НАГОРНЫЙ Н.А., профессор, ректор ЮАПК
РИЗУН И.Р., к.т.н., проректор ЮАПК
ТЕЛЯШОВ Л.Л., вед. специалист ЮАПК, чл.-кор УАН
ЧЕРНОБРЫВЕЦ А.П., к.т.н., ст. научный сотрудник ЮАПК
ЗАХАРЧЕНКО В.В., нач. бюро ГП нпкг "Зоря" — "Машпроект"

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ЛП-5

В статье рассматриваются некоторые аспекты энергопотребления и энергосбережения на предприятии. Авторами представлены позиции относительно уменьшения расходов энергии и увеличения выпуска продукции.

In the article some aspects of energy usage and energy conservation at the plant. The propositions to de-

Литейное производство ЛП-5 осуществляет литье по выплавляемым моделям и является одним из значительных потребителей электроэнергии комплекса. Годовое потребление электроэнергии ЛП-5 достигает 10-12 млн.кВт×ч, поэтому снижение этой величины имеет первостепенное значение для комплекса.

В процессе проведенного энергоаудита ЛП-5 установлено, что удельный показатель расхода энергии (на тонну годного литья, на кг годного литья) неоднозначен и зависит от таких факторов, как соотношение различных технологических групп литья в общей номенклатуре выполняемых изделий, организационных и технических мероприятий по уменьшению потерь энергии, объема выпускаемой продукции.

На этот показатель оказывает влияние и время года, поскольку обуславливает нагрузку системы кондиционирования.

В таблице представлено соотношение между среднемесячным удельным расходом электроэнергии и количеством годного литья (столбцы 2 и3). За 2001-2003гг эти данные отображены на рис.1. Большой разброс точек объясняется как раз отмеченным выше влиянием

большого числа факторов. Все же по полученным данным можно проследить определенную тенденцию влияния объема количества годного литья на удельный расход энергии. Произведем обработку статистических данных методом наименьших квадратов (табл.) [1], представив усредняющую линию в виде прямой

$$H = a_0 + a_1 g$$
,

где H — удельный расход электроэнергии, кВт/т; g — выпуск готового литья в месяц, τ ; a_0,a_1 — коэффициенты.

В результате обработки получим прямую

$$H = 121,7 - 2,36g$$

Например, при выпуске годного литья 5 т будем иметь

$$H = 121,7 - 11,8 = 109,9$$
 тыс.кВт/т,

при выпуске 10 т

$$H = 121,7 - 23,6 = 98,1$$
 тыс.кВт/т.

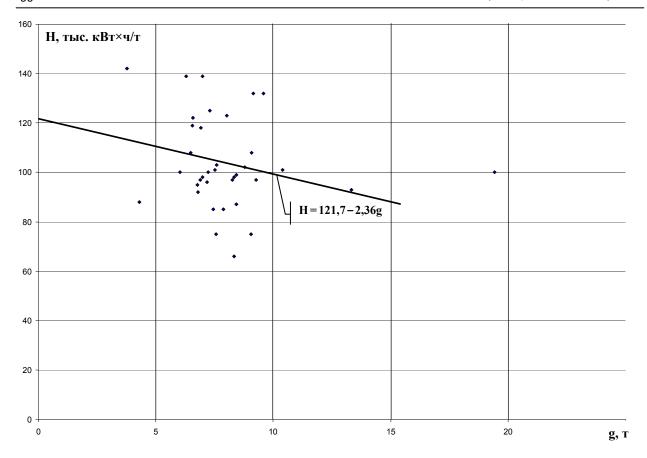


Рис. 1. Зависимость среднемесячного удельного потребления энергии от выпуска готовой продукции

Одним из наиболее энергозатратных процессов является прокалка форм в печах. В процессе аудита было проведено наблюдение за прокаливанием форм с регистрацией температуры на диаграмме $t^0 C - \tau$ и потребляемой мощности.

Характер процесса изменения температуры в печи окончательной прокалки форм представлен в прямоугольных координатах на рис. 2. Проведем анализ распределения энергии при прокалке.

Анализ носит ориентировочный характер и его целью является оценка распределения энергии на нагрев форм, нагрев печи и потерю в окружающую среду.

Эти составляющие общего количества подводимой энергии имеют место в период разогрева печи, т.е.

$$\Sigma Q_{\text{p}} = Q_{\text{oc}}^{\text{p}} + Q_{\text{p}} + Q_{\text{n}} \ , \label{eq:energy_equation}$$

где Q_{oc} — потери энергии в окружающую среду; Q_{φ} — затраты энергии на разогрев форм; Q_n — затраты энергии на нагрев печи.

В установившемся режиме (т.е. при неизменности температуры внутри печи) вся подводимая энергия затрачивается на компенсацию потерь в окружающую среду.

$$\Sigma Q_y = Q_{oc}^y$$

Определим Q_{oc}^p . На основании полученных при хронометрическом обследовании работы прокалочного оборудования, части изменения температуры во времени, представленных (печь окончательной прокалки) для периода разогрева построен график зависимости t = $f(\tau)$, где t – температура печи, τ – время, в прямоугольных координатах и замечаем, что эта зависимость определяется одной или несколькими прямыми (рис. 2). Принимаем для наружной поверхности печи изменение температуры также по небольшой прямой учитывая диапазон изменения температуры поверхности ОТ температуры воздуха в цехе t_{n1} = t_{B} до максимально возможной соображений безопасности обслуживания t_{n2} =50 0 С, именно, по одной прямой.

В таком случае общие потери теплоты в окружающую среду в период разогрева могут быть

Техногенна безпека 61

Nº	Hi	gi	ui	u _i ²	P _{i⁺} u
1	142	3,76	-4,015	16,12	-570,13
2	88	4,3	-3,475	12,075	-305,8
3	100	6,03	-1,745	3,045	-174,5
4	139	6,29	-1,485	2,205	-206,415
5	108	6,49	-1,295	1,638	-139,86
6	119	6,55	-1,225	1,501	-145,775
7	122	6,57	-1,205	1,452	-147,01
8	95	6,77	-1005	1,01	-95,475
9	92	6,8	-0,975	0,951	-89,7
10	97	6,9	-0,875	0,766	-84,875
11	118	6,92	-0,855	0,731	-100,89
12	98	6,98	-0,795	0,632	-77,91
13	139	7	-0,775	0,601	-107,725
14	96	7,18	-0,595	0,354	-57,12
15	100	7,24	-0,535	0,286	-53,25
16	125	7,29	-0,485	0,235	-60,625
17	85	7,44	-0,335	0,112	-28,475
18	101	7,52	-0,255	0,065	-25,755
19	75	7,57	-0,205	0,042	-15,375
20	103	7,58	-0,195	0,038	-20,085
21	85	7,88	0,105	0,011	8,925
22	123	8,02	0,245	0,06	30,135
23	97	8,25	0,475	0,226	46,075
24	98	8,33	0,555	0,308	54,39
25	66	8,33	0,555	0,308	36,63
26	99	8,42	0,645	0,416	63,855
27	87	8,44	0,665	0,442	57,855
28	102	8,79	1,015	1,03	103,53
29	75	9,05	1,275	1,626	95,625
30	108	9,07	1,295	1,677	139,86
31	132	9,15	1,475	2,176	194,7
32	97	9,27	1,495	2,231	145,015
33	132	9,59	1,815	3,294	239,58
34	101	10,39	2,615	6,838	266,73
35	100	19,43	2,655	7,049	265,5
36	93	13,33	5,555	30,858	516,615
Σ	3737	288,92		102,409	-241,73

подсчитаны как

$$Q_{\alpha}^{p} = \alpha F_{n} \cdot \Delta t_{cp} \cdot \tau$$
 ,

где α — коэффициент теплоотдачи от поверхности печи в окружающий воздух помещения; F_n — площадь теплоотдающей наружной поверхности печи; Δt_{cp} — средняя разность температур между наружной поверхностью печи и воздухом помещения.

Средняя разность температур

$$\Delta t_{\rm cp} = \frac{(t_{\rm nl} - t_{\rm B}) + (t_{\rm n2} - t_{\rm B})}{2}$$
,

где t_{n1} , t_{n2} — начальная и конечная температуры поверхности печи; $t_{\rm B}$ —температура воздуха в цехе.

С учетом t_{n1} = $t_{\scriptscriptstyle B}$ получим

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_{n2} - t_{_B})}{2}$$

$$Q_{\alpha}^p = \alpha F_n \cdot \frac{t_{n2} - t_{_B}}{2} \cdot \tau \quad .$$

Предполагая температуру теплоотдающей поверхности в установившемся режиме постоянной, будем иметь

$$(t_{n2} - t_B) \cdot \alpha F_n \cdot \tau = N^y \cdot \tau$$

где N^{y} – мощность нагревателя в установившемся режиме

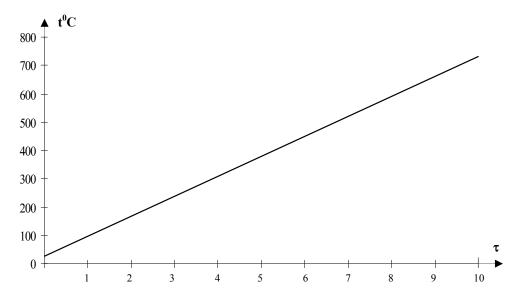


Рис. 2. Изменение температуры в печи в процессе разогрева.

$$_{\text{M}} \quad F_{n} = \frac{N^{y}}{\alpha(t_{n2} - t_{n})} .$$

Подставляя в полученное ранее уравнение F_n , определим потерю энергии в окружающую среду в режиме разогрева

$$Q_{oc} = \frac{\tau N^y}{2}$$
.

Определим теперь количество энергии, расходуемой на нагревание форм. Предположим, в печь загружено Π_A форм A, Π_B форм B и Π_C форм C.

Тогда общее количество энергии, затрачиваемое на нагрев форм будет

$$Q_{\phi} = (\Pi_A \cdot M_A \cdot C_{PA} + \Pi_B \cdot M_B \cdot C_{PB} + \Pi_C \cdot M_C \cdot C_{PC})(t_2 - t_1),$$

где M_A , M_B , M_C – масса форм; C_{PA} , C_{PB} , C_{PC} – массовая теплоемкость материала форм; t_1 и t_2 – начальная и конечная температура форм.

Если в общем случае материал форм представляет собой смесь различных материалов, то учитывая аддитивные свойства теплоемкости, общая массовая теплоемкость материала формы будет, например, для формы А

$$C_{PC} = g_{A1} \cdot C_{PA} + g_{A2} \cdot C_{PB} + ... + g_n \cdot C_{Pn}$$

где g_{A1} , g_{A2} , ..., g_{An} – массовые доли материалов, составляющих форму; C_{PA1} , C_{PA2} , ..., C_{Pan} – массовые теплоемкости материалов, составляющих форму.

Зная общие затраты энергии в процессе разогрева SQ^P и Q^P_{oc} и Q_{φ} , определим затраты энергии на разогрев печи.

$$Q_{\Pi} = \Sigma Q^{P} - Q_{oc}^{p} - Q_{do} .$$

Произведем расчет окончательной прокалки форм.

При расчете принято время разогрева $\tau^P = 14 \text{ ч,}$ время установившегося режима $\tau^Y = 14 \text{ ч,}$ мощность установившегося режима $N^Y = 16,5 \text{ кВт,}$ мощность режима разогрева $N^P = 66 \text{ кВт.}$

Формы могут быть изготовлены из бронзы либо сложного состава, включающего электрокорунд или кварцевый песок,

дистенселимонит, связующее, которое после сушки дает в составе формы окись кремния. при расчете, учитывая небольшую разницу в теплоемкости для огнеупорных материалов $0.8 \div 1.0$ кДж/кг.град, принята общая теплоемкость 0.9 кДж/кг.град для огнеупорных материалов и 0.38 кДж/кг.град для бронзы [2]. При этом в печь загружалась 21 форма из бронзы с массой $M_A = 2.0$ кг, 26 форм из составного материала с массой $M_C = 6.1$ кг.

При разогреве от t_1 = t_B = 25° C до t_2 = 1030° C распределение энергии в процессе разогрева составит: SQ^P = 924 кВт·ч, Q_{φ} 138,509 МДж = 498 кВт·ч,

 $Q_{\Pi} = 318,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч и в процентном отношении}$

- потери в окружающую среду 12,5 %,
- затраты на нагрев форм 54 %,
- затраты на разогрев печи 33,5 %.

Учитывая, разогрев это технологически необходимый процесс, продолжительность которого определяется необходимостью обеспечения надлежащего качества форм, а, следовательно, и годного литья, резервы экономии энергии следует искать в уменьшении потерь в окружающую среду (12,5%) и особенно, на разогрев печи (33,5%). Снижение потерь в окружающую среду может быть достигнут за счет снижения коэффициента теплоотдачи от поверхности печи, что труднодостижимо в условиях неподвижного воздуха в цехе, уменьшение площади поверхности теплоотдачи печи и снижение температуры поверхности, что также сомнительно на уже действующем оборудовании. Так же могут определенную играть роль технические организационные мероприятия по уменьшению потерь энергии за счет уменьшения времени нахождения в открытом состоянии загрузочновыгрузочного отверстия печи. Большие возможности дают мероприятия, направленные на уменьшение затрат энергии на разогрев печи за счет модернизации в направлении снижения объема и массы и повышения эффективности изоляции. В конечном счете, это может привести и к уменьшению теплопередающей поверхности печи. При невозможности модернизации целесообразна замена печей на более современные.

Вполне очевидно, что наиболее полная загрузка печей снижает долю непроизводительных затрат.

Значительно увеличиваются затраты энергии в ЛП-5 в летние месяцы, что обусловлено работой системы кондиционирования. Поэтому представляет интерес анализ ее работы.

В цехе применена открытая (прямоточная) система кондиционирования, полностью работающая на приточном воздухе,

Техногенна безпека 63

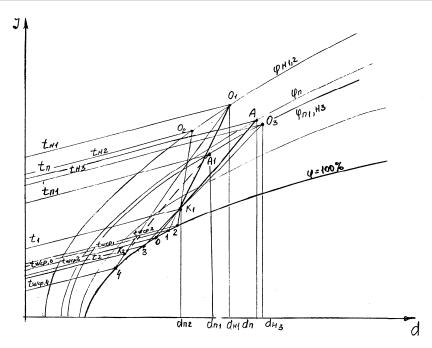


Рис. 3. Изображение процессов кондиционирования воздуха с обработкой наружного воздуха в оросительной камере

обрабатываемом в оросительной камере кондиционера распыляемый водой.

В процессе обработки холодной водой происходит охлаждение и осушение воздуха. Процесс в оросительном воздухоохладителе на диаграмме I-d изображается прямой линией (рис. 3), которая соединяет точку начального состояния О₁, подвергающегося обработке воздуха с точкой 1, лежащей на пересечении изотермы средней температуры разбрызгиваемой воды и линии относительной влажности $\phi = 100\%$. [3]

Исходя из типа воздухоохладителя и коэффициента орошения, параметры подаваемого в помещение воздуха определяются не в точке 1, а в точке 1, кривой относительной влажности 100% на линии 1.

Начальное состояние O_1 определяется параметрами подаваемого в оросительную камеру воздуха. Процесс ассимилирования тепла и влаги при подаче воздуха из оросительной камеры в помещение цеха, где поддерживаются параметры t_n и d_n (температура и влагосодержание помещения) точки А происходит под углом процесса ϵ , равным отношению

$$\epsilon = \frac{Q_{_{\text{M3}\tilde{0}}}}{W_{_{\text{M3}\tilde{0}}}} = \frac{G_{_{B}} - \Delta I}{G_{_{B}} - \Delta d} = \frac{\Delta I}{\Delta d} \ ,$$

где $Q_{\mbox{\tiny M36}}$ — количество удаляемого из помещения тепла; $W_{\mbox{\tiny M36}}$ — количество удаляемой влаги; ΔI — разность энтальпий между приточным воздухом и

воздухом помещения; Δd – разность влагосодержаний между приточным воздухом и воздухом помещения.

При этом, исходя из процесса кондиционирования в I-d диаграмме, количество подаваемого в помещение воздуха определяется как

$$G_B = \frac{Q_{_{\textrm{и}36}}}{I_\Pi - I_K} = \frac{Q_{_{\textrm{и}36}}}{\Delta I}$$

Отличием использования данной системы кондиционирования в цехе, является отсутствие системы регулирования, обеспечивающей необходимую температуру охлаждающей воды в зависимости от параметров подаваемого помещение воздуха. Например, при параметрах окружающего воздуха, соответствующих точкам O_2 , О₃, средняя температура воды в камере должна быть соответствующей точкам 2 и 3. Если же, например, для параметров воздуха, подаваемого в камеру, температура будет соответствовать точке 4, то в принципе будет невозможно обеспечение протекания процесса под необходимым углом и, в конечном счете, воздух в кондиционируемом помещении приобретет параметры, соответствующие точке A_1 . При более холодной температуре происходит как бы пересушивание воздуха и, если не регулировать при этом количество приточного воздуха в соответствии с приведенным выше соотношением, то уменьшится и температура воздуха в помещении до значения в точке A_2 (t_{n1} , d_{n1}), т.е. в этом случае происходит переохлаждение и переосушивание воздуха, на которые расходуется энергия. Для обеспечения параметров воздуха в помещении t_n , d_n , точка приточного воздуха К должна лежать на прямой луча процесса и определяться пересечением изображения процесса в оросительной камере с лучом процесса.

В І-d диаграмме процесс кондиционирования в цеховом помещении при условии поддержания параметров воздуха в точке $A(t_n, d_n)$, изобразится ломаной прямой O_1K_1A , где O_1K_1 — обработка приточного воздуха в оросительной камере со средней температурой воды t_{Wcp1} ; K_1A — процесс ассимиляции тепла и влаги подаваемым в помещение воздухом после оросительной камеры.

На рис.3 изображены также процессы обработки воздуха в оросительной камере O_2K_1 и O_3K_1 , обеспечивающие параметры воздуха в точке А при том же расходе воздуха, что и в процессе кондиционирования O_1K_1A . При этом коэффициент орошения неизменен, а соответствующие температуры охлаждающей воды t_{Wcp2} и t_{Wcp3} . Во всех случаях температура воздуха оросительной камеры t₁. На рис.1 изображен также процесс обработки воздуха О1К2 в оросительной камере, не обеспечивающий параметры воздуха в точке A и переводящий их в точку $A_1(t_{n1},d_{n1})$ при температуре воды $t_{Wcp4} < t_{Wcp1}$, температура воздуха камеры при этом t_2 . Температура охлаждающей воды t_{Wcp0} соответствует полностью рециркуляционному процессу кондиционирования.

С целью оценки влияния температуры охлаждающей воды на энергозатраты системы

кондиционирования проведены оценочные расчеты для различных параметров наружного воздуха. [4]

При принятых значениях массовой скорости и коэффициенте орошения определяются коэффициенты процесса в оросительной камере E и E^1 . Затем определяются параметры выходящего из камеры воздуха.

Температура воздуха по мокрому термометру на выходе из камеры

$$t_{M2} = (1 - E)(t_{M1} - t_{WM}) + t_{WK}$$

где $t_{w\kappa}$ — конечная температура воды (подогрев воды в камере $3 \div 5^{0}$ C).

Принимая предварительно конечную температуру воды в камере методом последовательных приближений определяем конечную температуру воды в камере \mathbf{t}_{wk} .

Температуру воздуха на выходе из камеры по сухому термометру

$$t_{c2} = t_{M2} + (t_{c1} - t_{M1})(1 - E^{1}).$$

По температурам t_{c2} и t_{m2} определяем энтальпию l_2 и влагосодержание d_2 , выходящего из камеры воздуха.

Определив разность энтальпий выходящего из камеры воздуха ΔI_2 при разных температурах охлаждающей воды и разность энтальпий входящего и выходящего воздуха при более высокой температуре охлаждающей воды I_1 , вычислим изменение затрат, как

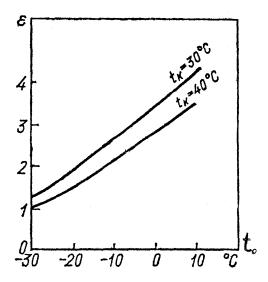


Рис. 4. Зависимость холодильного коэффициента от температуры кипения t_0 и температуры конденсации t_{κ}

Література

- Р.С. Гутер, Б.В.Овчинский. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта. М., 1962 – 356 с.
- В.П.Исаченко и др. Теплопередача. М., 1969 438 с.
- 3. В.Н.Языков. Теоретические основы проектирования судовых систем кондиционирования воздуха. Л., 1967 412 с.
- Справочник по теплоснабжению и вентиляции. ч.2, К., 1976 352 с.
- Промышленная теплоэнергетика и теплотехника. Справочник. Под ред. В.А.Григорьева и В.М.Зорина. М., 1983 – 552 с.