «Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные».
3. ГОСТ IEC 61643-21-2014 «Устройства защиты от импульсных перенапряжений в системах телекоммуникации и сигнализации (информационных системах)».
4. ГОСТ Р 51321.1-2007 «Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 1. Устройства, испытанные полностью или частично».
5. ГОСТ Р 50571-4-44-2011 «Электроустановки низковольтные. Часть 4-44. Требования по обеспечению безопасности. Защита от отклонений напряжения и электромагнитных помех».
6. ГОСТ 15150-59 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды».
7. ГОСТ Р МЭК 61643-12-2011 «Устройства для защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Принципы выбора и применения»
8. ГОСТ IEC 61439-1-2013 Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 1. Общие требования.
9. МЭК 60890:1987 «Узлы низковольтной аппаратуры и механизмов управления, частично подвергшиеся типовым испытаниям. Методы оценки повышения температуры с помощью экстраполяции».
10. Компания ОВЕН Конфигуратор расчета микроклимата шкафов управления <http://www.owen.ru/catalog/68577860>
11. Журнал «Современная электроника» №6 за 2017.