

## ИНЖЕНЕРНАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА В ИНДИВИДУАЛЬНОМ ДОМЕ

А.А. ВАРЕНОВ, Н.Д. ЯКИМОВ, Ю.Н. ЕРАШОВА

Казанский государственный энергетический университет

*В статье приводится математическое описание процессов теплообмена во всех элементах системы отопления, начиная от автоматического газового водонагревателя и заканчивая конструкциями самого жилого помещения. При этом учтены основные источники теплоты и возможные способы её рассеивания. Результатом является разработанная структурная схема динамической модели системы отопления, которая вместе со структурой автоматического управляющего устройства может выполнять роль основного инструмента для проведения анализа и синтеза этой сложной автоматической системы.*

*Ключевые слова: энергоэффективность, структурная схема, погодозависимая автоматика, теплообмен.*

Сегодня самые большие затраты при эксплуатации жилого дома – это его отопление. При повышении цен на энергоносители приходится задаваться вопросом энергосбережения собственного жилища [5]. Если посмотреть на дом через тепловизор, то можно увидеть картину, в которой большие тепловые потери происходят через окна, стены, пол и крышу наших домов. При этом чем больше разница температур между помещением и улицей, тем больше тепловые потери и для их сокращения необходимо увеличить тепловое сопротивление  $R_T$  теплопередачи ограждающих конструкций. Так, например, наибольшим тепловым сопротивлением обладают стены из бруса толщиной 20 см

( $R_T = 0,806 \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт/м}^2}$ ), потолочное (чердачное) перекрытие ( $R_T = 1,43 \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт/м}^2}$ ),

деревянные полы ( $R_T = 1,85 \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт/м}^2}$ ). Самые большие тепловые потери

происходят через окна. Всё это, в первую очередь, необходимо учитывать в строительном бизнесе при выборе строительных и отделочных материалов и конструкций. Однако только этим проблему сбережения тепловой энергии в погодных условиях России не всегда удаётся решить. На помощь может прийти погодозависимая автоматика, обеспечивающая поддержание благоприятного температурного режима в помещении и повышающая энергоэффективность системы отопления.

Назначение уравнений модели имеет два аспекта, которые определяют требования к её точности. Первый связан с определением температур в установившемся режиме, когда и погода и внутреннее тепловыделение не изменяются длительное время. Второй аспект связан с необходимостью анализа переходных режимов при изменении требуемой уставки вследствие изменений возмущающих воздействий на систему отопления (наружная температура, скорость и направление ветра).

На наш взгляд расчёт установившихся (длительных) режимов требует большей точности, которая зависит от точности расчёта тепловыделения котлом и тепловых потерь через окна, наружные стены и т.п., но не зависит от теплоёмкостей. Расчет переходных режимов, обусловленных инерционностью, является ориентировочным и определяется теплоёмкостью соответствующих элементов модели. Следует отметить, что система уравнений модели должна быть простой и пригодной для инженерной практики. Она должна учитывать только основные факторы, поскольку на практике многие характеристики не будут известны точно. Дело в том, что теплофизические характеристики сред и материалов меняются с изменением температуры. Так, например, коэффициенты теплоотдачи внутри помещений при свободной конвекции зависят от разности температур поверхности и воздуха. Учёт данного фактора в модели приведёт к появлению нелинейностей, что осложняет решение задачи, но вряд ли принципиально скажется на полученных результатах. Всё это говорит о том, что точность расчёта, при желании учесть все факторы при составлении уравнений модели, в конечном счёте окажется ограниченной. Кроме этого, при составлении каждого из уравнений инженерной модели будем делать ряд оправданных допущений, не приводящих к искажению результатов.

Очевидно, что эта модель является многопараметрической и требует учёта следующих основных параметров и характеристик как самого жилого дома, так и системы отопления на основе автоматического газового нагревателя (АГВ):

$\theta_{co}$  – температура в системе отопления °С;  $\theta_k$  – температура воздуха в комнатах °С;  $\theta_{вн}$  – температура стен внутри дома (кроме наружных стен изнутри) °С;  $\theta_n$  – температура наружных стен изнутри °С;  $\theta_{пт}$  – температура потолков °С;  $\theta_{пл}$  – температура полов °С;  $\theta_{рм}$  – температура рам °С;  $\theta_{чд}$  – температура на чердаке °С;  $m_{AGB}$  – масса АГВ, кг;  $m_{труб}$  – масса труб (полипропилен), кг;  $m_b$  – масса батарей, кг;  $m_{тн}$  – масса теплоносителя ( тосол), кг;  $c_{AGB}$  – удельная теплоёмкость АГВ,  $\frac{Дж}{кг \times ^\circ C}$ ;  $c_{труб}$  – удельная теплоёмкость труб,  $\frac{Дж}{кг \times ^\circ C}$ ;

$c_b$  – удельная теплоёмкость батарей,  $\frac{Дж}{кг \times ^\circ C}$ ;  $c_{тн}$  – удельная теплоёмкость

теплоносителя,  $\frac{Дж}{кг \times ^\circ C}$ ;  $m_c = m_{AGB} c_{AGB} + m_{труб} c_{труб} + m_b c_b + m_{тн} c_{тн}$ ;  $\gamma$  – теплотворная

способность АГВ,  $\frac{Дж}{кг}$ ;  $\eta$  – КПД АГВ, %;  $k_b$  – коэффициент теплоотдачи

батарей,  $\frac{Вт}{м^2 \times ^\circ C}$ ;  $k_{труб}$  – коэффициент теплоотдачи труб,  $\frac{Вт}{м^2 \times ^\circ C}$ ;  $S_b$  – площадь

батарей,  $м^2$ ;  $S_{труб}$  – площадь поверхности труб,  $м^2$ ;  $kS = k_b S_b + k_{труб} S_{труб}$ ;

$m_k$  – масса воздуха в помещениях дома, кг;  $c_k$  – удельная теплоёмкость,  $\frac{Дж}{кг \times ^\circ C}$ ;

$q_k(t)$  – расход воздуха наружу при закрытых форточках и окнах,  $\frac{кг}{с}$ ;

$k_{вн}$  – коэффициент теплоотдачи воздуха внутренним стенам (кирпич, гипсолит),  $\frac{Вт}{м^2 \times ^\circ C}$ ;  $k_n$  – коэффициент теплоотдачи воздуха наружным стенам (кирпич),

$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ ;  $k_{\text{пт}}$  – коэффициент теплоотдачи воздуха потолкам верхнего этажа,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$   
;  $k_{\text{пл}}$  – коэффициент теплоотдачи воздуха полам нижнего этажа,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$   
 $k_{\text{рм}}$  – коэффициент теплоотдачи воздуха рамам (тройной стеклопакет),  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$   
 $S_{\text{вн}}$  – площадь внутренних стен,  $\text{м}^2$ ;  $S_{\text{н}}$  – площадь наружных стен,  $\text{м}^2$ ;  
 $S_{\text{пт}}$  – площадь потолков верхнего этажа,  $\text{м}^2$ ;  $S_{\text{пл}}$  – площадь полов нижнего этажа,  $\text{м}^2$ ;  
 $S_{\text{рм}}$  – площадь рам,  $\text{м}^2$ ;  $kS = kS + q_k S_k + k_{\text{вн}} S_{\text{вн}} + k_{\text{н}} S_{\text{н}} + k_{\text{пт}} S_{\text{пт}} + k_{\text{рм}} S_{\text{рм}}$ ;  
 $M_{\text{вн}}$  – масса внутренних стен, кг;  $M_{\text{н}}$  – масса наружных стен, кг;  $M_{\text{пт}}$  – масса потолков верхнего этажа, кг;  $M_{\text{пл}}$  – масса полов нижнего этажа, кг;  $M_{\text{рм}}$  – масса рам, кг;  
 $c_{\text{вн}}$  – удельная теплоёмкость внутренних стен,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$ ;  $c_{\text{н}}$  – удельная теплоёмкость наружных стен,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$ ;  $c_{\text{пт}}$  – удельная теплоёмкость потолков,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$ ;  
 $c_{\text{пл}}$  – удельная теплоёмкость полов,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$ ;  $c_{\text{рм}}$  – удельная теплоёмкость рам,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$ ;  
 $\lambda_{\text{рм}}$  – теплопроводность рам,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}}$   $\lambda_{\text{пт}}$  – теплопроводность потолков,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}}$ ;  
 $\lambda_{\text{пл}}$  – теплопроводность полов,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}}$ ;  $\delta_{\text{рм}}$  – толщина рам, м;  $\delta_{\text{пт}}$  – толщина потолков, м;  $\delta_{\text{пл}}$  – толщина полов, м;  $q_k(t)$  – массовый расход газа,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ .

При составлении каждого из уравнений инженерной модели будем учитывать положения, изложенные в работах [1,2,3] и делать ряд оправданных допущений, не приводящих к искажению результатов.

1). Будем считать циркуляцию теплоносителя в системе отопления интенсивной, а саму систему в разных помещениях достаточно однородной, чтобы можно было учитывать единую (осредненную) температуру  $\theta_{\text{со}}$  теплоносителя и единый (осреднённый) коэффициент теплопередачи  $k$  от теплоносителя к воздуху в комнатах через поверхности обогревающих устройств. Кроме того, будем считать, что при высокой теплоотдаче от поверхности теплоносителя к поверхности стенок и теплопроводности самих стенок можно считать температуру наружной поверхности всех устройств и труб равной  $\theta_{\text{со}}$ , а  $k$  равным просто среднему коэффициенту теплоотдачи от наружной поверхности отопительной аппаратуры к воздуху. С учётом указанных допущений уравнение теплового баланса системы отопления в операторной форме ( $s$ – оператор Лапласа) примет вид

$$mc\theta_{\text{со}}(s)s + kS\theta_{\text{со}}(s) = q(s)\gamma\eta + kS\theta_k(s). \quad (1)$$

2). Температуру воздуха  $\theta_k$  считаем единой во всех комнатах (теплообмен через межкомнатные двери). Общую теплоёмкость воздуха принимаем постоянной и тогда уравнение теплового баланса запишется так:

$$m_k c_k \theta_k(s) s + k S \theta_k(s) + q_k c_k \theta_k(s) + k_{\text{вн}} S_{\text{вн}} \theta_k(s) + k_{\text{н}} S_{\text{н}} \theta_k(s) + k_{\text{пт}} S_{\text{пт}} \theta_k(s) + k_{\text{пл}} S_{\text{пл}} \theta_k(s) + k_{\text{рм}} S_{\text{рм}} \theta_k(s) = q_k(t) c_k \theta_0(s) + k_{\text{вн}} S_{\text{вн}} \theta_{\text{вн}}(s) +$$

$$k_H S_H \theta_H(s) + k_{\text{ПТ}} S_{\text{ПТ}} \theta_{\text{ПТ}}(s) + k_{\text{Пл}} S_{\text{Пл}} \theta_{\text{Пл}}(s) + k_{\text{рм}} S_{\text{рм}} \theta_{\text{рм}}(s)$$

или после преобразования

$$m_k c_k \theta_k(s) s (kS + q_k c_k + k_{\text{вн}} S_{\text{вн}} + k_H S_H + k_{\text{ПТ}} S_{\text{ПТ}} + k_{\text{Пл}} S_{\text{Пл}} + k_{\text{рм}} S_{\text{рм}}) \theta_k(s) =$$

$$q_k(s) c_k \theta_0(s) + k_{\text{вн}} S_{\text{вн}} \theta_{\text{вн}}(s) + k_H S_H \theta_H(s) + k_{\text{ПТ}} S_{\text{ПТ}} \theta_{\text{ПТ}}(s) + k_{\text{Пл}} S_{\text{Пл}} \theta_{\text{Пл}}(s) +$$

$$k_{\text{рм}} S_{\text{рм}} \theta_{\text{рм}}(s). \quad (2)$$

3). Учёт теплоёмкости внутренних стен и обстановки будем проводить упрощенно, так как её влияние распространяется на переходной режим, но не на установившийся. Пренебрежём деталями процесса перераспределения температуры внутри стен, предметов обстановки и будем учитывать единую (осреднённую) температуру  $\theta_{\text{вн}}$  и стен, и обстановки. Тогда имеем уравнение

$$M_{\text{вн}} c_{\text{вн}} \theta_{\text{вн}}(s) s + k_{\text{вн}} S_{\text{вн}} \theta_{\text{вн}}(s) = k_{\text{вн}} S_{\text{вн}} \theta_k(s). \quad (3)$$

4). Толщина наружных стен бывает значительной, поэтому время перераспределения температур будет заметным, а из-за большей теплоёмкости её вклад в тепловой режим существенным. Ограничимся случаем однородных наружных стен, когда конструкция и толщина всех стен одинакова, а их наружные поверхности непосредственно соприкасаются с окружающей средой. Однородную стену разбивают на  $N$  слоёв и получают грубую реализацию конечно-разностной схемы расчёта нестационарной теплопроводности. Подробность разбиения на слои, как и учёт их теплоёмкости, влияет только на точность определения «запаздывания» (мало слоёв – занижение «запаздывания»). Для осреднённых теплофизических характеристик однородных стен уравнение теплового баланса имеет вид

$$M_H c_H \theta_H(s) s + k_H S_H \theta_H(s) - \frac{\lambda_H S_H}{\delta_H} \theta_H(s) = k_H S_H \theta_k(s) + \frac{\lambda_H S_H}{\delta_H} \theta_0(s). \quad (4)$$

5). Рассуждая аналогично, можно получить уравнения теплового баланса для потолков верхнего этажа, полов нижнего этажа и окон:

$$M_{\text{пт}} c_{\text{пт}} \theta_{\text{пт}}(s) s + k_{\text{пт}} S_{\text{пт}} \theta_{\text{пт}}(s) - \frac{\lambda_{\text{пт}} S_{\text{пт}}}{\delta_{\text{пт}}} \theta_{\text{пт}}(s) = k_{\text{пт}} S_{\text{пт}} \theta_k(s) + \frac{\lambda_{\text{пт}} S_{\text{пт}}}{\delta_{\text{пт}}} \theta_{\text{зд}}(s); \quad (5)$$

$$M_{\text{пл}} c_{\text{пл}} \theta_{\text{пл}}(s) s + k_{\text{пл}} S_{\text{пл}} \theta_{\text{пл}}(s) - \frac{\lambda_{\text{пл}} S_{\text{пл}}}{\delta_{\text{пл}}} \theta_{\text{пл}}(s) = k_{\text{пл}} S_{\text{пл}} \theta_k(s) + \frac{\lambda_{\text{пл}} S_{\text{пл}}}{\delta_{\text{пл}}} \theta_{\text{пл}}(s); \quad (6)$$

$$M_{\text{рм}} c_{\text{рм}} \theta_{\text{рм}}(s) s + k_{\text{рм}} S_{\text{рм}} \theta_{\text{рм}}(s) - \frac{\lambda_{\text{рм}} S_{\text{рм}}}{\delta_{\text{рм}}} \theta_{\text{рм}}(s) = k_{\text{рм}} S_{\text{рм}} \theta_k(s) + \frac{\lambda_{\text{рм}} S_{\text{рм}}}{\delta_{\text{рм}}} \theta_0(s). \quad (7)$$

Уравнения (1-7) позволяют получить передаточные функции:

$$W_{\text{со}}(s) = \theta_{\text{со}}(s)/q(s) = K_{\text{со}}/(T_{\text{со}}s + 1);$$

$$W_{\text{со}}^k(s) = \theta_{\text{со}}(s)/\theta_k(s) = K_{\text{со}}/(T_{\text{со}}s + 1);$$

$$W_k(s) = \theta_k(s)/\theta_0(s) = K_0/(T_{\text{со}}s + 1);$$

$$W_k^{\text{BH}}(s) = \theta_k(s)/\theta_{\text{вн}}(s) = K'_{\text{вн}}/(T_k s + 1);$$

$$W_k^{\text{H}}(s) = \theta_k(s)/\theta_{\text{H}}(s) = K'_{\text{H}}/(T_k s + 1);$$

$$W_k^{\text{ПТ}}(s) = \theta_k(s)/\theta_{\text{ПТ}}(s) = K'_{\text{ПТ}}/(T_k s + 1);$$

$$W_k^{\text{Пл}}(s) = \theta_k(s)/\theta_{\text{Пл}}(s) = K'_{\text{Пл}}/(T_k s + 1);$$

$$\begin{aligned}
W_k^{\text{PM}}(s) &= \theta_k(s)/\theta_{\text{PM}}(s) = K'_{\text{PM}}/(T_k s + 1); \\
W_{\text{BH}}(s) &= \theta_{\text{BH}}(s)/\theta_k(s) = 1/(T_{\text{BH}} s + 1); \\
W_{\text{H}}^k(s) &= \theta_{\text{H}}(s)/\theta_k(s) = K''_{\text{H}}/(T_{\text{H}} s + 1); \\
W_{\text{H}}^0(s) &= \theta_{\text{H}}(s)/\theta_0(s) = K_{\text{H}1}/(T_{\text{H}} s + 1); \\
W_{\text{ПТ}}^k(s) &= \theta_{\text{ПТ}}(s)/\theta_k(s) = K''_{\text{ПТ}}/(T_{\text{ПТ}} s + 1); \\
W_{\text{ПТ}}^{\text{ЧД}}(s) &= \theta_{\text{ПТ}}(s)/\theta_{\text{ЧД}}(s) = K_{\text{ПТ}1}/(T_{\text{ПТ}} s + 1); \\
W_{\text{ПЛ}}^k(s) &= \theta_{\text{ПЛ}}(s)/\theta_k(s) = K''_{\text{ПЛ}}/(T_{\text{ПЛ}} s + 1); \\
W_{\text{ПЛ}}^{\text{ЧД}}(s) &= \theta_{\text{ПЛ}}(s)/\theta_{\text{ЧД}}(s) = K_{\text{ПЛ}1}/(T_{\text{ПЛ}} s + 1); \\
W_{\text{PM}}^k(s) &= \theta_{\text{PM}}(s)/\theta_k(s) = K''_{\text{PM}}/(T_{\text{PM}} s + 1); \\
W_{\text{PM}}^0(s) &= \theta_{\text{PM}}(s)/\theta_0(s) = K_{\text{PM}1}/(T_{\text{PM}} s + 1),
\end{aligned}$$

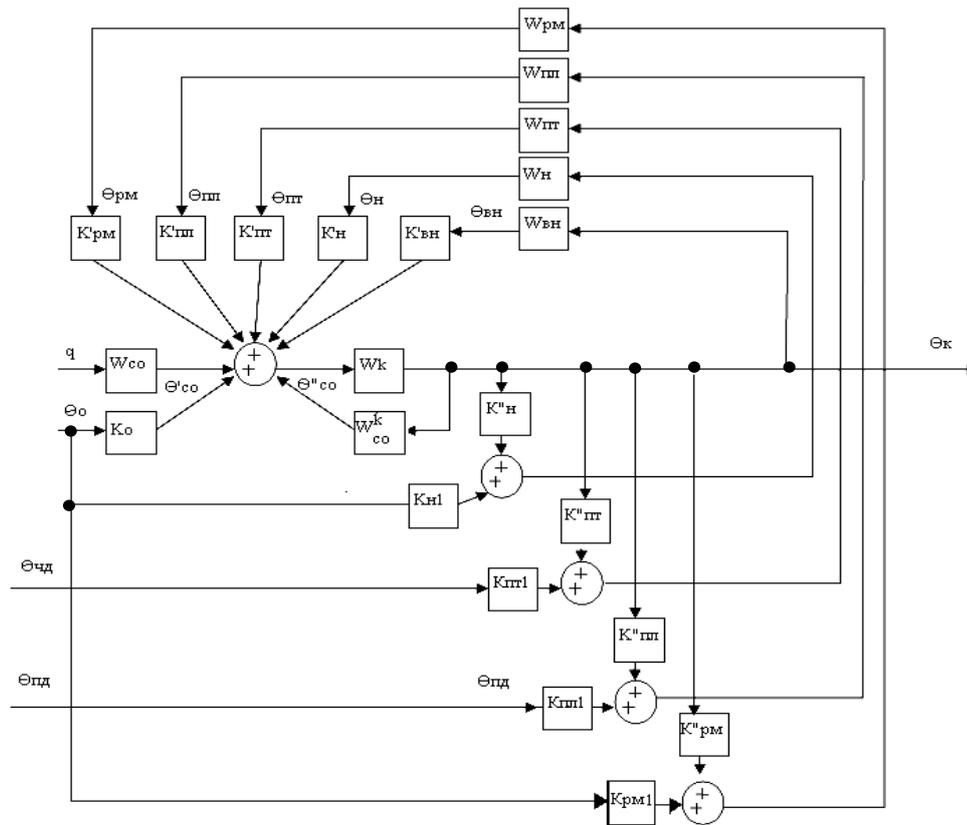
которые являются одной из форм математической модели объекта управления и основным инструментом для проведения его анализа и синтеза [4]. В приведенных передаточных функциях использованы следующие обозначения:

$$\begin{aligned}
K_{\text{CO}} &= \gamma\eta/kS; \\
T_{\text{CO}} &= mC/kS; \\
T_k &= m_k c_k / k^* S^*; \\
K_0 &= q_k c_k / k^* S^*; \\
K'_{\text{BH}} &= k_{\text{BH}} c_{\text{BH}} / k^* S^*; \quad T_{\text{BH}} = M_{\text{BH}} C_{\text{BH}} / k_{\text{BH}} S_{\text{BH}}; \\
K'_{\text{H}} &= k_{\text{H}} S_{\text{H}} / k^* S^*; \quad T_{\text{H}} = M_{\text{H}} C_{\text{H}} / \left( k_{\text{H}} S_{\text{H}} - \frac{\lambda_{\text{H}} S_{\text{H}}}{\delta_{\text{H}}} \right); \quad K''_{\text{H}} = k_{\text{H}} S_{\text{H}} / \left( k_{\text{H}} S_{\text{H}} - \frac{\lambda_{\text{H}} S_{\text{H}}}{\delta_{\text{H}}} \right); \\
K_{\text{H}1} &= \frac{\lambda_{\text{H}} S_{\text{H}}}{\delta_{\text{H}} \left( k_{\text{H}} S_{\text{H}} - \frac{\lambda_{\text{H}} S_{\text{H}}}{k_{\text{H}} \delta_{\text{H}}} \right)}; \\
K'_{\text{ПТ}} &= k_{\text{ПТ}} S_{\text{ПТ}} / k^* S^*; \quad T_{\text{ПТ}} = M_{\text{ПТ}} C_{\text{ПТ}} / \left( k_{\text{ПТ}} S_{\text{ПТ}} - \frac{\lambda_{\text{ПТ}} S_{\text{ПТ}}}{\delta_{\text{ПТ}}} \right); \\
K'' &= k_{\text{ПТ}} S_{\text{ПТ}} / \left( k_{\text{ПТ}} S_{\text{ПТ}} - \frac{\lambda_{\text{H}} S_{\text{H}}}{\delta_{\text{H}}} \right); \quad K_{\text{ПТ}1} = \frac{\lambda_{\text{ПТ}} S_{\text{ПТ}}}{\delta_{\text{ПТ}} \left( k_{\text{ПТ}} S_{\text{ПТ}} - \frac{\lambda_{\text{ПТ}} S_{\text{ПТ}}}{\delta_{\text{ПТ}}} \right)}; \\
K'_{\text{ПЛ}} &= k_{\text{ПЛ}} S_{\text{ПЛ}} / k^* S^*; \quad T_{\text{ПЛ}} = M_{\text{ПЛ}} C_{\text{ПЛ}} / \left( k_{\text{ПЛ}} S_{\text{ПЛ}} - \frac{\lambda_{\text{ПЛ}} S_{\text{ПЛ}}}{\delta_{\text{ПЛ}}} \right); \\
K''_{\text{ПЛ}} &= k_{\text{ПЛ}} S_{\text{ПЛ}} / \left( k_{\text{ПЛ}} S_{\text{ПЛ}} - \frac{\lambda_{\text{ПЛ}} S_{\text{ПЛ}}}{\delta_{\text{ПЛ}}} \right); \quad K_{\text{ПЛ}1} = \frac{\lambda_{\text{ПЛ}} S_{\text{ПЛ}}}{\delta_{\text{ПЛ}} \left( k_{\text{ПЛ}} S_{\text{ПЛ}} - \frac{\lambda_{\text{ПЛ}} S_{\text{ПЛ}}}{\delta_{\text{ПЛ}}} \right)};
\end{aligned}$$

$$K'_{рм} = k_{рм} S_{рм} / k^* S^*; T_{рм} = M_{рм} C_{рм} / \left( k_{рм} S_{рм} - \frac{\lambda_{рм} S_{рм}}{\delta_{рм}} \right);$$

$$K''_{рм} = k_{рм} S_{рм} / \left( k_{рм} S_{рм} - \frac{\lambda_{рм} S_{рм}}{\delta_{рм}} \right); K_{рм1} = \frac{\lambda_{рм} S_{рм}}{\delta_{рм} \left( k_{рм} S_{рм} - \frac{\lambda_{рм} S_{рм}}{\delta_{рм}} \right)}.$$

Используя приведенные передаточные функции, построим структурную схему динамической модели теплового режима (рис.1). Эта схема представляет собой одну из форм математической модели объекта управления погодозависимой автоматической системы управления.



Управляющим воздействием в объекте управления является массовый расход газа  $q_k(t)$ , управляемой величиной – температура воздуха в жилых помещениях  $\theta_k$ , а возмущающими воздействиями – температура наружного воздуха  $\theta_o$ , температура воздуха на чердаке  $\theta_{чд}$ , температура воздуха под полом первого этажа  $\theta_{пл}$ .

Выводы: Предложенная модель может быть использована для проведения анализа, синтеза и компьютерного моделирования погодозависимой системы

отопления, что является очередным намерением авторов статьи. При этом предполагается решить задачи такого определения её параметров, которые обеспечат рациональный выбор строительных материалов и конструкций, заданное быстродействие и точность регулирования температуры в жилом доме и главное – экономное расходование энергетических ресурсов.

### **Summary**

*The article gives a mathematical description of heat transfer processes in all the heating elements, ranging from automatic gas water heater and ending on the residential areas. At the same time takes into account the major sources of heat, and possible ways of its dissipation. The result is a block diagram of a developed dynamic model of the heating system, which, together with the structure of the automatic control device can serve as a basic tool for the analysis and synthesis of the complex automated system.*

*Keywords: energy efficiency, a block diagram, Weather-dependent automatic, heat transfer.*

### **Литература**

1. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен. Москва: МЭИ, 2006.
2. Тепломассообмен влажного воздуха в компактных пластинчаторебристых теплообменниках: монография / А.В. Чичиндаев. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009.
3. WONG.N.Y. Heat transfer for engineers. LONDON: 1977.
4. Топчиев Ю.И. Атлас для проектирования систем автоматического регулирования. М.: Машиностроение, 1989.
5. Варенов А.А., Якимов Н.Д. Математическая модель системы отопления индивидуального дома // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и ЖКХ: материалы Первой поволжской науч.-практ. конф. Казань, 2015.

*Поступила в редакцию*

*21 апреля 2016 г.*

**Варенов Александр Андреевич** – канд. техн. наук, профессор кафедры «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел.: 8(843)519-42-76.

**Якимов Николай Дмитриевич** – д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры «Теоретические основы теплотехники» (ТОТ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел.: 8(843)519-42-58.

**Ерашова Юлия Николаевна** старший преподаватель кафедры «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ) Казанского государственного энергетического университета. Тел.: 8(843)519-42-76. E-mail: erashova.yuliya@mail.ru.