

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОЧИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

О.А. КАЛУГИНА

технический специалист

Рязань
marketing@rizur.ru

Особенностью значительной территории нашей страны является континентальный и резко континентальный климат. Средняя температура зим, обычно, по крайней мере ниже -10°C , а иногда достигает и критических отметок $-40..-50^{\circ}\text{C}$. Такая ситуация приводит к необходимости предпринимать меры по обеспечению рабочего климатического режима промышленного оборудования. Нужно учитывать не только температурный режим, но и защиту от конденсации влаги и выпадения инея. Современный уровень автоматизации технологических процессов подразумевает необходимость интеграции оборудования поддержания климата в единую систему управления для удаленной регулировки и контроля климатических условий. Появляются требования значительного повышения энергоэффективности применяемых решений. В данной статье затрагиваются перечисленные вопросы и предлагаются решения, отвечающие современному уровню развития науки и техники.

Выбор системы обеспечения климатических условий

Наиболее распространенной задачей является обеспечение защиты оборудования от переохлаждения и выпадения конденсата/инея. Обычно эта задача решается применением утепленных боксов, шкафов или чехлов, совместно с локальными нагревателями, например, производимых НПО РИЗУР. Основными критериями выбора нагревателя являются: необходимая мощность, температурный диапазон и алгоритм поддержания температуры, надежность и стоимость. Рассмотрим некоторые критерии отдельно.

Необходимая мощность рассчитывается исходя из условий перепада температуры (снаружи бокса – внутри бокса), толщины термоизоляционного материала бокса (шкафа, чехла) и общей площади поверхности бокса. Рассмотрим простой пример: термобокс без окон размером 840 мм, 470 мм, 610 мм; утеплитель – вспененный полиуретан толщиной 25 мм. Для примера расчета берется шкаф защитный стеклопластиковый РизурБокс-С-8 (производства НПО РИЗУР). Необходимая температура внутри бокса $+15^{\circ}\text{C}$, температура снаружи -50°C . Для упрощения в примере расчета не будем учитывать крепёжные металлические конструкции, импульсные вводы, кабельные вводы и др. мостки холода. При

необходимости можно произвести детальный расчет мощности, суммируя по всем конструктивным элементам. Мощность тепловых потерь будет вычисляться следующим образом:

$$P = \kappa \cdot \frac{S \cdot \Delta T}{L}$$

Где: P – мощность в ваттах, κ – коэффициент теплопроводности утеплителя в $\text{Вт/м}^{\circ}\text{C}$, S – площадь поверхности термобокса в м^2 , L – толщина утеплителя в м, ΔT – разница температур внутри и снаружи термобокса.

$$P = 0,022 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^{\circ}\text{C}} \cdot$$

$$\cdot (0,84 \cdot (0,61 + 0,47 + 0,61 + 0,47) + 2 \cdot (0,61 \cdot 0,47)) (\text{м}^2) \cdot$$

$$\cdot (15 - (-50)) (^{\circ}\text{C}) : 0,025 (\text{м}) = 136,58 \text{Вт}$$

При выборе нагревателя следует учитывать погрешность определения коэффициента теплопроводности материала, погрешности размеров конструктивных элементов, негерметичность конструктивных элементов открывающейся части конструкции и т. д. Особенно необходимо учесть ограничение мощности для соблюдения температурного режима поверхности нагревателя при обеспечении требований взрывозащиты в выбранной зоне. Компенсировать это можно введением коэффициента запаса мощности 1,5-2.

Таким образом для данного примера можно выбрать взрывозащищенный нагреватель РИЗУР ОША-Р-2 предельной мощностью 200 Вт. При эксплуатации шкафа в экстремальных условиях (крайне низкие температуры воздуха, постоянное открытие/закрытие шкафа, большое количество импульсных, кабельных и трубных вводов) рекомендуется вводить коэффициент запаса 2,5 - 3 для увеличения скорости нагрева воздушной среды в боксе. В этом случае подойдет взрывозащищенный нагреватель РИЗУР ОША-Р-4 предельной мощностью 400 Вт. Если нагреватель применяется во взрывоопасной зоне и поверхность радиатора нагревателя ограничена по максимальной температуре, нужно учесть, что при расчете мы получаем среднюю мощность, а не максимальную.

Температурный диапазон – следующий критерий, который мы рассмотрим. Типичная конструкция нагревателя подразумевает применение термостата срабатывающего при определенной температуре и имеющего гистерезис. В общем случае работа такого нагревателя осуществляется следующим образом: при понижении температуры до нижнего предела, происходит подключение спирали нагревателя к напряжению питания. При нагреве радиатора спиралью, температура среды в боксе повышается и когда она достигает верхнего предела, термостат срабатывает ►

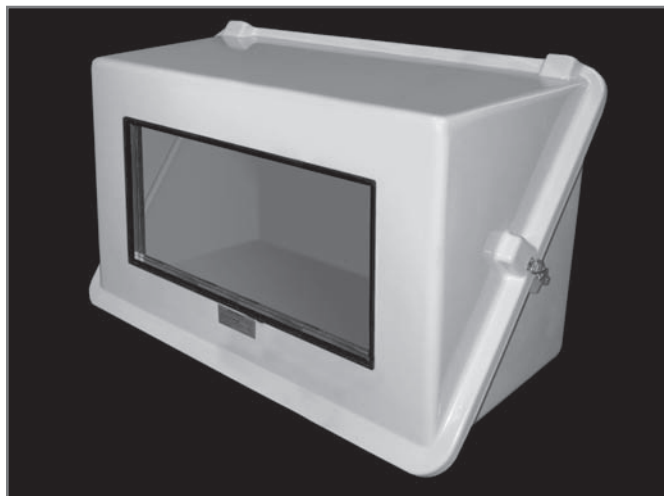


Рис. 1. Шкаф защитный стеклопластиковый РизурБокс-С-8



Рис. 2. Взрывозащищенные обогреватели РИЗУР ОША-Р

и отключает спираль от напряжения питания. Температура среды начинает падать и цикл повторяется. В связи с тем, что воздушная среда имеет достаточно высокое тепловое сопротивление, а термостат является конструкцией с большой инерционностью, в среде возникают тепловые волны, имеющие значительную амплитуду. Одни из лучших образцов термостатов фирмы Sensata имеют гистерезис 11,1°C и отклонение от номинала 2,8°C. Нетрудно подсчитать, что амплитуда создаваемых тепловых волн, с учетом инерционности системы в целом будет приводить к условиям возникновения точки росы. Помимо этого, в основном термостаты применяются в диапазоне от 0°C и выше, а это не целесообразно из соображений энергоэффективности, когда установленное оборудование гарантированно работает, например, при температуре -20°C. В настоящее время на рынке предлагаются обогреватели (по сути интеллектуальные взрывозащищенные системы обогрева), которые способны поддерживать заданную отрицательную температуру в боксе, шкафу и т.д. Примером такого предложения является взрывозащищенный обогреватель РИЗУР ОША-Р на базе интеллектуальной системы управления (исполнения S, A, AR), который способен поддерживать заданную температуру в диапазоне от -40 до +50, например, ровно -15°C.

При применении ИВСО (интеллектуальных взрывозащищенных систем обогрева) можно решить указанные выше проблемы, включая работу при отрицательных температурах. Однако квалификация монтирующего и обслуживающего персонала, должна быть выше. Алгоритм работы ИВСО в корне отличается от алгоритма работы нагревателей с термостатами. Тепловые волны создаются с гораздо меньшей амплитудой, так как применяются высокоточные датчики температуры, а управление спиралью нагревателя производится плавно. Спираль включается на необходимый процент мощности, для компенсации тепловых потерь через конструкцию бок-

са, при этом гистерезис может быть установлен на уровне ±1°C ИВСО позволяют осуществлять, как визуальный (встроенным индикатором), так и удаленный контроль посредством подключения к SCADA (примером является взрывозащищенный обогреватель РИЗУР ОША-Р исполнения AR).

Отказоустойчивость систем обогрева в основном зависит от качества применяемых конструктивных элементов и режима работы. Для термостатов устанавливается предельное число срабатываний – для лучших образцов 100 000 циклов. Для ИВСО устанавливается предельное время наработки 15 000 часов. В ответственных применениях, для повышения надежности применяется дублирование и постоянный контроль состояния работоспособности систем обогрева, подключением к SCADA.

Пример объединения обогревателей РИЗУР ОША-Р в промышленную сеть (подключение к системе SCADA) представлен на рис. 3.

Защита от выпадения конденсата и инея

Отсутствие конденсата, является необходимым требованием условий эксплуатации многих измерительных приборов. При решении задач обогрева приходится учитывать условия возникновения конденсата и выпадения инея. Для понимания этой проблемы важно понятие точки росы (инея), определяемое как температура, при которой парциальное давление насыщенного относительно воды (льда) пара равно парциальному давлению водяного пара в характеризуемом газе. Когда имеют место отрицательные температуры, все усложняется тем, что возникает неоднозначность в определении давления насыщенного пара. Водяной пар может быть насыщенным относительно «плоской поверхности льда» и относительно «плоской поверхности воды». В последнем случае подразумевается возможность существования воды в жидкой фазе, из-за отсутствия центров кристаллизации в свободной атмосфере, в переохлажденном состоянии при температуре до -50°C. Единицы измерения

относительной влажности воздуха по воде при отрицательной температуре широко используются в метеорологической практике. В замкнутых объемах на холодных поверхностях, свободно конденсируется (в зависимости от температуры в виде воды или инея) избыточный водяной пар и его «перенасыщения» не происходит. Поэтому для замкнутых объемов при отрицательной температуре корректнее пользоваться понятием давления насыщенного пара относительно плоской поверхности льда.

На практике точное определение значения точки росы (инея) является достаточно сложной задачей, в которой необходимо учитывать возможность изменения давления в замкнутом объеме. В общем случае, для достаточного точного определения точки росы/инея, можно воспользоваться таблицами давления насыщенного пара при определенной температуре:

Рассмотрим определение точки росы на примере. В боксе предполагается установка оборудования, работающего при температуре выше 0°C, без выпадения конденсата. Устанавливается обогреватель оснащенный точным термостатом на 15°C и гистерезисом 11°C. Относительная влажность в боксе при температуре 15°C равна 85%. Определим точку росы:

$$p = p_s \cdot \left(\frac{\Psi}{100} \right)$$

где:

- p – парциальное давление водяного пара
- p_s – давление насыщенного водяного пара
- Ψ – относительная влажность

По таблице 2 находим значение давления насыщенного пара при температуре 15°C, оно равно 1706,4 Па. По формуле рассчитываем парциальное давление водяного пара:

$$p = 1706,4(85:100) \text{Па} = 1450,44 \text{Па}$$

По таблице 2 находим, какому значению температуры соответствует давление 1450,44 Па. Оно находится между 12°C и ►

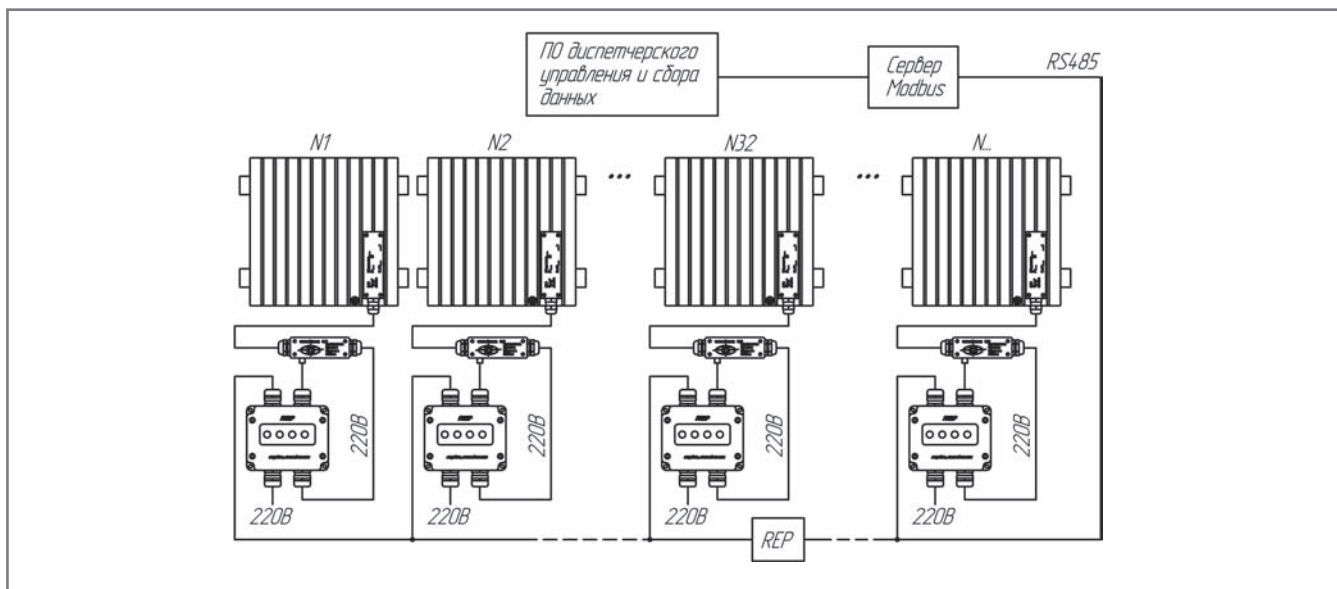


Рис. 3. Пример объединения обогревателей РИЗУР ОША-Р в промышленную сеть (подключение к системе SCADA).

T, °C	p_{sw} , Па	p_{sl} , Па	T, °C	p_{sw} , Па	p_{sl} , Па	T, °C	p_{sw} , Па	p_{sl} , Па
-50	6,453	3,924	-33	38,38	27,65	-16	176,37	150,58
-49	7,225	4,438	-32	42,26	30,76	-15	191,59	165,22
-48	8,082	5,013	-31	46,50	34,18	-14	207,98	181,14
-47	9,030	5,657	-30	51,11	37,94	-13	225,61	198,45
-46	10,08	6,38	-29	56,13	42,09	-12	244,56	217,27
-45	11,24	7,18	-28	61,59	46,65	-11	264,93	237,71
-44	12,52	8,08	-27	67,53	51,66	-10	286,79	259,89
-43	13,93	9,08	-26	73,97	57,16	-9	310,25	283,94
-42	15,48	10,19	-25	80,97	63,20	-8	335,41	310,02
-41	17,19	11,43	-24	88,56	69,81	-7	362,37	338,26
-40	19,07	12,81	-23	96,78	77,06	-6	391,25	368,84
-39	21,13	14,34	-22	105,69	85,00	-5	422,15	401,92
-38	23,40	16,03	-21	115,32	93,67	-4	455,21	437,68
-37	25,88	17,91	-20	125,74	103,16	-3	490,55	476,32
-36	28,60	19,99	-19	136,99	113,52	-2	528,31	518,05
-35	31,57	22,30	-18	149,14	124,82	-1	568,62	563,09
-34	34,83	24,84	-17	162,24	137,15	0	611,65	611,66

Таб. 1. Значения давления насыщенного пара над плоской поверхностью воды (p_{sw}) и льда (p_{sl}).

T, °C	p_{sw} , Па	T, °C	p_{sw} , Па	T, °C	p_{sw} , Па	T, °C	p_{sw} , Па
0	611,65	26	3364,5	52	13629,5	78	43684,4
1	657,5	27	3568,7	53	14310,3	79	45507,1
2	706,4	28	3783,7	54	15020,0	80	47393,4
3	758,5	29	4009,8	55	15759,6	81	49344,8
4	814,0	30	4247,6	56	16530,0	82	51363,3
5	873,1	31	4497,5	57	17332,4	83	53450,5
6	935,9	32	4760,1	58	18167,8	84	55608,3
7	1002,6	33	5036,0	59	19037,3	85	57838,6
8	1073,5	34	5325,6	60	19942,0	86	60143,3
9	1148,8	35	5629,5	61	20883,1	87	62524,2
10	1228,7	36	5948,3	62	21861,6	88	64983,4
11	1313,5	37	6282,6	63	22878,9	89	67522,9
12	1403,4	38	6633,1	64	23936,1	90	70144,7
13	1498,7	39	7000,4	65	25034,6	91	72850,8
14	1599,6	40	7385,1	66	26175,4	92	75643,4
15	1706,4	41	7787,9	67	27360,1	93	78524,6
16	1819,4	42	8209,5	68	28589,9	94	81496,5
17	1939,0	43	8650,7	69	29866,2	95	84561,4
18	2065,4	44	9112,1	70	31190,3	96	87721,5
19	2198,9	45	9594,6	71	32563,8	97	90979,0
20	2340,0	46	10098,9	72	33988,0	98	94336,4
21	2488,9	47	10625,8	73	35464,5	99	97795,8
22	2646,0	48	11176,2	74	36994,7	100	101359,8
23	2811,7	49	11750,9	75	38580,2		
24	2986,4	50	12350,7	76	40222,5		
25	3170,6	51	12976,6	77	41923,4		

Таб. 2. Значения давления насыщенного пара над плоской поверхностью воды (p_{sw}).

13°C. Так как в рассматриваемом примере нижняя температура включения термостата равна 9,5°C, можем сделать вывод, что при таких условиях в начальный момент (до времени выравнивания содержания влаги со средой из-за негерметичности бокса) возможно получение конденсата.

Аналогичным образом можно рассчитать температуру образования инея, используя таблицу 1, но обязательно стоит уточнить данные относительной влажности воздуха – воздуха насыщенного относительно воды или льда.

Обеспечение энергоэффективности

Для обеспечения энергоэффективности решения обогрева необходимо правильно сформулировать задачу. Например в шкаф с электронным измерительным оборудованием устанавливаются приборы с рабочим диапазоном температур от -20°C до +45°C. В данном случае задачей системы обогрева будет поддержание температуры не ниже -20°C, для компенсации неравномерности температур в объеме шкафа система обогрева может быть настроена с защитным интервалом в 5°C (может быть получен экспериментально), то есть -15°C. При таком подходе к постановке и решению задач обогрева, обеспечиваются минимальные затраты энергоресурсов.

Исходя из приведенного выше расчета мощности системы обогрева, является очевидным прямой зависимостью необходимой мощности от толщины термоизоляционного материала и его рабочих характеристик. Чем лучше изоляционные свойства материала и толще слой, тем меньшая мощность необходима для поддержания нужной температуры. Из предыдущего раздела, очевидно, что при тепловой изоляции необходимо обеспечить пароизоляцию, для пористых влагопроницаемых термоизоляционных материалов. Если это не обеспечивается, происходит постепенное промерзание – влага с нагретой стороны доходит до точки инея в материале и постепенно смещается в нагретую сторону, рабочая толщина материала уменьшается.

В нагруженных электрических сетях вводят многотарифные планы, для уменьшения пиковых нагрузок. В таком случае системы обогрева с возможностью подключения к SCADA, например РИЗУР ОША-Р на базе интеллектуальной системы управления (исполнение AR), позволяют значительно уменьшить затраты при управлении основным временем потребления электроэнергии.

Заключение

При принятии решений о применении систем поддержания климатических условий необходимо изначально учитывать все факторы, влияющие на итоговый результат. В общем случае такими факторами являются: необходимая мощность обогревателя; коэффициент запаса мощности; точность установки и поддержания температуры; алгоритм выхода на заданную температуру и её поддержание; установка температур и гистерезиса, препятствующих условиям образования конденсата и инея; надёжность системы; возможность контроля и подключения к SCADA; температурный диапазон. ■