

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ РОЗЖИГА ТОПКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО КИПЯЩЕГО СЛОЯ

Токарев О.В., студ.; Неежмаков С.В., доц., к.т.н.

(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Существующие исследования тепловых процессов, протекающих в топке низкотемпературного кипящего слоя, позволяют успешно прогнозировать температуру слоя и поведение частиц топлива [1]. В исследованиях рассматриваются зависимости температурного отклика материала слоя на изменения скорости подачи твердого топлива в пространство топки и расхода дутьевого воздуха. Для изучения переходных процессов (розжиг и «горячий резерв») необходимо полностью исключать подачу основного и дополнительного топлив, а также дутьевого воздуха. Изменение структуры уравнения скорости температурного отклика топки на динамические возмущения, рассмотрены для трёх этапов розжига.

Первый этап:

$$\frac{dT_{sl}}{dt} S \rho_{sl} c_{sl} H = \rho_{dT} V_{dT} Q_{dT} - \rho_v c_v V_v (T_{sl} - T_v) - I_{изл}, \quad (1)$$

где c_v, c_{sl} – удельная теплоемкость воздуха и материала слоя (Дж/(кг*К));
 ρ_v, ρ_{sl} – плотность воздуха и насыпная плотность материала слоя (кг/м³);
 ρ_{dT} – плотность дополнительного топлива (кг/м³);
 S – площадь зеркала горения (м²);
 H – высота слоя (м);
 T_v, T_{sl} – температура воздуха и материала слоя (К);
 V_{dT} – объемный расход дополнительного топлива (м³/с);
 Q_{dT} – теплота сгорания дополнительного топлива (Дж/кг);
 V_v – объемный расход дутьевого воздуха (м³/с).

Второй этап:

$$\frac{dT_{sl}}{dt} S \rho_{sl} c_{sl} H = (1 - A) \rho_{oT} V_{oT} Q_{oT} - \rho_{oT} V_{oT} c_{oT} (T_{sl} - T_b) + \\ + \rho_{dT} V_{dT} Q_{dT} - \rho_v c_v V_v (T_{ks} - T_v) - I_{зол} - I_{изл}, \quad (2)$$

где A – массовая доля золы основного топлива;
 ρ_{oT} – насыпная плотность материала основного топлива (кг/м³);
 V_{oT} – объемный расход основного топлива (м³/с);
 c_{oT} – теплоемкость материала основного топлива (Дж/(кг*К));
 T_b – температура бункера с основным топливом (К).

Третий этап:

$$\frac{dT_{sl}}{dt} S \rho_{sl} c_{sl} H = (1 - A) \rho_{oT} V_{oT} Q_{oT} - \rho_{oT} V_{oT} c_{oT} (T_{sl} - T_b) - \\ - \rho_v c_v V_v (T_{ks} - T_v) - I_{зол} - I_{изл}, \quad (3)$$

Таким образом, для автоматизации управления в переходных режимах работы существующие математические модели кипящего слоя не применимы по причине

постоянного изменения большого числа переменных в уравнениях и, следовательно, коэффициентов передаточных функций.

Для исследования переходных режимов работы топки кипящего слоя, на основании метода декомпозиции, предложена структура динамической модели, реализованная в пакете Simulink (рис. 1).

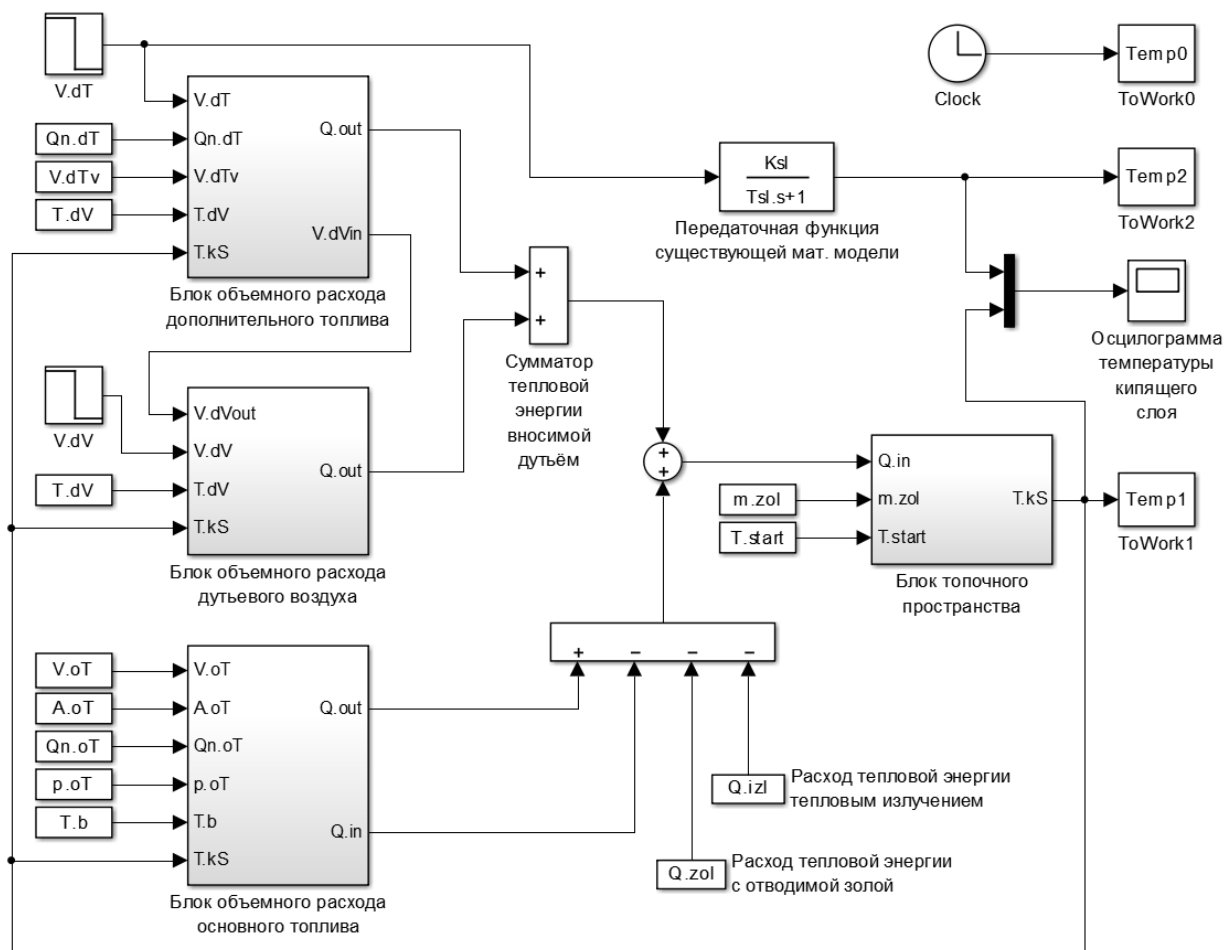


Рисунок 1 – Структура исследуемой математической модели в пакете Simulink

Исследуемая математическая модель состоит из четырёх основных блоков:

1. Блок объемного расхода дополнительного топлива – выполняет функции сжигания дополнительного топлива и передачи тепловой энергии блоку топочного пространства.
2. Блок объемного расхода дутьевого воздуха – выполняет функцию отбора тепла из кипящего слоя.
3. Блок объемного расхода основного топлива – выполняет функции сжигания основного топлива и передачи тепловой энергии блоку топочного пространства, частично отбирает её из слоя на нагрев новых порций топлива.
4. Блок топочного пространства – выполняет функции накопления тепловой энергии и её преобразования в температуру.

Отдельно от блоков учитываются расходы тепловой энергии тепловым излучением и с отводимой золой.

Далее предложенная математическая модель рассматривается для первого этапа розжига, в котором блок объемного расхода основного топлива не участвует. Для сравнения с существующим математическим описанием скорости отклика топки низкотемпературного кипящего слоя по температуре, в структуру включена передаточная функция существующей математической модели [1], адаптированная для первого этапа розжига:

$$W_{sl}(p) = \frac{K_{sl}}{p \cdot T_{sl} + 1}, \quad (4)$$

где K_{sl} – передаточный коэффициент слоя (C/m^3);
 T_{sl} – постоянная времени слоя (c).

При построении внутренней структуры блоков объемных расходов, на основании результатов исследований из [2], сделано допущение, что температура уходящих газов из слоя равна температуре самого слоя.

Структура блока объемного расхода дополнительного топлива (рис. 2) основана на следующих уравнениях преобразования объемного расхода топлива в тепловую энергию:

$$Q_{out} = V_{dT} Q_{dT}^n - V_{dT} (I_{dg}^{T.kS} - I_{dg}^{T.dV}), \quad (5)$$

где Q_{out} – количество тепловой энергии передаваемой кипящему слою ($Дж/с$);
 Q_{dT}^n – низшая теплота сгорания $1 m^3$ дополнительного топлива ($Дж/м^3$);
 V_{dT} – объемный расход дополнительного топлива ($м^3/с$);
 I_{dg} – энтальпия дымовых газов при сгорании $1 m^3$ дополнительного топлива при температурах дутьевого воздуха $T.dV$ и кипящего слоя $T.kS$ ($Дж/м^3$).

$$V_{dVin} = V_{dT} K_{dTv}, \quad (6)$$

где V_{dVin} – количество отобранного воздуха, необходимого для горения дополнительного топлива ($м^3/с$);

K_{dTv} – объемная доля воздуха, приходящегося на $1 m^3$ дополнительного топлива при его сжигании.

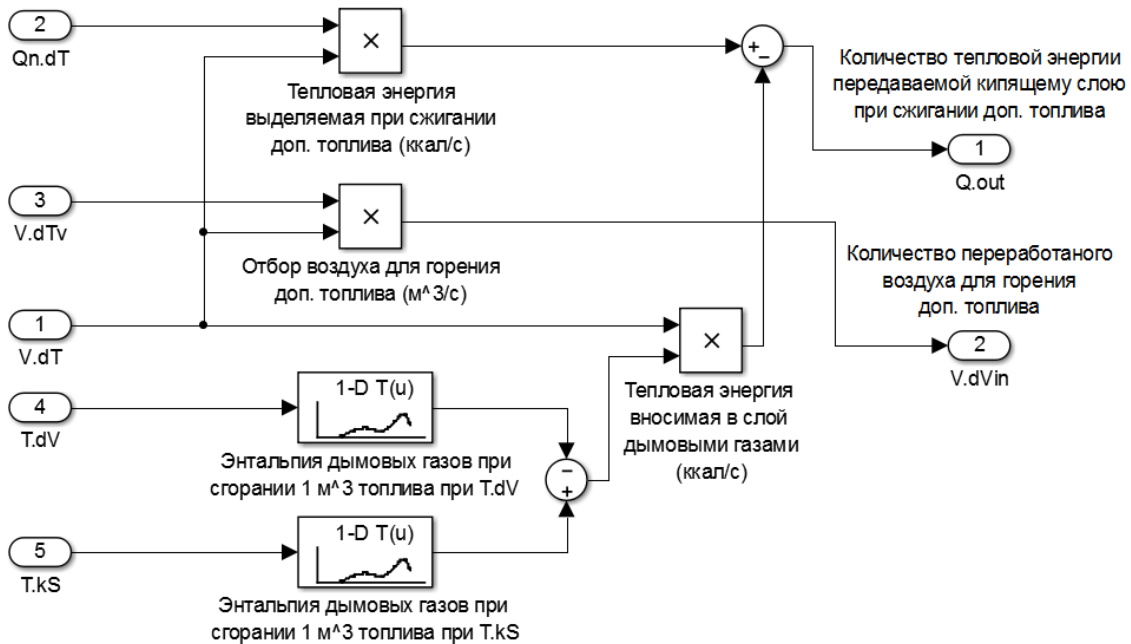


Рисунок 2 – Структура блока объемного расхода дополнительного топлива

Таким образом, на основании разности энтальпий дымовых газов, учитывается количество тепловой энергии, вносимой в слой при сжигании дополнительного топлива. Уравнением (5) это выполняется в пересчете на заданный объемный расход и суммарно с тепловой энергией, полученной в результате реакции горения. Параллельно в уравнении (6) выполняется учет израсходованного дутьевого воздуха на горение дополнительного топлива.

Структура блока объемного расхода дутьевого воздуха (рис. 3) основана на следующем уравнении преобразования объемного расхода воздуха в тепловую энергию:

$$Q_{out} = (V_{dV} - V_{dVout}) \cdot (I_{dV}^{T.dV} - I_{dV}^{T.kS}), \quad (7)$$

где V_{dV} – объемный расход дутьевого воздуха (m^3/c);
 V_{dVout} – отобранный для горения дополнительный топливный воздух (m^3/c);
 I_{dV} – энтальпия $1 m^3$ воздуха при температурах $T.dV$ и $T.kS$ ($Дж/м^3$).

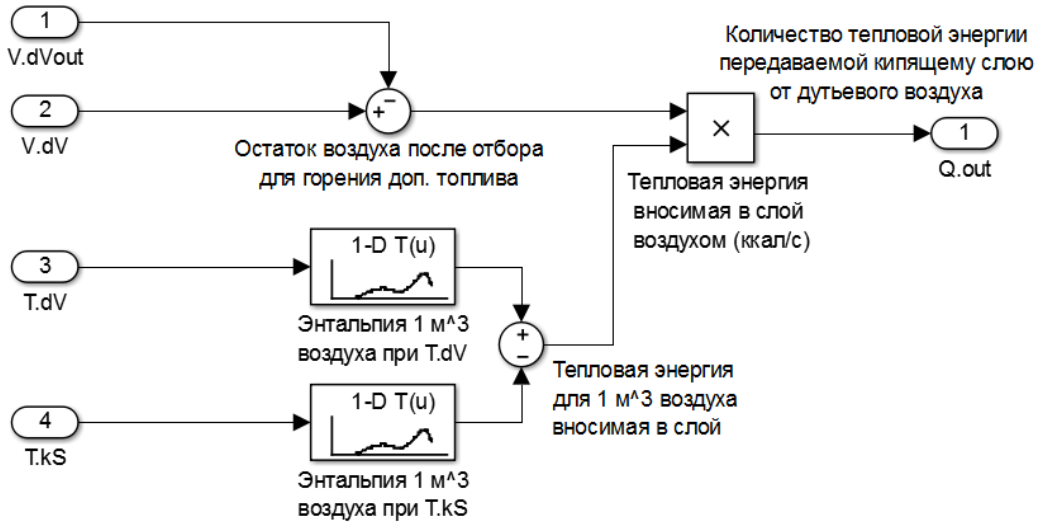


Рисунок 3 – Структура блока объемного расхода дутьевого воздуха

Таким образом, на основании разности энтальпий для $1 m^3$ воздуха, в пересчете на заданный объемный расход с корректировкой отобранного воздуха для горения дополнительного топлива, учитывается количество тепловой энергии, вносимой в слой дутьевым воздухом.

В блоке топочного пространства (рис. 4) вся вносимая энергия, с учетом знака, аккумулируется в интеграторе, после чего преобразуется в значение температуры слоя на основании уравнения:

$$I_{zol}^{T.kS} = \frac{Q_{\Sigma} + I_{zol}^{T.start} m_{zol}}{m_{zol}}, \quad (8)$$

где I_{zol} – энтальпия $1 кг$ золы при температурах $T.kS$ и $T.start$ ($Дж/кг$);

Q_{Σ} – накопленная в аккумуляторе тепловая энергия ($Дж$);

m_{zol} – масса золы в топочном пространстве ($кг$).

Далее, по табличным значениям энтальпии $1 кг$ золы, определяется текущая температура кипящего слоя.

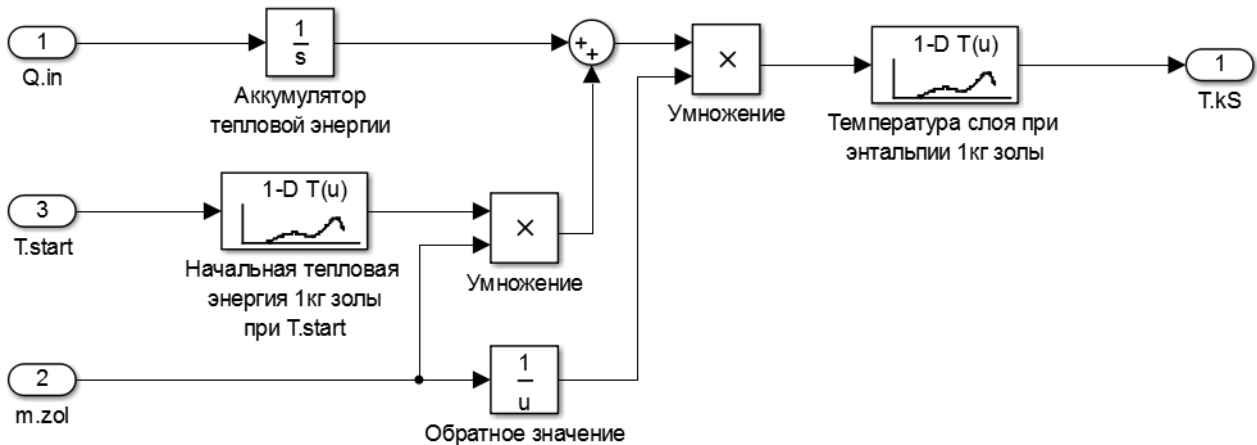


Рисунок 4 – Структура блока топочного пространства

При исследовании работы математической модели в динамике поочередно отключаются подача дополнительного топлива и дутьевого воздуха на 1200 секунде и 2400 секунде соответственно.

Анализируя результаты моделирования, представленные на рисунке 5, можно сделать следующие выводы:

- предложенная математическая модель до 1200 секунды ведет себя в соответствии с существующей, за исключением небольших неточностей, вызванных использованием в расчетах энтальпии, зависимость которой не линейная;

- после остановки блока объемного расхода дополнительного топлива переходной процесс существующей математической модели не соответствует переходному процессу разрабатываемой модели. Данное обстоятельство вызвано резкой сменой структуры дифференциального уравнения, использованного в существующей математической модели, что невозможно динамически учитывать в апериодическом звене первого порядка. Накопленная погрешность за 20 минут составила $35,8^{\circ}\text{C}$ или 8% от изменения температуры в период с 1200 до 2400 секунд;

- после остановки блока объемного расхода воздуха топка переходит в «горячий резерв», что не отрабатывает существующая математическая модель. Это наглядно видно на графике после 2400 секунды.

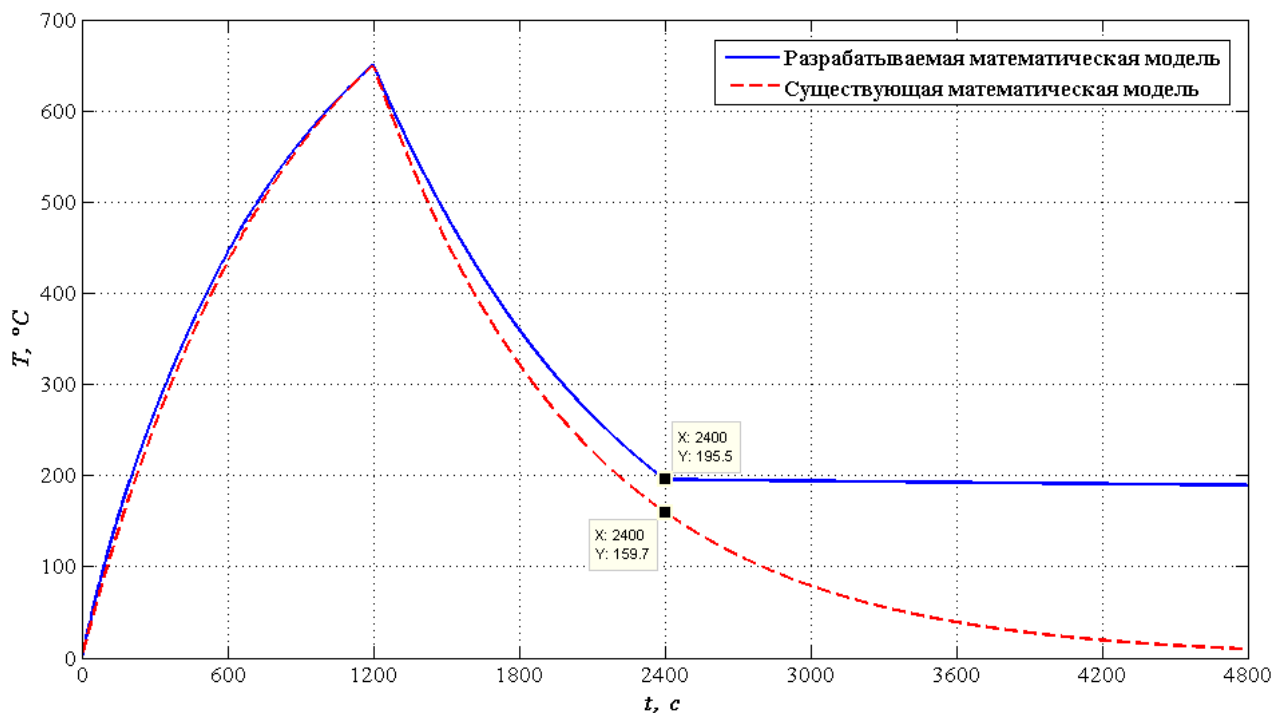


Рисунок 5 – Сравнение переходных процессов существующей и разрабатываемой математических моделей

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение влияния блока объемного расхода основного топлива, с последующим синтезом системы автоматизации шахтной котельной установки с топкой низкотемпературного кипящего слоя в переходных режимах работы.

Перечень ссылок

1. Неежмаков С.В. Исследование математической модели топки кипящего слоя шахтного автономного воздухоподогревателя / С. В. Неежмаков // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - Вип. 8. Т. 10. Мелітополь: ТДАТУ, 2008. С. 173 – 180.
2. Забродский С.С. Гидродинамика и теплообмен в псевдооживленном (кипящем) слое. М.–Л., Госэнергоиздат, 1963. 488с.