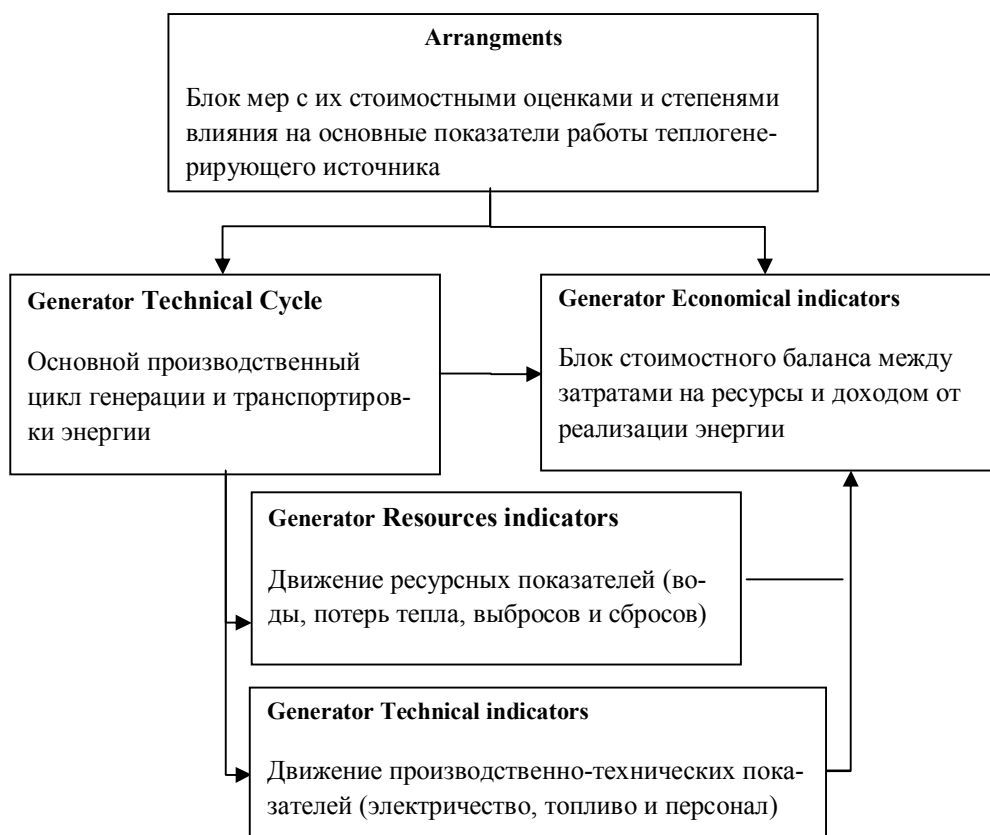


## АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩЕГО ИСТОЧНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**П.А. Лебединский, Н.А. Страховой (Ростов-на-Дону)**

Математическое описание имитационной модели теплогенерирующего источника выполнено на основе пакета структурного моделирования iThink Analyst v 9.1.3 фирмы «High Performance Systems, Inc.»

Использование методов имитационного моделирования позволило создать многоуровневую модель функционирования энергогенерирующего источника (роль, которого выполняет котельная) и сопутствующей ей инфраструктуры (системы теплотрасс), описываемой совокупностью ключевых оценочных параметров-индикаторов. В частности, источник генерации тепла характеризуется удельным потреблением ресурсов (на производство 1 Гкал), выбросами, сбросами, а также потерями тепла при его транспортировке [2]. В модели все параметры объединены в группы – взаимосвязанные блоки, среди которых блок параметров, определяющих работу теплогенерирующего источника, блок мер по энергосбережению и повышению энергоэффективности (рис. 1).



**Рис. 1. Схема имитационной модели теплогенерирующего источника**  
Основным блоком в модели является «Generator Technical Cycle». Он описывает производство тепловой энергии и транспорт тепла до потребителей (рис. 2)

Модель включает пять взаимосвязанных блоков, четыре из которых отражают показатели-индикаторы генерирующего источника, ресурсные показатели в блоке Generator Resources indicators; производственно-технические индикаторы в блоке Generator

Technical indicators; экономические индикаторы в блоке Generator Economical indicators и основной блок Generator Technical Cycle, в котором находится концептуальная часть модели. Все перечисленные блоки взаимосвязаны друг с другом, что свидетельствует о том, что изменение одних групп показателей влечет изменение других. Также отдельным блоком модели Arrangments, в котором отражены меры по повышению энергоэффективности и энергосбережению, оказывающие влияние на главный блок, изменение в котором в свою очередь влияют на изменения в остальных трех блоках.

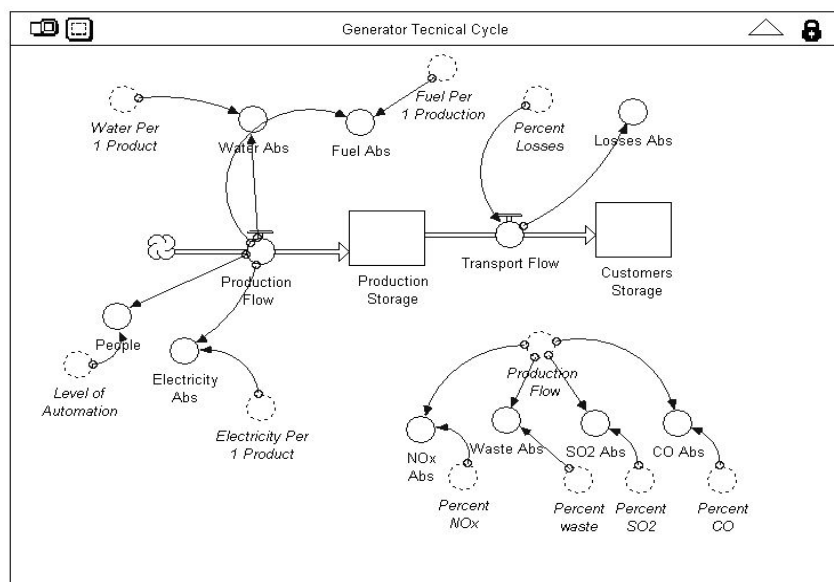


Рис. 2. Блок генерации и транспортировки теплоэнергии «Generator Technical Cycle»

Поток «Production Flow» отражает производство тепловой энергии, аккумулирующейся в накопителе, обозначенном на рисунке 2 как «Production Storage». Блок содержит параметры, отражающие ресурсы, необходимые для производства тепловой энергии: техническую воду «Water Abs», топливо «Fuel Abs», электричество «Electricity Abs», также в данном блоке присутствует показатель, описывающий численность штата сотрудников, необходимого для функционирования теплового источника «People».

Расход топлива фактический «Fuel Abs» на выработку тепловой энергии определяется как произведение удельной величины расхода топлива на выработку одной Гкал «Fuel Per 1 Production» на выработанную, за этот же период времени, тепловую энергию «Production Flow»:

$$\langle \text{Fuel Abs} \rangle = \langle \text{Fuel Per 1 Production} \rangle * \langle \text{Production Flow} \rangle, \text{ кг (м}^3\text{)} \quad (2)$$

где кг – единица измерения для твердого топлива, м<sup>3</sup> – для газообразного.

Фактический расход топлива надо перевести в условное топливо, теплотворная способность которого принята 7000 ккал/кг как теплота сгорания питьевого спирта. Основные коэффициенты перевода, Кт, топлива фактического в условное принимаются по методике [1] при отсутствии сертификатов на топливо.

Следовательно, фактический расход топлива в кг у.т. составит

$$V_{уд}^y = V_{уд}^T * K_T, \text{ кг у.т./Гкал} \quad (3)$$

Для оценки эффективности работы котельной (котла) проводится сравнение  $V_{уд}^y$  с  $V_{уд.н}^y$  – нормативным расходом:

$$K_{эф}^T = V_{уд}^y / V_{уд.н}^y \quad (4)$$

Принята следующая шкала энергоэффективности показателя использования топлива, отраженная в табл. 3.

Таблица 3

**Шкала энергоэффективности показателя использования топлива  
(предварительная)**

Величина показателя, $K_{эф}$	Показатели энергоэффективности
1,04-0,95	Хорошо
1,05-1,10	Удовлетворительно
1,11-1,25	Неудовлетворительно
Более 1,26	Плохо

Приведенная в таблице 3 шкала применима к показателю использования топлива  $K_{эф}^T$ , электроэнергии  $K_{эф}^э$ , воды  $K_{с.н.}$ .

Нормативный расход топлива определяется по данным наладочных испытаний (проекта). Если в котельной установлены котлы разных типов, то эффективность котельной допускается, в порядке исключения, оценивать пропорционально тепловой мощности установленных агрегатов.

Расход израсходованной электроэнергии «Electricity Abs» определяется как произведение тепловой энергии «Production Flow» и удельной величины расхода электроэнергии на выработку одной Гкал «Electricity Per 1 Product»:

$$\langle \text{Electricity Abs} \rangle = \langle \text{Electricity Per 1 Product} \rangle * \langle \text{Production Flow} \rangle, \text{ кВт*ч} \quad (5)$$

Для оценки эффективности работы котельной необходимо провести сравнение  $V_{уд}^э$  с  $V_{уд.н.}^э$  – нормативным расходом:

$$K_{эф}^э = V_{уд}^э / V_{уд.н.}^э \quad (6)$$

Нормативный расход электроэнергии определяется по данным наладочных испытаний. Если такие данные отсутствуют, то следует воспользоваться данными из[1].

Расход воды фактический на выработку тепловой энергии «Water Abs» определяется как произведение тепловой энергии «Production Flow» и удельной величины расхода воды на выработку одной Гкал «Water Per 1 Product»:

$$\langle \text{Water Abs} \rangle = \langle \text{Water Per 1 Product} \rangle * \langle \text{Production Flow} \rangle \text{ (м}^3\text{/ч)} \quad (7)$$

Нормативный расход воды можно оценить также по данным [1].

Количество штатных единиц «People» определяется как произведение тепловой энергии «Production Flow» и удельной величины автоматизации производства на выработку одной Гкал «Level of Automation»:

$$\langle \text{People} \rangle = \langle \text{Level of Automation} \rangle * \langle \text{Production Flow} \rangle, \text{ чел.} \quad (8)$$

Показатель «Level of Automation» определяется из нормативных документов на оборудование, установленном на теплогенерирующем источнике, в количестве, достаточном для его обслуживания с учетом степени автоматизации производства тепла.

Производство тепловой энергии сопряжено с выбросами в атмосферу и обозначается как «Emissions Abs». Выбросы рассчитываются как произведение выработанной тепловой энергии за тепловой период «Production Flow» на удельную величину выбросов «Percent Emissions»:

$$\text{«Emissions Abs»} = \text{«Percent Emissions»} * \text{«Production Flow»}, \text{ мг/м}^3 \text{ (кг)} \quad (9)$$

газ – Nox, CO

мазут – Nox, CO, SO<sub>2</sub>, сажа

уголь – Nox, CO, SO<sub>2</sub>, зола.

Удельная величина выбросов «Percent Emissions» рассчитывается из ретроспективных данных работы теплогенерирующего источника или нормативных документов на имеющееся оборудование.

Этап транспортировки характеризуется показателем потерь «Losses Abs», рассчитываемым как произведение объема поставляемого тепла «Transport Flow» на средний процент потерь по инфраструктуре «Percent Losses».

$$\text{«Losses Abs»} = \text{«Percent Losses»} * \text{«Transport Flow»}, \text{ Гкал/ч} \quad (10)$$

Процент потерь, обозначенный в модели как «Percent Losses», рассчитывается из ретроспективных данных работы теплогенерирующего источника, либо по нормативным документам.

Использование описанной модели теплогенерирующего источника на практике позволяет решать следующие задачи:

- определять эффективность работы теплогенерирующего источника, в сравнении с нормативными данными и показателями, используемыми в данной методике, на основании накопленного опыта испытаний;
- оценить потенциал энергоэффективности работы исследуемого объекта;
- оценить потребности теплогенерирующего источника в топливе, электрической энергии, воде;

### Литература

1. МДК 4-05.2004 «Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения».
2. **Аракелов В.Е., Кремер А.И.** Методические вопросы экономии энергоресурсов. – М., Энергоатомиздат, 1990.
3. **Афонин А.** Методика проведения энергетических обследований предприятий и организаций / А. Афонин, А. Сторожков, В. Шароухова, Н. Коваль. – Энергосбережение. – 1999. – № 1.
4. Доклад Министерства промышленности и энергетики РФ о ходе реализации Федеральной целевой программы «Энергоэффективная экономика» на 2002–2005 годы и на перспективу до 2010 года» за 2002–2006 годы.
5. **Табунщиков Ю.А., Бродач М.М.** Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. – М.: НП АВОК, 2002.