



процесса, числом ступеней схемы использования и перепадами температур в охладителе.

На рис. 2 показаны энергетические характеристики процессов охлаждения вещества, для которого зависимость  $Q_u = f(t_{1n})$  является непрерывной функцией и изображается прямой или выпуклой кривой (в основном — это жидкие и газообразные продукты и отходы, не испытывающие фазовых превращений при своем охлаждении).

При всех значениях  $H$  (кроме  $H = \infty$ ) максимальное значение работы  $R_{\max}$  достигается при оптимальном значении  $t_{1n}^* = t_{1n \text{ опт}}$ . Дальнейшее охлаждение продукта от  $t_{1n \text{ опт}}$  до конечной температуры  $t_{2n}$ ,

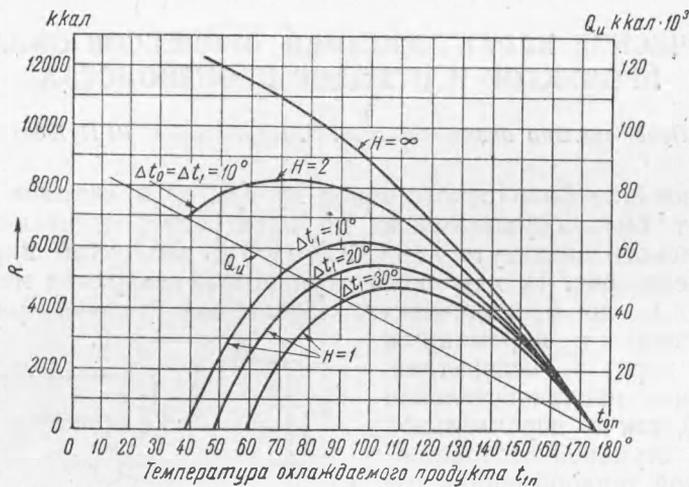


Рис. 2. Энергетические характеристики процесса охлаждения при линейной зависимости  $Q_u = f(t_{1n})$

заданной технологическим процессом, должно производиться в хвостовом теплообменнике. Лишь при  $H = \infty$  происходит непрерывное возрастание  $R$  с уменьшением  $t_{1n}$  (если  $t_{1n} \geq t_2$ ).

Количество тепла, которое должно отводиться через хвостовой теплообменник, и значение температуры  $t_{1n \text{ опт}}$  уменьшаются с увеличением числа ступеней  $H$ .

Значения  $t_{1n \text{ опт}}$  при одинаковых начальных температурах  $t_{0n}$  одинаковы для всех продуктов и отходов производства с линейными тепловыми характеристиками процесса охлаждения, т. е. не зависят от  $\rho = \tan \alpha$ , где  $\alpha$  — угол наклона прямой  $Q_u = f(t_{1n})$  к оси абсцисс, а значения  $R_{\max}$  прямо пропорциональны значениям  $\rho$ . Для заданного продукта  $t_{1n \text{ опт}}$  и  $R_{\max}$  возрастают с увеличением  $t_{0n}$ .

Ниже отмечаются некоторые особенности энергетических характеристик продуктов и отходов производства, испытывающих в процессе охлаждения частичные или полные фазовые превращения (смеси паров различных продуктов, смеси паров с неконденсирующимися газами и др.). Для них зависимость  $Q_u = f(t_{1n})$  представляется вогнутой ломаной, как показано на рис. 3, или более сложными кривыми того же характера (например, несколькими отрезками прямых и кривых).

Вид используемого продукта определяет абсциссу  $t_n$  в точке перегиба, а также значения  $\rho$  и  $\rho'$  соответственно углам  $\alpha$  и  $\alpha'$ , характеризующие зависимость  $Q_u = f(t_{1n})$ , показанную на рис. 3. Для ее построения должна быть также известна начальная температура  $t_{0n}$ .

Принципиальной особенностью зависимости  $R = \varphi(t_{1n})$ , характеризующей энергетическую ценность тепла, выделяющегося при охлаждении продуктов, или отходов производства этой категории, является

наличие, при определенных условиях, двух максимальных точек, а не одной, как при линейной тепловой характеристике процесса охлаждения.

Условием возникновения второго максимума в одноступенчатой схеме является соблюдение неравенства

$$t'_{1n\ onm} < t_m < t_{1n\ onm},$$

где  $t_{1n\ onm}$  — оптимальная температура, которая имела бы место при тепловой характеристике охлаждения, изображаемой прямой  $abt$  (абсцисса первого максимума работы  $R_{\max}$ );  $t'_{1n\ onm}$  — оптимальная температура, которая имела бы место при тепловой характеристике, изображаемой прямой  $nbc$ , совпадающей по направлению со вторым отрезком ломаной (абсцисса второго максимума  $R_{\max}$ ). Абсцисса начальной точки прямой  $nbc$  (условная начальная температура продукта  $t'_{0n}$ ) определяется по соотношению

$$t'_{0n} = \frac{\rho}{\rho'} (t_{0n} - t_m) + t_m. \quad (1)$$

Отношение  $R'_{\max}/R_{\max}$  для какого-либо продукта производства (заданы значения  $t_m$ ,  $\rho$  и  $\rho'$ ) зависит от начальной температуры  $t_{0n}$  и возрастает с ее уменьшением. Таким образом, энергетическая эффективность охлаждения продукта ниже температуры  $t_m$  падает с увеличением его начальной температуры. В том же направлении действует и увеличение перепада  $\Delta t_1$ , так как увеличение этого перепада приближает  $t'_{1n\ onm}$  к  $t_m$ .

В тех случаях, когда значение  $t_m$  лежит вне интервала  $t'_{1n\ onm} - t_{1n\ onm}$ , т. е. если  $t_m \geq t_{1n\ onm}$  (ломаная  $ade$ ) или  $t_m \leq t'_{1n\ onm}$  (ломаная  $akl$ ), то кривые  $R = \varphi(t_{1n})$ , соответственно  $aBMN$  и  $aBDPN$ , имеют только точку перегиба, причем в первом случае абсциссой единственного максимума является  $t_{1n\ onm}$ , а во втором  $t'_{1n\ onm}$ .

Для многоступенчатых схем условия появления второй максимальной точки принципиально те же, что и для одноступенчатых. Однако характерной особенностью многоступенчатых схем с последовательным включением ступеней при рассматриваемом виде зависимости  $Q_u = f(t_{1n})$  является резкое падение значения  $R$  в точке  $t_m$  (рис. 4) (кривая  $abcd$  для двух последовательно включенных ступеней; кривая  $aklm$  для  $H = \infty$  последовательно включенных ступеней). Абсциссе  $t_m$  соответствуют два значения  $R$ : одно при начальной температуре теплоносителя  $t_0$ , определенной по  $t_{0n}$ , а другое — при  $t'_0$ , определяемом по температуре  $t'_{0n}$ . При уменьшении температуры  $t_{1n}$  ниже  $t_m$  резко

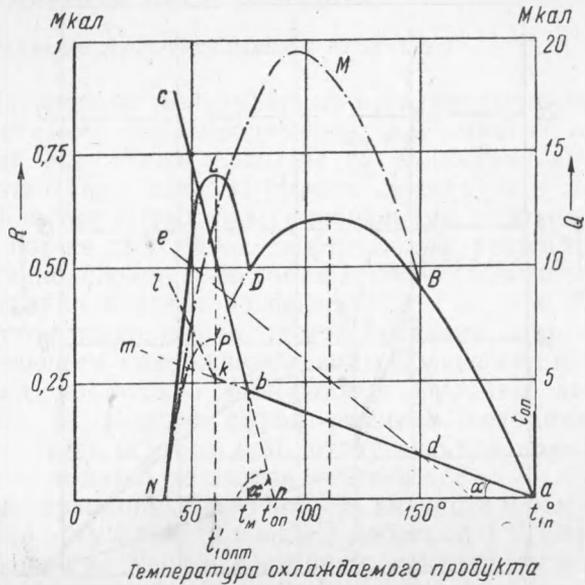


Рис. 3. Энергетические характеристики процессов охлаждения продуктов или отходов производства при наличии фазовых превращений. Одноступенчатая схема с постоянным давлением в испарителе

увеличивается количество теплоносителя, охлаждающего продукт, почему падает его начальная температура ( $t'_0$ ), а следовательно и КПД многоступенчатой схемы.

Температура  $t'_0$  определяется по соотношению

$$t'_0 = t'_{0n} - \Delta t'_0,$$

где  $t'_{0n}$  находится по формуле (1).

При значениях  $t_m \geq t_{1n\text{ onm}}$  или  $t_m \leq t'_{1n\text{ onm}}$  в одноступенчатых схемах при заданном постоянном значении  $\Delta t_1 = t_{1n} - t_1$  имеет место

лишь перегиб кривой  $R$ , а в многоступенчатых схемах местное резкое падение  $R$ .

Разность двух ординат, соответствующих абсциссе  $t_m$  (глубина падения), при прочих равных условиях тем больше, чем меньше отношение  $\rho/\rho'$  и чем больше число ступеней  $H$ .

При неизменном общем количестве ступеней испарения известное увеличение работы  $R$ , получаемой при охлаждении ниже температуры  $t_m$  продуктов или отходов производства рассматриваемого вида, может быть достигнуто переходом от последовательно включенных ступеней к двум параллельно включенным их группам, причем каждая из

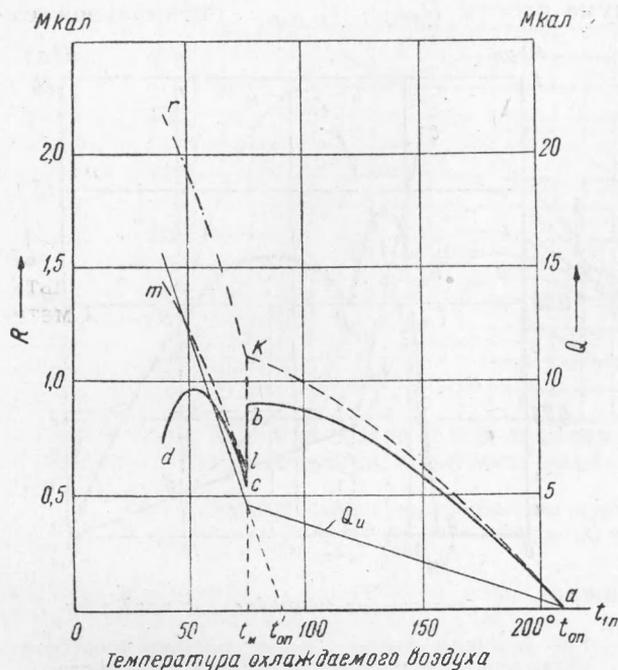


Рис. 4. Энергетические характеристики процессов охлаждения продуктов или отходов производства при наличии фазовых превращений. Многоступенчатые схемы

них в свою очередь может состоять из любого числа последовательно включенных ступеней.

В первой группе ступеней используется тепло, полученное при охлаждении продукта производства от температуры  $t_{0n}$  до температуры  $t_{1n} \geq t_m$ , а во второй группе — остальное его количество.

Верхний теоретический предел работы  $R$  достигается применением двух групп параллельно включенных ступеней, состоящих каждая из  $H = \infty$  последовательно включенных ступеней (рис. 4, кривая  $akr$ ). При этом в первой группе ступеней используется тепло, получаемое при охлаждении продукта до температуры  $t_m$ .

Поступило  
2 II 1950

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. И. Вейц, Изв. АН СССР, ОТН, № 8 (1949). <sup>2</sup> Г. И. Россиевский, там же, № 12 (1948).