

7. Анфилов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
8. Анфилов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
9. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербург, 2007. — 18 с.
10. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5 / 12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167с.

Теоретические исследования процесса охлаждения и сушки топливных брикетов из соломенной биомассы

Семирненко Светлана Леонидовна, кандидат технических наук, старший преподаватель
Сумский национальный аграрный университет (Украина)

В статье представлены теоретические исследования энергосберегающей технологии получения топливных брикетов из соломенной биомассы.

Ключевые слова: соломенная биомасса, топливные брикеты, сушка, расчет, сырье, прессование, влага, воздух.

Биомасса — четвертый по значимости источник энергии во всем мире после угля, нефти и природного газа. Одна из ее составляющих — соломенная биомасса сельскохозяйственных культур.

Соломенная биомасса может быть использована в ближайшем будущем как источник энергии для сельскохозяйственных предприятий в достаточно крупных масштабах в виде брикетов и пеллет. Ее использование вместо ископаемого топлива способно уменьшить как энергетические затраты, так и концентрацию вредных выбросов в атмосферу.

Но, несмотря на перспективность этого вида топлива, до настоящего времени отсутствуют масштабные примеры применения энергосберегающих технологий изготовления топливных брикетов из соломенной биомассы как в целом в мире, так и в Украине. Причин неостребованности таких технологий в современных условиях может быть много, но главная состоит в недостаточной научной проработке проблемы. Так, например, пока нет научного обоснования энергоэффективности сушки соломы при изготовлении брикетов из самой доступной и широко распространенной в агропромышленном комплексе Украины соломенной биомассы.

Для уменьшения затрат на изготовление брикетов из соломенной биомассы нами предлагается использование собственного тепла брикетов для их сушки.

С целью более детального анализа процесса уплотнения большое значение имеет рассмотрение балансов влаги и теплоты при брикетировании соломы. Общий баланс влаги при брикетировании запишется в виде уравнения

$$B_c = B_6 + C_n + B_{ox}, \quad (1)$$

где B_c — количество влаги в соломе, что попадает на прессование, кг

B_6 — количество влаги в конечном продукте (брикете), кг;

C_n — потери влаги от нагрева в процессе прессования, кг

B_{ox} — потери влаги при охлаждении брикетов, кг.

Левая часть уравнения представляет количество влаги в сырье, попадает на прессование, а правая — распределение влаги после прессования (в брикете). Из общего баланса влаги количество, которое будет в образованном брикете

$$B_6 = B_c - B_n - B_{ox}. \quad (2)$$

Общий баланс теплоты при брикетировании соломы записывается в виде

$$Q_t - Q_n = Q_6 + Q_{ox}, \quad (3)$$

где Q_t — количество теплоты, выделяющейся при прессовании, Дж;

Q_n — потери теплоты в процессе прессования, Дж;

Q_6 — количество теплоты, выносятся образованными брикетами, Дж;

Q_{ox} — количество тепла, теряется при перемещении брикетов из пресса на сушильную установку, Дж.

Разница в левой части уравнения $Q_t - Q_n$ в представляет количество теплоты, которая идет на нагрев соломы в процессе прессования, а правая часть уравнения представляет распределение тепла после прессования. Соотношения, составляющие баланс влаги и тепла должны быть оптимальными, поскольку они дают существенное влияние на качественные, энергетические и экономические показатели процессов брикетирования соломы.

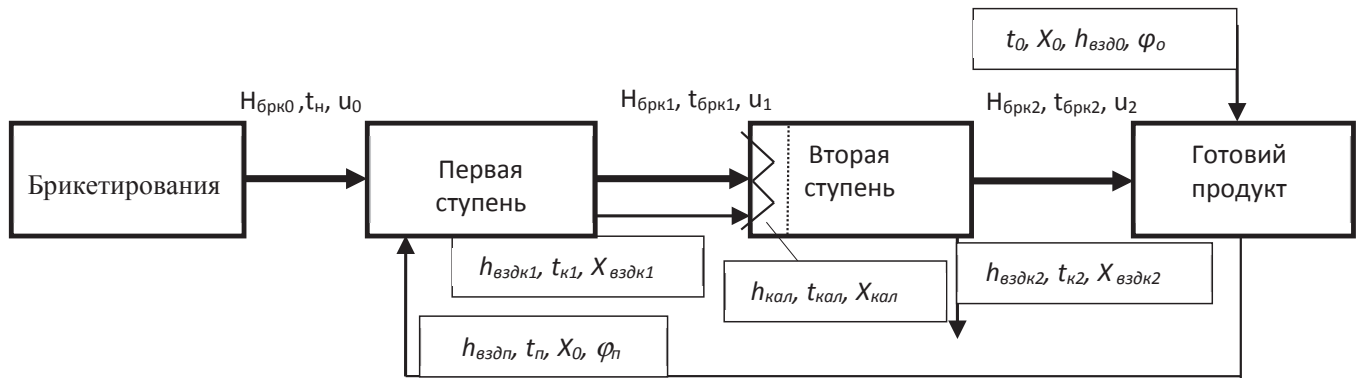


Рис. 1. Схема процесса сушки топливных брикетов

Исследование процессов тепло- и массообмена влажных материалов с внешней средой представляет собой сложную теплофизическую задачу.

На основе анализа литературных источников по тепломассообмену [1, 3], сушке [2, 4] и экспериментальных исследованиях были сделаны следующие расчеты и обобщения. Основной принцип предлагаемой схемы процесса сушки может быть представлен в следующем виде (рис. 1).

Принимаем, что входящий воздух соответствует характеристикам атмосферного воздуха: средняя температура $t_o, ^\circ\text{C}$, относительная влажность $\varphi_o, \%$.

Влагосодержание входящего атмосферного воздуха, кг/кг

$$X_o = 0,622 \cdot \varphi_o \cdot P_{\text{нвп}} / (P_{\text{атм}} - \varphi_o \cdot P_{\text{нвп}}), \quad (4)$$

где $P_{\text{нвп}}$ — давление насыщенного водяного пара при $t_o, \text{Па}$;

$P_{\text{атм}}$ — атмосферное давление, Па.

Удельная энтальпия входящего воздуха при принятых условиях, кДж/кг

$$h_{\text{взд}0} = (C_{\text{взд}} + x \cdot C_{\text{пв}}) \cdot t_o + r_n \cdot X_o, \quad (5)$$

где $C_{\text{взд}}$ — теплоемкость воздуха, кДж/кг $\cdot$ К;

$C_{\text{пв}}$ — теплоемкость паров воды, кДж/кг $\cdot$ К;

r_n — удельная теплота парообразования при $t_o, \text{кДж/кг}$.

Температура брикетов, которые выходят из пресса $t_n, ^\circ\text{C}$.
Определяем энтальпию сырого брикета ($H_{\text{брк}0}$), равной количеству теплоты, что выносится образованными брикетами (Q_6) при $t_n, ^\circ\text{C}$, кДж

$$H_{\text{брк}0} = H_{\text{сco}} + H_{\text{водж}0} + H_{\text{взд}0}, \quad (6)$$

где $H_{\text{сco}}$, $H_{\text{водж}0}$, $H_{\text{взд}0}$ — соответственно энтальпия сухой соломы, свободной воды, влажного воздуха в сыром брикете, кДж.

Принимаем, что в воздушных порах относительная влажность воздуха соответствует атмосферной.

Энтальпия сухой соломы $H_{\text{сco}}$ в брикете, кДж

$$H_{\text{сco}} = m_{\text{сc}} \cdot C_{\text{сc}} \cdot t_n, \quad (7)$$

где $m_{\text{сc}}$ — масса сухой соломы в брикете, кг;

$C_{\text{сc}}$ — принята теплоемкость сухой соломы, кДж/кг $\cdot$ К.

Энтальпия свободной воды $H_{\text{водж}0}$ в брикете, кДж

$$H_{\text{водж}0} = m_{\text{вод}} \cdot C_{\text{вж}} \cdot t_n, \quad (8)$$

где $m_{\text{вод}}$ — масса воды свободной в брикете, кг

$C_{\text{вж}}$ — теплоемкость воды в брикете, кДж/кг $\cdot$ К.

Энтальпия влажного воздуха в исходном брикете,

$$H_{\text{взд}0} = m_{\text{взд}} \cdot h_{\text{взд}0}, \quad (9)$$

где $m_{\text{взд}}$ — масса сухого воздуха в порах брикета, кг

$h_{\text{взд}0}$ — удельная энтальпия влажного воздуха в брикете, кДж/кг.

Удельная энтальпия при принятых условиях влажного воздуха, находящегося в порах брикета при температуре брикета, кДж/кг

$$h_{\text{взд}0} = (C_{\text{взд}} + X_{\text{вздбр}} \cdot C_{\text{пв}}) \cdot t_n + r_n \cdot X_{\text{вздбр}}, \quad (10)$$

где $C_{\text{взд}}$ — теплоемкость воздуха, кДж/кг $\cdot$ К;

$C_{\text{пв}}$ — теплоемкость паров воды, кДж/кг $\cdot$ К;

$X_{\text{вздбр}}$ — влагосодержание при условиях формирования брикета, кг/кг

$$X_{\text{вздбр}} = 0,622 \cdot \varphi_{\text{вздбр}} \cdot P_{\text{нвпбр}} / (P_{\text{атм}} - \varphi_{\text{вздбр}} \cdot P_{\text{нвпбр}}), \quad (11)$$

где $P_{\text{нвпбр}}$ — давление насыщенного водяного пара в воздухе пор брикета при принятых условиях формирования брикета, Па;

r_n — удельная теплота парообразования при соответствующей температуре брикета, кДж/кг;

$\varphi_{\text{вздбр}}$ — относительная влажность воздуха в порах сырого брикета, дол. ед.

На входе в 1 ступень аппарата.

Атмосферный воздух перед подачей в аппарат охлаждает брикеты, которые кулачковым транспортером направляются после сушки и охлаждения в накопитель (тару), подогревается до температуры $t_n, ^\circ\text{C}$, но сохраняет влагосодержание атмосферного воздуха X_o .

Удельная энтальпия входного подогретого атмосферного влажного воздуха, кДж/кг

$$h_{\text{вздп}} = (C_{\text{взд}} + x \cdot C_{\text{пв}}) \cdot t_n + r_n \cdot X_o, \quad (12)$$

где $C_{\text{взд}}$ — теплоемкость воздуха, кДж/кг $\cdot$ К;

$C_{\text{пв}}$ — теплоемкость паров воды, кДж/г $\cdot$ К;

r_n — удельная теплота парообразования, кДж/кг;

$X_o = X_o$ — влагосодержание атмосферного воздуха, кг/кг.

С формулы 4 для данных условий находим значение относительной влажности подогретого воздуха φ_n .

В высушенном брикете после 2 ступени аппарата содержится свободной воды, кг

$$m_{\text{вод}2} = u_k \times m_{\text{сc}}, \quad (13)$$

где U_k — влагосодержание, или абсолютная влажность высушенного брикета;

m_{cc} — масса сухой соломы в сыром брикете, кг.

Необходимо при сушке удалить из брикета воду, кг

$$\Delta M_{\text{вод}} = m_{\text{вод}} - m_{\text{вод}2}, \quad (14)$$

где $m_{\text{вод}}$ — масса свободной воды в сыром брикете, кг.

Энтальпия сухой соломы H_{cc} в брикете с конечной влажностью, кДж

$$H_{cc0} = m_{cc} \times C_{cc} \times t_{k2}, \quad (15)$$

где m_{cc} — масса сухой соломы в брикете, кг

C_{cc} — теплоемкость сухой соломы, кДж / кг · К;

t_{k2} — уточнена конечная температура готового брикета после 2 степени аппарата, °С.

Энтальпия свободной воды $H_{\text{вод}2}$ в высушенном брикете, кДж

$$H_{\text{вод}2} = M_{\text{вод}2} \times C_{\text{вж}} \times t_{k2}, \quad (16)$$

где $M_{\text{вод}2}$ — масса свободной воды в высушенном брикете, кг

$C_{\text{вж}}$ — теплоемкость жидкой воды, кДж / кг · К.

Удельная энтальпия влажного воздуха, находящегося в порах высушенного брикета, кДж / кг

$$h_{\text{взд}2} = (C_{\text{взд}} + X_{\text{взд}2} \times C_{\text{пв}}) \times t_{k2} + r_{k2} \times X_{\text{взд}2}, \quad (17)$$

где $C_{\text{взд}}$ — теплоемкость воздуха, кДж / кг · К;

$C_{\text{пв}}$ — теплоемкость паров воды, кДж / кг · К;

$X_{\text{взд}2}$ — влагосодержание воздуха в порах высушенного брикета, кг / кг

$$X_{\text{взд}2} = 0,622 \times \varphi_{\text{взд}2} \times P_{\text{взд}2} / (P_{\text{атм}} - \varphi_{\text{взд}2} \times P_{\text{взд}2}), \quad (18)$$

где $P_{\text{взд}2}$ — давление насыщенного водяного пара в воздухе пор высушенного брикета, Па;

r_{k2} — удельная теплота парообразования при конечной температуре готового брикета после 2 ступени аппарата, кДж / кг;

$\varphi_{\text{взд}2}$ — относительная влажность воздуха в порах высушенного брикета после второй ступени аппарата, дол. ед.

Энтальпия влажного воздуха в высушенном брикете,

$$H_{\text{взд}0} = m_{\text{взд}} \times h_{\text{взд}2}, \quad (19)$$

где $m_{\text{взд}}$ — масса сухого воздуха в порах высушенного брикета, кг

$h_{\text{взд}0}$ — удельная энтальпия влажного воздуха при конечной температуре готового брикета после 2 степени аппарата, кДж / кг.

Полная энтальпия высушенного брикета, кДж

$$H_{\text{бр}2} = H_{\text{сск}2} + H_{\text{вод}2} + H_{\text{взд}2}. \quad (20)$$

Изменение энтальпии брикета в теплообменном аппарате, кДж

$$\Delta H_{\text{бр}} = H_{\text{бр}0} - H_{\text{бр}2}. \quad (21)$$

С целью корректного упрощения расчетов на первой ступени аппарата процесс сушки рассматривается как сочетание двух практически независимых процессов:

— на поверхности брикета идет нагрев потока воздуха конвективным путем с отбором части тепла от брикета;

— внутри горячего брикета идет испарение влаги и диффузия паров воды к поверхности теплообмена, так как давление паров воды в теплоносителе существенно ниже давления паров внутри горячего брикета. На по-

верхности брикета пары воды, выходящие из толщи брикета, смешиваются с подогретым воздухом и выводятся.

Расчет конвективного теплообмена между поверхностью брикета и потоком воздуха осуществляли, используя приемы теории подобия [2]. Учитывая малое число рядов брикетов на транспортере, для определения среднего по поверхности брикетов коэффициента теплоотдачи, используем критериальное уравнение Жукаускаса, предлагаемое для расчета теплообмена при омывании потоком теплоносителя одиночного цилиндра

$$Nu_{\text{жд}} = 0,25 Re_{\text{жд}}^{0,6} \times Pr_{\text{ж}}^{0,38} (Pr_{\text{ж}} / Pr_{\text{с}})^{0,25} \quad (22)$$

где $Nu_{\text{жд}}$ — число Нуссельта,

$Re_{\text{жд}}$ — число Рейнольдса,

$Pr_{\text{ж}}$ — число Прандтля.

Учитывая малую зависимость Pr для газов от температуры, формула может записываться

$$Nu_{\text{жд}} = 0,25 Re_{\text{жд}}^{0,6}.$$

При расчетах определяющей скоростью рекомендуется брать скорость в самом узком сечении потока. Определяющей температурой для выбора физических характеристик теплоносителя рекомендуется брать температуру потока.

Выполнен поливариантный расчет условий теплообмена в первом ряду брикетов. При расчетах варьировали скоростью потока воздуха, принимая ее дискретные значения 2; 1; 0,5 и 0,25 м/с. Указанные скорости, как показали расчеты, обеспечивали турбулентный режим течения воздуха и пригодность уравнения Жукаускаса.

Расчет числа Рейнольдса выполняется по формуле

$$Re_{\text{жд}} = w \times d_{\text{бр}} / \nu_{\text{ж}}, \quad (23)$$

где w — скорость линейная потока воздуха при температуре, м/с;

$\nu_{\text{ж}}$ — кинематическая вязкость воздуха при температуре, м²/с.

Значение чисел Рейнольдса для принятого интервала скоростей удовлетворяет требованию по использованию уравнения Жукаускаса

$$1 \times 10^3 < Re_{\text{жд}} < 2 \times 10^5. \quad (24)$$

Расчет размерного коэффициента теплоотдачи α вели исходя из формулы

$$Nu_{\text{жд}} = \alpha \times d_{\text{бр}} / \lambda, \quad (25)$$

λ — коэффициент теплопроводности;

при скорости потока воздуха w , м/с коэффициент теплоотдачи α находим как

$$\alpha = Nu_{\text{жд}} \times \lambda / d_{\text{бр}}. \quad (26)$$

Расчет первой ступени аппарата

Объектом поэтапных расчетов является определение средней температуры теплоносителя на выходе брикетов из первой ступени и массы воды, которая выпаривается. При расчетах принимается, что энергия брикетов, которая выделяется в ходе снижения их температуры, расходуется на подогрев воздуха, который его омывает и на испарение влаги брикета.

Поверхность теплоотдачи одиночного брикета F , м² определяется как

$$F = \pi \times d_{\text{бр}} \times L_{\text{бр}} + \pi \times d_{\text{бр}}^2 / 2, \quad (27)$$

где $L_{\text{бр}}$ — длина брикета, м.

Сушка ведется на подвижном кулачковом транспортере.

Уравнения передачи тепла Q , кДж одиночным брикетом

$$Q = F \times \alpha \times \Delta t_{\text{ср}} \times \tau, \quad (28)$$

где τ — экспериментальное время пребывания брикета в зоне первичной сушки, с;

$\Delta t_{\text{ср}}$ — средняя разность температур между потоком воздуха и стенкой брикета,

$$\Delta t_{\text{ср}} = [(t_{\text{с1}} - t_0) + (t_{\text{с1}} - t_{\text{к1}})] / 2, \quad (29)$$

где $t_{\text{с1}}$ — средняя температура поверхности брикетов на 1 ступени аппарата, °C;

t_0 — температура воздуха на входе в первую ступень аппарата, °C;

$t_{\text{к1}}$ — температура воздуха, которая подлежит определению на выходе с 1 ступени аппарата, °C.

Уравнение расчета количества тепла полученного потоком воздуха за время τ от одного брикета на первой ступени аппарата имеет вид, кДж

$$Q = M_{\text{взд}} \times C_{\text{взд}} (t_{\text{к1}} - t_0). \quad (30)$$

Масса воздуха, который подогревается омывая один брикет на первой ступени аппарата за время τ , кг

$$M_{\text{взд}} = s \times w \times \rho_{\text{взд}} \times \tau, \quad (31)$$

где s — площадь сечения потока воздуха при обтекании брикета в узком месте, м²;

$\rho_{\text{взд}}$ — плотность воздуха подогретого за счет охлаждения брикетов °C, кг/м³;

w — скорость потока воздуха в узком месте между брикетами, м/с.

Можно записать

$$Q = Q_{\text{пвзд}}, \quad (32)$$

где $Q_{\text{пвзд}}$ — количество тепла, затрачиваемое на подогрев конвекцией внешнего потока воздуха за время прохождения брикета через первую ступень аппарата, кДж;

$$Q_{\text{пвзд}} = \Delta H_{\text{бр}} - H_{\text{пвод}}, \quad (33)$$

где $\Delta H_{\text{бр}}$ — общее количество тепла, отданное брикетом на испарение внутренней воды и на подогрев конвекцией внешнего воздушного потока за время пребывания брикета на первой ступени аппарата, кДж.

$$\Delta H_{\text{бр}} = H_{\text{брк0}} - H_{\text{брк1}}. \quad (34)$$

Находим энтальпию подсушенного брикета на выходе из первой ступени аппарата, кДж

$$H_{\text{брк1}} = [m_{\text{с}} \times C_{\text{с}} + m_{\text{вод1}} \times C_{\text{вж}} + m_{\text{взд1}} \times C_{\text{взд}}] \times t_{\text{брк1}}, \quad (35)$$

где $t_{\text{брк1}}$ — средняя температура брикета после первой ступени аппарата.

Энтальпия паров воды диффундирует из брикета в воздушный поток, кДж

$$H_{\text{пвод}} = h_{\text{тс}} \times d_{\text{тв1}}, \quad (36)$$

где $h_{\text{тс}}$ — удельная энтальпия паров воды диффундирует из подсушенного брикета при температуре стенки брикета после первой ступени аппарата, кДж/кг;

$d_{\text{тв1}}$ — масса воды, удаляемой из брикета на первой ступени аппарата за счет тепловой энергии, которая вносится горячим брикетами, кг.

Наряду с испарением воды за счет тепла внесенного брикетом, видимо испарения осуществляется за счет потенциальной энергии, вносимой воздухом, сжимается в вентиляторе. В слое брикетов поток воздуха осуществляет работу трения в результате чего выделяется определенное количество тепла, которое расходуется на испарение влаги. Проявляется действие дополнительного источника тепла. Общую мощность дополнительного источника энергии, которая вносится воздухом в аппарат, рекомендуется рассчитывать по установочной мощности электродвигателя с поправкой на КПД двигателя и потерей тепловой энергии через корпус вентилятора в окружающую среду.

Тепловая мощность вентилятора $Q_{\text{эд}}$, кВт, передана потоку воздуха определяется

$$Q_{\text{эд}} = 0,8 \times W_{\text{эд}}, \quad (37)$$

где $W_{\text{эд}}$ — установочная мощность электродвигателя вентилятора, кВт;

0,8 — коэффициент, учитывающий эффективность работы электродвигателя и потери тепла через корпус вентилятора в атмосферу.

Преобразование потенциальной энергии потока в теплоту зависит от изменения скорости потока воздуха в квадрате, поэтому принимаем, что на первой ступени аппарата выделяется в форме тепла только 70% общей энергии потока.

Тепловая мощность дополнительного источника тепла $Q_{\text{пв1}}$, кДж/с, что действует в брикете за счет изменения параметров потока воздуха и которая влияет на процесс испарения,

$$Q_{\text{пв1}} = 0,7 \times Q_{\text{ед}}. \quad (38)$$

Дополнительное количество энергии $q_{\text{пвбр}}$, кДж, подводимой каждому брикету за счет изменения параметров потока воздуха

$$q_{\text{пвбр}} = Q_{\text{пв1}} \times \tau / n, \quad (39)$$

где n — количество брикетов, которые высушиваются за 1 час.

Оценка количества влаги $d_{\text{тпв1}}$, которая удаляется из брикета за счет действия дополнительного источника теплоты проводится по соотношению

$$d_{\text{тпв1}} = q_{\text{пвбр}} / h_{\text{тс}}, \quad (40)$$

Общее количество влаги удаляется из брикета на 1 ступени аппарата, кг

$$d_{\text{тпвобщ1}} = d_{\text{тв1}} + d_{\text{тпв1}}. \quad (41)$$

Повышение влагосодержания воздуха Δx_1 на выходе из первой ступени аппарата, кг/кг сухого воздуха

$$\Delta x_1 = d_{\text{тпвобщ1}} / M_{\text{взд}}. \quad (42)$$

Влагосодержание воздуха $X_{\text{вздк1}}$ на выходе из первой ступени аппарата, кг/кг

$$X_{\text{вздк1}} = X + \Delta x_1. \quad (43)$$

Удельная энтальпия влажного воздуха на выходе из 1 ступени аппарата, кДж/кг

$$h_{\text{вздк1}} = (C_{\text{взд}} + X_{\text{вздк1}} \times C_{\text{пв}}) \times t_{\text{к1}} + r_{\text{к1}} \times X_{\text{вздк1}}, \quad (44)$$

где $r_{\text{к1}}$ — удельная теплота парообразования при конкретной температуре потока, кДж/кг.

Расчет второй ступени аппарата

Среднее содержание воды в брикетах $m_{\text{вод1}}$ на входе во вторую ступень аппарата, кг

$$m_{\text{вод1}} = m_{\text{вод}} - d_{\text{тобщ1}} \quad (45)$$

Количество воды $\Delta m_{\text{тобщ2}}$, которую необходимо удалить из каждого брикета на второй ступени аппарата

$$\Delta m_{\text{тобщ2}} = m_{\text{вод1}} - m_{\text{водк2}} \quad (46)$$

Повышение влагосодержания воздуха, выходящего из второй ступени при движении брикетов в один слой

$$\Delta x_2 = \Delta m_{\text{тобщ2}} / M_{\text{взд}} \quad (47)$$

Конечное влагосодержание воздуха на выходе из второй ступени аппарата, кг/кг

$$X_{\text{вздк2}} = X_{\text{вздк1}} + \Delta x_2 \quad (48)$$

Согласно экспериментальным данным задаемся температурой брикетов на входе во вторую ступень и температурой потока воздуха. Предварительные расчеты показали, что при максимальной влажности брикетов 20% в системе недостаточно собственной тепловой энергии для сушки брикетов с проектными 14%. Поэтому перед подачей воздуха с первой ступени аппарата на вторую вводят дополнительный его подогрев от внешнего источника, например в электрокалорифере. При влажности брикетов ниже максимальной определяется требуемая мощность электрокалорифера, а при необходимости, он может быть отключенным.

Таким образом, для процесса досушивания брикетов на второй ступени расходуется тепло от трех источников. Первый источник тепла функционирует за счет охлаждения брикетов (от остаточного тепла брикетов после 1 ступени). Второй источник тепла проявляется за счет подвода тепла брикетам от подогретого воздуха. Третий источник тепла является следствием деградации механической энергии потоком воздуха, которая через работу трения превращается в тепловую энергию. Этот дополнительный источник тепла сравнительно маломощный.

Чтобы обеспечить на второй ступени аппарата направленность вектора потока тепла от воздуха к брикетам, принято, что конечная температура отработанного воздуха будет выше конечной температуры брикетов на 3 градуса.

После принятия указанных предположений проводим расчеты, которые позволят определить температуру, до которой необходимо подогревать воздух после 1 ступени перед подачей на 2 ступень аппарата.

Удельная энтальпия влажного воздуха на выходе из второй ступени аппарата, кДж/кг

$$h_{\text{вздк2}} = (C_{\text{взд}} + X_{\text{вздк2}} \times C_{\text{пв}}) \times t_{\text{к2}} + r_{\text{к2}} \times X_{\text{вздк2}}, \quad (49)$$

где $t_{\text{к2}}$ — температура отработанного воздуха на выходе из 2 ступени аппарата, °C;

$r_{\text{к2}}$ — удельная теплота парообразования при соответствующей температуре (°C) брикетов на выходе из второй ступени, кДж/кг.

Энтальпия высушенного брикета при соответствующей температуре (°C) брикетов на выходе из 2 ступени аппарата, кДж

$$H_{\text{орк2}} = [m_{\text{св}} \times C_{\text{св}} + m_{\text{вод2}} \times C_{\text{вж}} + m_{\text{взд2}} \times C_{\text{взд}}] \times t_{\text{орк2}} \quad (50)$$

Составляем тепловой баланс для процесса сушки одного брикета на 2 ступени аппарата.

Приход тепла

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{вздк1}} + Q_{\text{брк1}} + Q_{\text{пвм2}} + Q_{\text{подог}}, \quad (51)$$

где $Q_{\text{вздк1}}$ — теплота, поступающая с воздухом, омывает брикет на выходе с 1 ступени аппарата, кДж

$$Q_{\text{вздк1}} = M_{\text{взд}} \times h_{\text{вздк1}}, \quad (52)$$

где $Q_{\text{брк1}}$ — теплота, поступающая из брикетов с 1 ступени при соответствующей его температуре на выходе с 1 ступени (°C), кДж

$$Q_{\text{брк1}} = H_{\text{брк1}}, \quad (53)$$

где $Q_{\text{пвм2}}$ — теплота превращения механической энергии потока воздуха в тепловую энергию на 2 ступени аппарата

$$Q_{\text{пвм2}} = Q_{\text{пв2}} \times \tau / 120, \quad (54)$$

где $Q_{\text{подог}}$ — теплота, которую необходимо подвести от внешних подогревателей воздуха перед подачей его на 2 ступень аппарата для реализации процесса досушки одного брикета, кДж;

τ — экспериментальное время пребывания брикета в зоне вторичной сушки (равное времени пребывания в зоне первичной сушки), с;

Расходы тепла

$$Q_{\text{расх}} = Q_{\text{вздк2}} + Q_{\text{брк2}}, \quad (55)$$

где $Q_{\text{вздк2}}$ — тепло, выводится из 2 ступени аппарата с отработанным воздухом, кДж

$$Q_{\text{вздк2}} = M_{\text{взд}} \times h_{\text{вздк2}}, \quad (56)$$

где $Q_{\text{брк2}}$ — тепло выведено сухими брикетами из 2 ступени аппарата при соответствующей температуре брикетов, °C

$$Q_{\text{брк2}} = H_{\text{брк2}} \quad (57)$$

Удельная энтальпия подогретого воздуха на входе во 2 ступень аппарата

$$h_{\text{вздн2}} = Q_{\text{вздк2}} / M_{\text{взд}} \quad (58)$$

Расчет удельной энтальпии воздуха после подогревателя, кДж/кг

$$h_{\text{кал}} = (C_{\text{взд}} + X_{\text{вздк1}} \times C_{\text{пв}}) \times t_{\text{кал}} + r_{\text{н2}} \times X_{\text{кал}}, \quad (59)$$

где $t_{\text{кал}}$ — температура подогретого воздуха на входе во вторую ступень аппарата, °C;

$r_{\text{н2}}$ — удельная теплота парообразования при $t_{\text{кал}}$, кДж/кг;

$X_{\text{кал}} = X_{\text{вздк1}}$ — влагосодержание воздуха $X_{\text{вздк1}}$ на выходе из первой ступени аппарата.

Определение общей мощности дополнительного нагревателя, кВт

$$W_{\text{под}} = Q_{\text{подог}} \times n / 3600, \quad (60)$$

где n — число брикетов, что высушиваются за 1 час.

Выводы

В результате расчетов при максимально возможной входной влажности брикетов 20% для достижения исходной влажности 14%, которая обеспечивает эффективность сжигания и долговременное хранение брикетов, было определено, что на выходе из первой ступени сушки и охлаждения температура брикетов будет составлять

60°C, влажность 16%. Для обеспечения досушивания брикетов была установлена необходимость подогрева воздуха на входе во вторую ступень до 73°C. Установленная мощность подогревателя (электрокалорифера) 2,6 кВт, при фактической производительности пресса 90 кг/ч. За

счет этого обеспечивается досушивание брикетов до необходимой влажности — 14%, при этом их температура на выходе из второй ступени составит 55°C, а температура воздуха, который оставляет аппарат будет составлять 58°C.

Литература:

1. Кутателадзе, С. С. Основы теории теплообмена / С. С. Кутателадзе. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Атомиздат, 1979. — 416 с.
2. Лыков, М. В. Сушка в химической промышленности / М. В. Лыков. — М.: Химия, 1970. — 432 с.
3. Лыков, А. В. Тепломассообмен: справочник / А. В. Лыков. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергия, 1978. — 480 с.
4. Сажин, Б. С. Основы техники сушки / Б. С. Сажин. — М.: Химия, 1984. — 320 с.

Влияние метано-топливных эмульсий на показатели работы дизеля Д-240 при $\Theta_{впр} = 23^\circ$ до ВМТ

Скрябин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В данной статье рассмотрено влияние метано-топливных эмульсий на показатели работы дизеля Д-240 при $\Theta_{впр} = 23^\circ$ до ВМТ

Ключевые слова: отработавшие газы, загрязнение воздуха, токсичные компоненты, оксиды азота.

В настоящее время снижение загрязнения атмосферного воздуха токсичными веществами автомобильного транспорта, является одной из важнейших проблем, стоящих перед человечеством. Загрязнение воздуха оказывает вредное воздействие на человека и окружающую среду. Материальный ущерб, вызываемый загрязнением воздуха автомобильным транспортом, трудно оценить. При интенсивной урбанизации и росте мегаполисов автомобильный транспорт стал самым неблагоприятным экологическим фактором в охране здоровья человека и окружающей среды. Одним из основных способов снижения токсичности отработавших газов является применение альтернативных видов топлив.

На рисунке 1 представлено влияние применения МТЭ на показатели сажевого содержания, осредненную температуру газов и давление в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от угла поворота коленчатого вала на режиме максимального крутящего момента ($n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,82 \text{ МПа}$) при $\Theta_{впр} = 23^\circ$ [1–13].

При работе на ДТ расчетная максимальная осредненная температура цикла $T_{z \text{ max}}$ достигает своего максимального значения при $\varphi_{Tz \text{ max}} = 6,5^\circ$ п.к.в. после ВМТ и равна 2220 К. Максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ достигает своего максимального значения при $\varphi_{pz \text{ max}} = 5,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ и равно 8,46 МПа. Максимальное расчетное значение объемного содержания оксидов азота $\gamma_{\text{NOx max расч}}$ в цилиндре при работе дизеля на ДТ составляет

832 ppm, максимальная массовая концентрация $C_{\text{NOx max расч}}$ составляет 1,20 г/м³, при $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 9,5^\circ$ п.к.в. после в.м.т. Объемное содержание оксидов азота $\gamma_{\text{NOx max расч}}$ в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 124,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т составляет 640 ppm, при массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}} = 0,92 \text{ г/м}^3$ [14–22].

При работе на МТЭ расчетная максимальная осредненная температура цикла $T_{z \text{ max}}$ достигает своего максимального значения при $\varphi_{Tz \text{ max}} = 8,5^\circ$ п.к.в. после ВМТ и равна 2390 К. Максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ достигает своего максимального значения при $\varphi_{pz \text{ max}} = 7,5^\circ$ п.к.в. после ВМТ и равно 8,85 МПа. Увеличение максимальных значений объемного содержания $\gamma_{\text{NOx max расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ оксидов азота в цилиндре составляет 345 ppm и 0,49 г/м³, или на 41,4 %. Увеличение значений объемного содержания $\gamma_{\text{NOx max расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ оксидов азота в цилиндре при работе на МТЭ в момент открытия выпускного клапана составляет 266 ppm или 0,38 г/м³ или 49,3 % [18–23].

Максимальное значение объемного содержания оксидов азота $\gamma_{\text{NOx max расч}}$ в цилиндре составляет 1177 ppm, максимальное значение массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ составляет 1,69 г/м³, при $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 11,5^\circ$ п.к.в. после в.м.т. Объемное содержание оксидов азота в цилиндре $\gamma_{\text{NOx max расч}}$ в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 124,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т составляет 906 ppm, при массовой концентрации оксидов азота $C_{\text{NOx max расч}} = 1,30 \text{ г/м}^3$ [24–26].