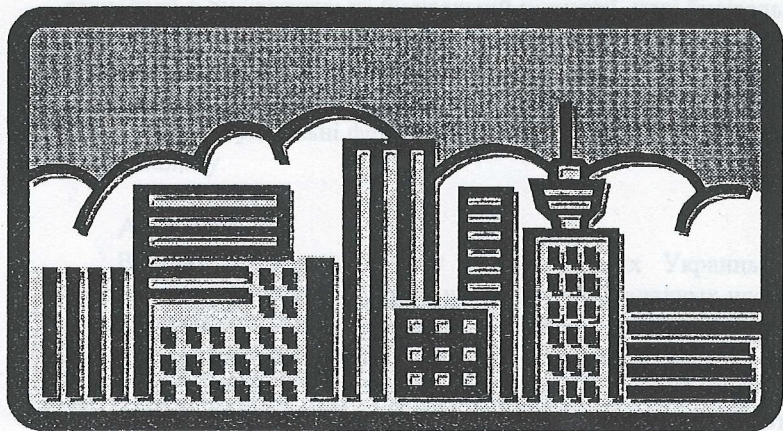


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА УКРАЇНИ



НАУКОВИЙ ВІСНИК
БУДІВНИЦТВА

18

Харків
ХДТУБА
ХОТВ АБУ
2002

Харківська обласна
територіально-місцевий
Академія будівництва
України, 2002

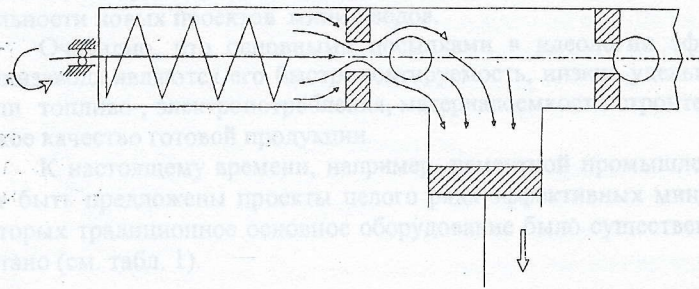


Рис.2 - Схема движения бетонной смеси при установке напорного шнека.

Уменьшение неравномерности скорости движения поршня в рабочем цилиндре обеспечивается предлагаемой конструкцией привода насоса- кулачковым приводом [1].

Таким образом, установка напорного шнека в растворобетоннасосе с кулачковым приводом позволяет реализовать пути повышения объемного к.п.д. за счет усовершенствования конструкции машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Емельянова И.А., Баранов А.Н., Задорожный А.А., Непорожнев А.С. Двухпоршневой растворобетоннасос с кулачковым приводом и возвратной кулисой. Науковий вісник будівництва.- X: ХДТУБА, w 13.- 2001.- с.34-38.

УДК 666.9.015.222

Верич Е.Д., проф.,(ХГТУСА), Ульев Л.М., канд. техн. наук, (Национальный технический университет ХПИ)

СУШКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ РЕКУПЕРАЦИЕЙ

Небольшие объемы перерабатываемого материала на минизаводах, производящих строительные материалы, позволяют существенно усовершенствовать процессы и основное оборудование. В данной работе представлено исследование теплообмена в аппарате для предварительного нагрева и сушки влажной меловой крошки перед ее дальнейшим измельчением в мельнице. В статье представлены расчеты, показывающие возможность усовершенствовать этот процесс путем рекуперации сушки меловой крошки с помощью специального скребкового конвейера.

Создание минизаводов строительных материалов является объективной экономической необходимостью, т.к. этого требуют условия хозяйст-

ования при децентрализации управления промышленностью.

Однако масштабное копирование высокопроизводительного оборудования, которым оснащены крупные заводы, всегда приводит к нерентабельности новых проектов минизаводов.

Очевидно, что основными посылками в идеологии эффективного минизавода являются его быстромонтируемость, низкие удельные показатели топливо-, электропотребления, материалоемкости строительства, высокое качество готовой продукции.

К настоящему времени, например, цементной промышленности могут быть предложены проекты целого ряда эффективных минизаводов, в которых традиционное основное оборудование было существенно переработано (см. табл. 1).

Таблица 1 – Замена традиционного оборудования на минизаводах

| Пределы производства и основное оборудование годовой мощностью (одна технологическая линия) | |
|--|---|
| 500...1000 тыс.т цемента | 12,5...100 тыс.т цемента |
| <i>I. Помол сырья и цемента</i> | |
| Шаровая грубая мельница | Барабанно-валковая мельница |
| <i>II. Усреднение сырья</i> | |
| Усреднительные комплексы (штабелеукладчик, штабелеразборщик), сырьевые силосы сырьевой смеси | Опрокидывающиеся и стационарные усреднители с predetermined выгрузкой смеси |
| <i>III. Обжиг клинкера</i> | |
| Вращающаяся печь с циклонным теплообменником и колосниковым переталкивающим охладителем | Вращающаяся печь с самонесущим теплообменником и рассредоточенным подводом теплоносителя (теплообменник может быть печью для извести), охладитель с неподвижными колосниками. |
| <i>IV. Транспорт</i> | |
| Пневмотранспорт порошкообразных материалов | Герметичный скребковый трубчатый конвейер |

Применение нового оборудования позволяет почти вдвое уменьшить площадь застройки, материалоемкость строительства, существенно сократить удельные топливные и энергетические затраты, кардинально решать экологические проблемы.

Из указанного набора основного технологического и транспортного оборудования не претерпел изменений тип сушильного оборудования, а именно сушильные барабаны.

Необходимо отметить, что эти агрегаты несомненно относятся к теплотехническим установкам с относительно небольшим коэффициентом те-

плопередачи. Это обстоятельство требует увеличения внутрибарабанного объема, что привело к созданию гигантских сушильных барабанов размером $\varnothing 5,5 \times 45$ м (1100 м^3) и такой же газоочистки. В проектах минизаводов эти размеры значительно меньше, но по сравнению с другим оборудованием барабаны привносят дисгармонию в общий замысел построения технологического комплекса по таким основным параметрам как удельная металлоемкость оборудования, компактность генерального плана, а главное – стоимость показателей строительства и эксплуатации минизавода.

В каком направлении должны вестись разработки нового сушильного оборудования? Очевидными являются следующие принципы:

- 1) высокий коэффициент теплопередачи, за счет чего должны резко сократиться габариты сушильной установки;
- 2) экологичность процесса сушки, что потребует разделения теплоносителя и высушиваемого материала;
- 3) экономичность создания и эксплуатации сушильной установки.

Первые два условия указывают на некое механическое устройство, в котором материал движется по одной стороне поверхности, а теплоноситель – с другой стороны. При движении кусочки высушиваемого материала должны иметь максимально возможное количество контактов с чистой нагретой поверхностью, а теплоноситель – достаточно большую теплоемкость; разделительная стенка должна обладать низким термическим сопротивлением.

В данной работе представлено исследование теплообмена в аппарате для предварительного нагрева и сушки влажной меловой крошки перед ее дальнейшим измельчением в мельнице. Горячим теплоносителем в данном случае служит поток отходящих топливных газов печи.

Для этого, в одном из конкретных проектов минизавода по производству извести предполагается, что скребковый конвейер, передающий на расстояние 18 м меловую крошку от дробилок к сырьевым мельницам, будет использован в качестве сушильного агрегата. При этом конвейер устанавливается на боров, пропускающим отходящие газы от известковой печи к электрофильтру; низ конвейера (рабочая ветвь также нижняя) и верх борова имеют общую разделительную перегородку в виде металлического листа толщиной 8 мм, оребренного снизу. Все остальные поверхности борова и конвейера имеют теплоизоляцию.

Массовый расход сырого мела равен $W_0 = 1,944 \text{ кг/с}$, его относительное влагосодержание составляет величину 14 % или $P_0 = 0,14$. Температура отходящих газов на входе в боров печи равна $T_{г1} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$. Массовый расход топливных газов равен $W_f = 7 \text{ м}^3/\text{с}$. Мел в мельницу должен поступать с влагосодержанием равным $P_n = 0,06$.

Нам необходимо подобрать такую длину теплообменной части борова печи, на которой достигалось бы данное влагосодержание. Для решения поставленной задачи мы должны сделать некоторые оценки и предположения для того чтобы определить наиболее существенные параметры,

влияющие на теплообмен в данном устройстве и пренебречь несущественными.

Прежде всего, предположим, что в ячейках между скребками, перемещающими меловую крошку происходит интенсивное перемешивание, и вследствие этого мы можем считать, что температура перемещаемой массы однородна по ее поперечному сечению и изменяется только вдоль движения.

Заметим также, что перемещаемый скребками материал физически не может покрывать теплообменную поверхность борова печи полностью, поэтому мы предположим, что термический контакт между мелом и поверхностью происходит на 50 % ее площади.

Сырой порошок мела поступает на поверхность теплообмена с влажностью, равной P_0 и температурой $T_{M1} = 20^\circ\text{C}$, перемещается скребками вдоль борова. при этом сначала нагревается до температуры кипения воды, т.е. $T_{M2} = 100^\circ\text{C}$. Предположим, что это происходит на расстоянии от входа в теплообменную зону, равным l_n . Далее вдоль движения порошка будет происходить испарение влаги и мы будем считать, что в области испарения температура порошка не изменяется, а вся тепловая энергия, поступающая от отходящих газов идет на испарение влаги.

Поскольку сыпучий материал перемещается вдоль поверхности теплообмена со свободной верхней поверхностью, то от нее возможна потеря тепловой энергии за счет теплообмена с окружающей средой. Скорость перемещения сыпучего материала вдоль поверхности теплообмена невелика (0,02-0,04 м/с), и поэтому основной вклад в тепловые потери будет вносить свободноконвективный теплообмен.

Сравним характерные величины потока тепловых потерь от свободной поверхности сыпучего материала и теплового потока от топливного газа к этому материалу.

Характерную величину теплового потока за счет естественной конвекции в прямоугольной полости мы можем определить из соотношения [2]:

$$Nu_c = 0.1 Ra^{0.31} Pr^{0.05}, \quad (1)$$

где $Ra = Gr \cdot Pr$ – число Релея, $Gr = \frac{\beta g \rho^2 \Delta T H^3}{\mu^2}$ – число Грасгофа, Pr – число

Прандтля, β – коэффициент объемного расширения воздуха, g – ускорение свободного падения, ρ – плотность воздуха, μ – динамический коэффициент вязкости воздуха, ΔT – характерная разность температур, H – высота полости над перемещаемым материалом (рис. 2).

Вычисляя теплофизические свойства воздуха для средней температуры $\bar{T} \approx 40^\circ\text{C}$, $\Delta T \approx 40^\circ\text{C}$ и $H \sim 0.5$ м, получим:

$$q_c = \frac{\lambda_a \text{Nu}_c}{H} \Delta T \approx 100 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}). \quad (2)$$

Тепловой поток от топливного газа будет зависеть от коэффициента теплоотдачи газа, термического сопротивления металлической крышки борава и характерной разности температур между теплоносителями. Для оценки коэффициента теплоотдачи топливного газа используем соотношение для гладкого прямолинейного канала [3]:

$$\text{Nu} = 0.023 \text{Re}^{0.8} \text{Pr}_r^{0.33}, \quad (3)$$

где $\text{Nu} = \frac{\alpha \lambda}{d}$, $\text{Re} = \frac{\rho_r \bar{v} d}{\mu_r}$, $\text{Pr}_r \sim 0.7$, α – коэффициент теплоотдачи, λ_r –

коэффициент теплопроводности топливного газа, ρ_r – плотность топливного газа, μ_r – динамический коэффициент вязкости отходящих газов, \bar{v} – средняя скорость движения топливного газа в борове печи, d – ширина теплообменной поверхности борава печи. Физические характеристики отходящих газов оценим по соответствующим величинам для двуокиси углерода [4].

Вычисления дают величину коэффициента теплоотдачи, равную $\alpha = 4000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$. Коэффициент теплоотдачи от топливного газа к мелу определится, как:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda_c}}, \quad (4)$$

где $\delta \sim 10^{-2} \text{ м}$ – толщина теплообменной поверхности, $\lambda_c \sim 16 \text{ Вт}/(\text{мК})$ – коэффициент теплопроводности стали, что дает величину $K \sim 1100 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$.

Для оценки теплового потока от топливного газа к мелу примем, что характерная температура мела равна $\sim 60 \text{ }^\circ\text{С}$, а газа $\sim 300 \text{ }^\circ\text{С}$ и тогда величина теплового потока $q_p \sim \alpha(T_m - T_r) \approx 2,7 \cdot 10^5 \text{ Вт}/\text{м}^2$, т.е. рекуперативный тепловой поток на 3 порядка больше теплового потока за счет естественной конвекции и мы вправе последним потоком пренебречь.

Оценка тепловых потерь за счет теплового излучения показывает, что они не превосходят тепловые потери за счет естественной конвекции, и, поэтому ими мы также пренебрегаем.

Заметим, что в местах образования воздушных каверн между сыпучим материалом и теплообменной поверхностью при определении коэффициента теплопередачи (4) необходимо учитывать термическое сопротивление воздуха в кавернах – $\frac{\delta_a}{\lambda_a}$, где δ_a – толщина каверны, λ_a – тепло-

проводность воздуха. Если $\delta_a \sim 10^{-3}$ м, то значение K будет равно ~ 57 Вт/(м²К), т.е. в 20 раз меньше, чем (4). Таким образом, наше предположение об исключении площади теплообменной поверхности, занятой кавернами из расчетов теплопередачи вполне оправдано.

При моделировании процесса теплообмена между материалом и отходящими газами примем за начало координат место подачи мела на теплообменную поверхность (рис. 1). Сырой мел поступает на теплообменную поверхность с температурой $T_{м1}$ и на расстоянии l_n нагревается до температуры $T_{м2} = 100$ °С. температура газа на этом участке теплообмена изменяется от температуры $T_{гн}$ при $x = l_n$ до температуры $T_{г2}$ – на выходе из участка теплообмена при $x = 0$.

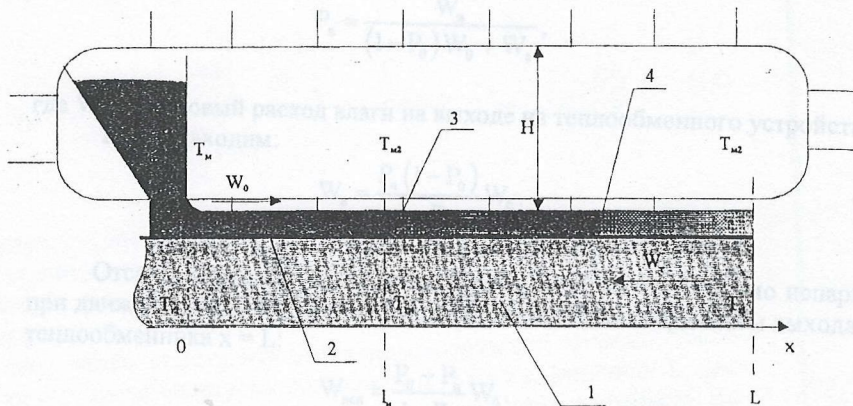


Рис. 1 - Схема теплообмена между потоком порошка мела и потоком топливного газа: 1 – поток топливного газа в борове печи; 2 – теплообменная поверхность; 3 – скребки; 4 – поток порошка мела

Величина изменения температуры отходящих газов на рассматриваемом участке определится выражением [3]:

$$T_{гн} - T_{г2} = (T_{гн} - T_{м1}) \frac{1 - \exp\left[-\frac{Kl_n d}{CP_1} \left(1 - \frac{CP_1}{CP_2}\right)\right]}{1 - \frac{CP_1}{CP_2} \exp\left[-\frac{Kl_n d}{CP_1} \left(1 - \frac{CP_1}{CP_2}\right)\right]}, \quad (5)$$

где $CP_1 = c_r \cdot W_r$ – потоковая теплоемкость отходящего газа, $CP_2 = c_c \cdot W_0$ – потоковая теплоемкость материала, $c_r = 1000$ Дж/кг – удельная теплоемкость отходящих газов, $d = 0.8$ м – ширина теплообменной поверхности.

Удельную теплоемкость сырого сыпучего материала определим, как:

$$c_c = c_m(1 - P_0) + c_b P_0, \quad (6)$$

где $c_m = 880$ Дж/кг – удельная теплоемкость сухого мела, c_b – удельная теплоемкость воды.

После координаты l_n влагосодержание смеси уменьшается за счет испарения. Общая площадь поверхности теплообмена должна быть такой, чтобы на выходе из зоны теплообмена влагосодержание сыпучего материала не превышало величину P_n , которую можно определить, как:

$$P_n = \frac{W_n}{(1 - P_0)W_0 + W_n}, \quad (7)$$

где W_n – массовый расход влаги на выходе из теплообменного устройства.

Из (7) находим:

$$W_n = \frac{P_n(1 - P_0)}{1 - P_n} W_0. \quad (8)$$

Отсюда определяем количество влаги, которое необходимо испарить при движении сыпучего материала координаты l_n до координаты выхода из теплообменника $x = L$:

$$W_{\text{исп}} = \frac{P_0 - P_n}{1 - P_n} W_0. \quad (9)$$

Мощность теплового потока, который необходимо подвести к сыпучему материалу для создания потока испарившейся влаги, равного значению (9) будет равна $Q_{\text{исп}} = W_{\text{исп}} \cdot r$, где $r = 2.3 \cdot 10^6$ – удельная теплота фазового перехода воды. Величина $Q_{\text{исп}}$ будет равна изменению потокового теплового содержания отходящих газов между координатами L и l_n , т.е.:

$$Q_{\text{исп}} = (T_{г1} - T_{гн}) CP_1. \quad (10)$$

Из (10) определяем значение температура отходящего газа на координате $x = l_n$:

$$T_{гн} = T_{г1} - W_0 r \frac{P_0 - P_n}{1 - P_n}. \quad (11)$$

Мощность, которую необходимо передать сыпучему материалу для его нагрева от температуры $T_{м1}$ до температуры $T_{м2}$, очевидно равна:

$$QH = (T_{м2} - T_{м1}) CP_2, \quad (12)$$

а с другой стороны, эта мощность равна изменению потокового теплосодержания отходящего газа:

$$QH = (T_{гн} - T_{г2})CP_1. \quad (13)$$

Подставляя в (13) выражения (5) и (12), получим уравнение для определения величины l_n :

$$\left(T_{г1} - T_{м1} - W_{0г} \frac{P_0 - P_n}{1 - P_n} \right) \frac{1 - \exp \left[-\frac{Kl_n d}{CP_1} \left(1 - \frac{CP_1}{CP_2} \right) \right]}{1 - \frac{CP_1}{CP_2} \exp \left[-\frac{Kl_n d}{CP_1} \left(1 - \frac{CP_1}{CP_2} \right) \right]} - (T_{м1} - T_{м1}) \frac{CP_1}{CP_2} = 0. \quad (14)$$

При расчетах значения координаты l_n и в дальнейших вычислениях (с учетом и сделанных предположений) мы будем принимать только половину действительной ширины теплообменной поверхности, подставляя в выражения вместо d величину $d/2$.

Для того, чтобы определить необходимое значение площади теплообменной поверхности между координатами l_n и L , т.е. величину L , рассмотрим изменение температуры отходящего газа на этом интервале. Поскольку температура сыпучего продукта остается неизменной и равной $T_{м2}$, мы можем записать приращение температуры газа на элементарной длине, как:

$$c_1 dT_r = Kd(T_r - T_{м2})d(x - l_n), \quad (15)$$

или

$$\frac{Kd}{c_1} d(x - l_n) = \frac{dT_r}{T_r - T_{м2}}. \quad (16)$$

Решая уравнение (16) с краевым условием:

$$x = L, \quad T_r = T_{г1}, \quad (17)$$

получим:

$$T_r = T_{м2} + (T_r - T_{м2}) \exp \left[\frac{Kd}{c_1} (x - L) \right]. \quad (18)$$

Подставляя в (18) значение $T_r = T_{гн}$ при координате l_n , получим выражение для определения длины теплообменной части боровой печи:

$$L = l_n + \frac{c_1}{Kd} \ln \frac{T_{г1} - T_{м2}}{T_{гн} - T_{м2}}. \quad (19)$$

Выражение (18) описывает изменение температуры газа на интервале $l_n \leq x \leq L$. Температура сыпучего материала здесь постоянна и равна $T_{м2}$. Выражения, описывающие изменения температуры газа и сыпучего материала на интервале $0 \leq x \leq l_n$ аналогичны выражениям, определяющим изменения температуры теплоносителей в противоточном теплообменнике [3]:

$$T_m = T_{m1} + (T_{гн} - T_{m1}) \frac{CP_1}{CP_2} \frac{1 - \exp\left[-\frac{Kdx}{CP_1} \left(1 - \frac{CP_1}{CP_2}\right)\right]}{1 - \frac{CP_1}{CP_2} \exp\left[-\frac{Kl_n d}{CP_1} \left(1 - \frac{CP_1}{CP_2}\right)\right]}, \quad (20)$$

$$T_r = T_{гн} + (T_{гн} - T_{m1}) \frac{CP_1}{CP_2} \frac{1 - \exp\left[-\frac{Kd(l_n - x)}{CP_1} \left(1 - \frac{CP_1}{CP_2}\right)\right]}{1 - \frac{CP_1}{CP_2} \exp\left[-\frac{Kl_n d}{CP_1} \left(1 - \frac{CP_1}{CP_2}\right)\right]}. \quad (21)$$

Зная распределение температуры отходящих газов вдоль бора печи мы можем определить распределение влагосодержания в сыпучем материале вдоль его движения. Начальное потоковое содержание влаги в меле равно $P_0 W_0$ и эта величина постоянна до координаты $x = l_n$, где начинается испарение. Далее за этой координатой потоковое содержание влаги будет

уменьшаться на величину $\frac{[T_r(x) - T_{гн}] CP_1}{r}$. Общий массовый расход через поперечное сечение потока на координате x будет равен $W_0 - \frac{[T_r(x) - T_{гн}] CP_1}{r}$ и тогда распределение влагосодержания в сыпучем материале вдоль x определится, как:

$$P(x) = \begin{cases} P_0, & 0 \leq x \leq l_n \\ \frac{P_0 W_0 - \frac{[T_r(x) - T_{гн}] CP_1}{r}}{W_0 - \frac{[T_r(x) - T_{гн}] CP_1}{r}}, & l_n < x \leq L. \end{cases} \quad (22)$$

Распределение температуры и влагосодержания для заданных параметров показаны на рис. 2-3.

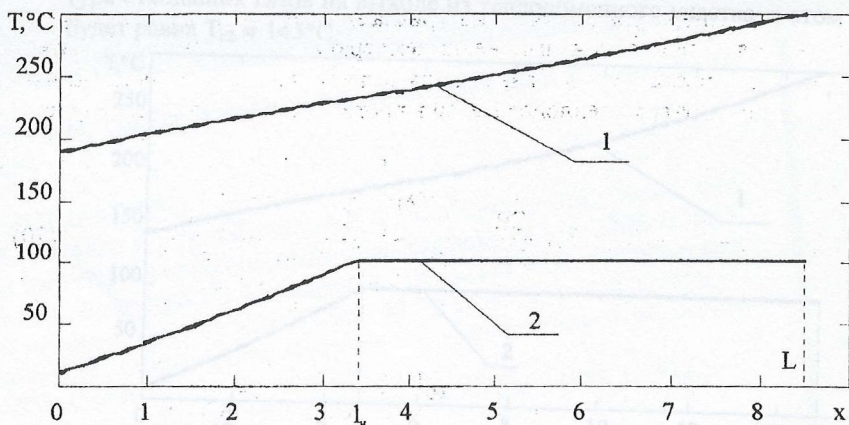


Рис. 2 - Распределение температуры отходящего топливного газа – 1 и температуры порошка мела – 2 вдоль поверхности теплообмена, на выходе которой достигается влагосодержание порошка, равное 6 %

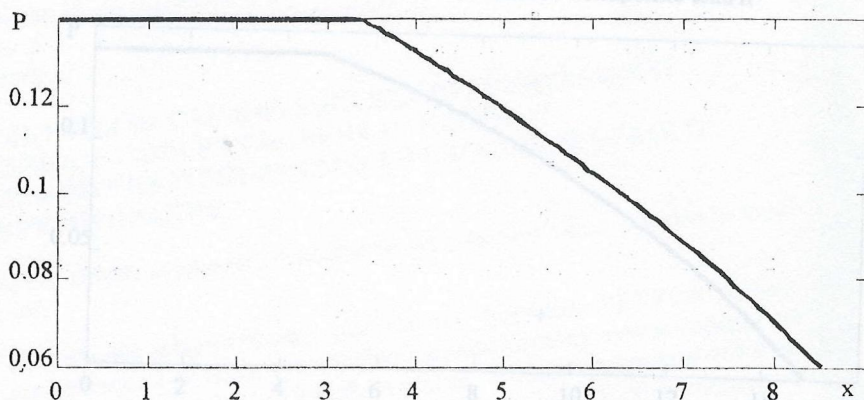


Рис. 3 - Распределение влагосодержания вдоль поверхности теплообмена, при заданном значении на выходе из зоны теплообмена, равным 6 %

Длина участка, на котором происходит нагрев сырого материала до температуры кипения равна $l_{н} = 3.4$ м общая длина теплообменной части борава печи, на которой достигается влагосодержание, равное 6 %, равна $L \approx 8,5$ м. Температура отходящих газов вдоль теплообменного участка снижается с 300 °С до ~ 189 °С.

Заметим, что длина теплообменной части борава печи для полного испарения влаги будет равна ~ 15 м, а длина области нагрева сыпучего ма-

териала в этом случае составит величину, равную 5 м (рис. 4,5). Температура отходящих газов на выходе из теплообменного участка, в этом случае будет равна $T_{r2} \approx 145^\circ\text{C}$.

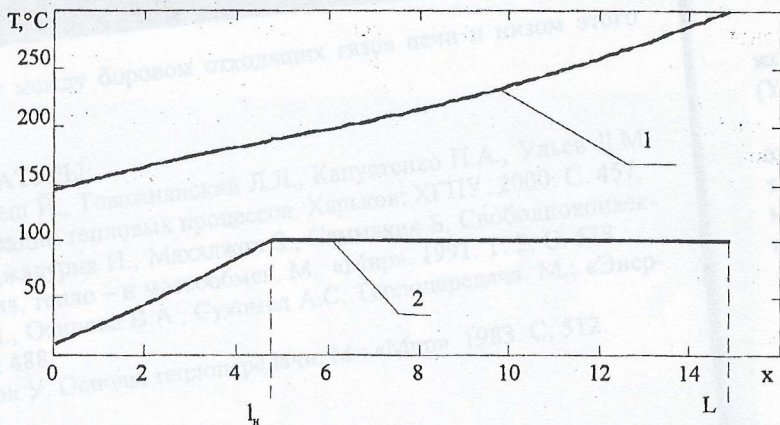


Рис. 4 - Распределение температуры отходящего топливного газа – 1 и температуры порошка мела – 2 вдоль поверхности теплообмена, на выходе которой достигается полное испарение влаги

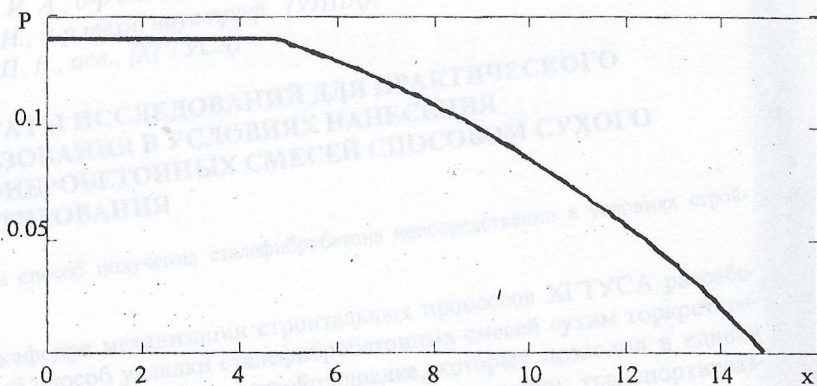


Рис. 5 - Распределение влагосодержания вдоль поверхности теплообмена, при полном испарении влаги

ВЫВОДЫ

1. Относительно небольшие объемы перерабатываемого материала на мини-заводах, производящих строительные материалы, позволяют существенно усовершенствовать процессы и основное оборудование.
2. Расчеты показывают возможность путем рекуперации сушки меловой крошки влагосодержанием 14 % с помощью специального скребкового конвейера, у которого тепло передается материалу через общую разде-

ляющую стенку между боровом отходящих газов печи и низом этого конвейера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Смит Р., Клемеш Й., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М. Основы интеграции тепловых процессов. Харьков: ХГПУ. 2000. С. 457.
2. Гебхар Г.Б., Джалурия И., Махаджон З., Саммакия Б. Свободноконвективные течения, тепло – и массообмен. М.: «Мир». 1991. Т. 2. С. 528.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: «Энергия». 1975. С. 488.
4. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи. М.: «Мир». 1983. С. 512.

УДК 693.52

Емельянова И. А., д-р техн. наук проф., (ХГТУСА),

Баранов А. Н., д-р техн. наук проф. (УИПА),

Саханенко П. В., асп., (ХГТУСА)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ НАНЕСЕНИЯ СТАЛЕФИБРОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ СПОСОБОМ СУХОГО ТОРКРЕТИРОВАНИЯ

Предложен способ получения сталефибробетона непосредственно в условиях стройплощадки.

На кафедре механизации строительных процессов ХГТУСА разработан новый способ укладки сталефибробетонных смесей сухим торкретированием непосредственно на стройплощадке, который позволил в едином технологическом цикле совместить отдельные операции: транспортирование от цемент-пушки сухой воздушно-бетонной смеси по трубопроводу, нарезку фибровых элементов и подачу их в камеру смешения, нанесение сталефибробетонных смесей на торкретируемую поверхность [1,2]. Это стало возможным благодаря тому, что для проведения торкрет-работ с использованием сталефибробетонных смесей предложен следующий комплект технологического оборудования: передвижная компрессорная установка, цемент-пушка барабанного типа (возможно использование цемент-пушек циклического действия), оборудование для непосредственного изготовления и подачи фибровых элементов в поток сухой смеси, сопло с дополнительной кольцевой подачей воздуха, комплект соединительных шлангов.