

## РАЗРАБОТКА EXCEL-ПРИЛОЖЕНИЯ «ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНДЕНСАЦИОННЫХ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЛОВ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ»

**В. В. Логвиненко, Т. С. Шкиронкова**

Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

*Разработано Excel-приложение для численного обоснования эффективности применения конденсационных котлов и низкотемпературных систем отопления в Алтайском крае. Основные его блоки – расчет точки росы дымовых газов, энтальпии уходящих газов, их влажностного содержания, расчет низкотемпературной системы отопления коттеджа, количества секций, расчётная плотность потока секций, расхода природного газа, его экономия для каждых 3 часов отопительного периода 2016 года. Показано на примере конкретного коттеджа, что использование низкотемпературных отопительных систем и конденсационных котлов в Алтайском крае является обоснованным.*

**Ключевые слова:** Excel-приложение, низкотемпературные отопительные системы, конденсационные котлы, почасовой расчет экономии газа в отопительный период 2016 года, увеличение числа секций, обоснованность применения конденсационных котлов в Алтайском крае.

В мировой практике широко распространены низкотемпературные системы отопления с конденсационными котлами на газовом топливе. В ряде европейских стран запрещено использовать неконденсационные котлы для отопления небольших и средних коттеджей. Конденсационные приборы могут применяться для любых систем водяного отопления [1]. Однако эффективность их зависит от температур подающей и обратной линий системы отопления [1]. Чем ниже температура подающей/обратной воды системы отопления, тем чаще оборудование будет эксплуатироваться в режиме конденсации, и, соответственно, тем выше будут КПД и коэффициент использования, а следовательно, и экономичность системы. Для низкотемпературных систем отопления с температурой обратной линии около 40°C (например, напольное отопление – 35-45°C) достигается наибольший годовой коэффициент использования, поскольку в этом случае в течение всего годового периода эксплуатации происходит использование эффекта конденсации. Даже для систем отопления, рассчитанных на 70-90°C при режиме эксплуатации с плавным изменением температуры воды отопления, до 30% времени годового периода эксплуатации отопительный аппарат работает в режиме с конденсацией [1].

Применение конденсационного котла

существенно повышает коэффициент полезного действия в первую очередь за счет уменьшения температуры и энтальпии уходящих газов [2]. Как видно из рисунка 1, в области малых нагрузок КПД конденсационного котла превышает КПД других котлов на 50-20%. Конечно, у конденсационного котла есть и определенные недостатки, он дороже, надо удалять большое количество конденсата, к нему повышены требования при изготовлении [4]. В связи с этим актуальным становится вопрос о применении низкотемпературных систем отопления с конденсационными котлами в Алтайском крае, где отопительный сезон очень продолжительный и существенная его часть проходит при температуре на входе в котел ниже точки росы уходящих дымовых газов.

Физические процессы при конденсации водяных паров в конденсационных отопительных котлах и их применением описаны в [4, 5-9].

Состав природного газа, используемого в Алтайском крае, приведен в таблице 1.

В традиционных отопительных котлах теплота, выделяющаяся в процессе сгорания смеси природного газа и воздуха, передается проходящему через теплообменник теплоносителю. Продукты сгорания, нагревая теплоноситель, охлаждаются до температуры порядка 120-180°C.

РАЗРАБОТКА EXCEL-ПРИЛОЖЕНИЯ «ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНДЕНСАЦИОННЫХ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЛОВ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ»

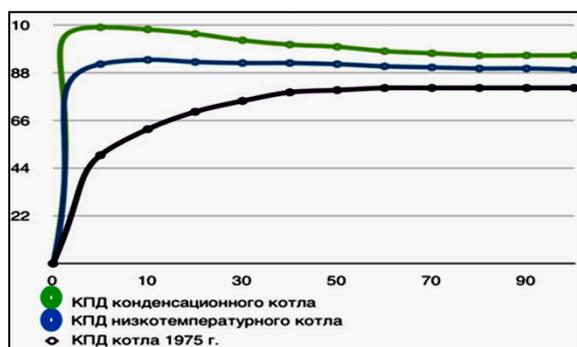


Рисунок 1 – КПД конденсационного, низкотемпературного и стандартного отопительных котлов

Таблица 1 – Состав природного газа в % по объему

CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	CO	N <sub>2</sub>
93,	3,1	0,7	0,6	-	0,1	2,6

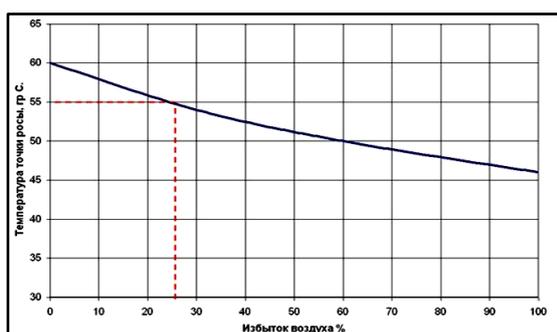


Рисунок 2 – Зависимость температуры точки росы от коэффициента избытка воздуха

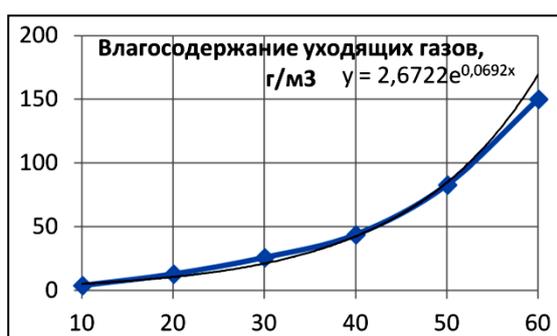


Рисунок 3 – Зависимость влагосодержания уходящих газов от их температуры

При этом вся вода, присутствующая в них в виде пара, удаляется через дымоход вместе с другими газами [4].

Точка росы дымовых газов является минимально возможной температурой, при которой углеводородная система еще находит-

ся в однофазном газообразном состоянии. При последующем снижении температуры дымовых газов из них начинает выделяться первый конденсат. На рисунке 2 приведена зависимость температуры точки росы от коэффициента избытка воздуха [4]. Отсюда температура точки росы

$$t_p = 117,5 * \alpha_{ух}^{-0,155} - 57,09, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (1)$$

На рисунке 3 представлена зависимость влагосодержания в уходящих газах от их температуры, там же приведено уравнение линии тренда, которое используется в разрабатываемом приложении. На линии насыщения влагосодержание уходящих газов  $d_{\text{макс}}$  равно 134,3 г/м<sup>3</sup>, энтальпия газов для неконденсационного котла при 130°C равна 1719,4 Дж/кг.

Допущения, используемые при разработке приложения: температура уходящих газов превышает температуру обратной воды из системы отопления на изменяемую величину, принято на 2°C. Автоматика котла обеспечивает температуру воды на выходе из котла пропорционально температуре наружного воздуха за 3 текущих часа. Расчетная плотность теплового потока секций во всем исследованном диапазоне определяется по зависимости  $= 758 * \text{СТЕПЕНЬ}((\text{температурный напор} / 70); 1) * \text{СТЕПЕНЬ}((\text{расход теплоносителя} / 0,1); 0,3) * 1$ .

Использованы данные по температурам наружного воздуха за каждые 3 часа 2016 г. города Барнаула, всего 1978 значений. В качестве низкотемпературной системы отопления использовалась система отопления реального коттеджа мощностью 28857 Вт.

Разработано Excel-приложение для численного обоснования эффективности применения конденсационных котлов и низкотемпературных систем отопления в Алтайском крае, в т.ч. для каждого из 1978 периодов, блок расчета точки росы дымовых газов, энтальпии уходящих газов, их влагосодержания. Разработан блок расчета низкотемпературной системы отопления коттеджа в диапазоне температур наружного воздуха и температурного графика отопительной системы, расчета количества секций, расчетной плотности теплового потока секций, блок для расчета расхода природного газа, его экономии для каждых 3 часов отопительного периода. Объем приложения составил 1,93 МБт.

На рисунке 4 приведен фрагмент ход температуры наружного воздуха, прямой и обратной воды в системе отопления в период

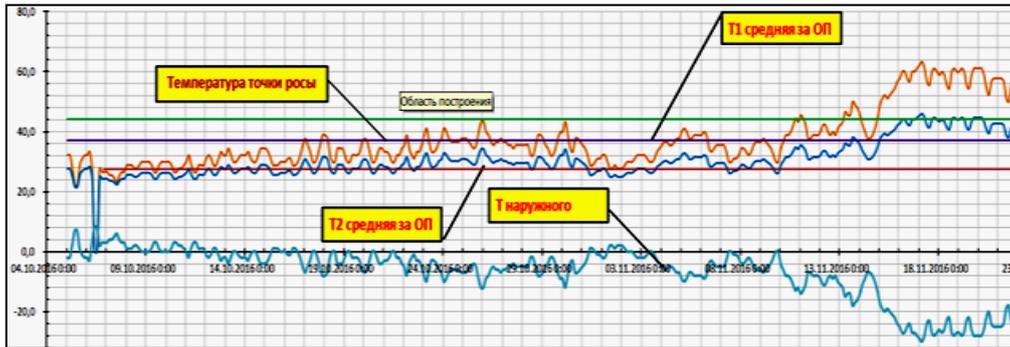


Рисунок 4 – Ход температуры наружного воздуха, прямой и обратной воды в системе отопления

Таблица 2 – Данные по расчетам

Дата / Время	Тн.в., °С	Т1, °С	Т2, °С	Тн.в.ср. 5 пред. дн., °С	Туход. газ., °С	d, влагосодерж. газ. гр./м <sup>3</sup>
05.10.2016 1:00	-2	32,1	27,6	5,4	29,6	20,7
05.10.2016 4:00	-2	32,1	27,6		29,6	20,7
05.10.2016 7:00	2	27,7	25,0		27,0	16,9
...	..	...	...	...	...	.....
11.02.2017 22:00:00	-35	88,4	68,9	-15,2	70,9	134
11.02.2017 22:00:03	-36	90,0	70	-15,2	72,0	134,3

Таблица 3 – Данные по расчетам

Дата / Время	Энтальпия, l уход. газ., КДж/м <sup>3</sup> .	Экономия газа за 3 часа, м <sup>3</sup>	Экономия за 3 часа, руб.
05.10.2016 1:00	598,5	0,0507171	0,254
05.10.2016 4:00	598,5	0,0507171	0,254
05.10.2016 7:00	616,1	0,0472570	0,236
...	..	...	...
11.02.2017 22:00:00	983,6	0,0002345	0
11.02.2017 22:00:03	878,7	0,0002710	0

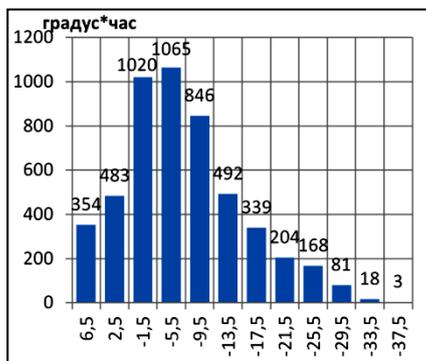


Рисунок 5 – Стояния температуры наружного воздуха, по оси X – средняя температура диапазона наружного воздуха ±1,5°С.

с 04.10.2016 – 0:00 по 23.11.2016 – 0:00. Средняя температура наружного воздуха за отопительный период 2016 г. составила по факту -7,2°С. Температура воды на входе и выходе из низкотемпературной системы отопления – соответственно 37,7°С и 30,3°С. Видна часовая связь между температурами наружного воздуха и температурами воды в системе отопления.

На рисунке 5 приведено распределение стояния температуры наружного воздуха в отопительный период 2016 г. Как следует из рисунка, чаще всего в отопительный период 2016 г. стояли температуры от +4°С до -15°С. Это 84% времени отопительного периода. Температуры ниже (-15)°С стояла всего 7%  
 ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ № 4 Т. 2 2017

## РАЗРАБОТКА EXCEL-ПРИЛОЖЕНИЯ «ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНДЕНСАЦИОННЫХ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЛОВ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ»

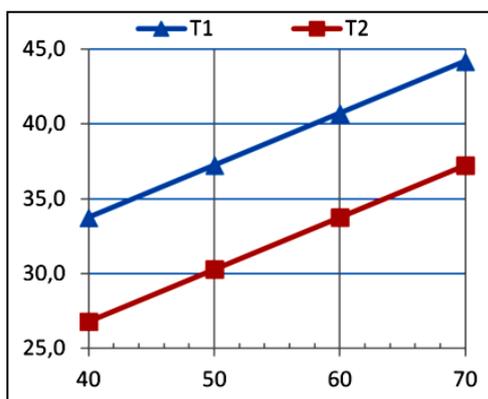


Рисунок 6 – Средние температуры прямой и обратной воды при разных температурных графиках (по оси X приведены температуры обратной воды из температурного графика)

времени отопительного периода. В таблице 2 приведены некоторые данные по температурам сред и влагосодержанию в уходящих газах в первые 3 и последующие часы отопительного сезона.

Среднее по времени влагосодержание уходящих газов очень низкое, из d макс., равного  $134,3 \text{ гр/м}^3$ , в теплое время отопительного периода остается всего несколько десятков грамм. В холодный период влагосодержание уходящих газов составляет до  $134$  и выше  $\text{грамм/м}^3$ , приближаясь к максимально возможному.

В таблице 3 приведены некоторые данные по энтальпии уходящих газов в первые 3 и последующие часы отопительного сезона, экономия природного газа и стоимость этой экономии при цене газа  $5 \text{ руб за м}^3$ . На рисунке 6 приведены средние за отопительный период температуры прямой и обратной воды в системе отопления.

И при типовом температурном графике  $90/70^\circ\text{C}$  средняя уходящих газов температура за отопительный период составила порядка  $37^\circ\text{C}$ , экономия природного газа более  $108 \text{ м}^3$

или  $541 \text{ руб}$ . С этой точки зрения, применение конденсационных котлов в Алтайском крае является целесообразным и актуальным.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Преимущества конденсационной отопительной техники. – Режим доступа: <https://rudjanov.wordpress.com/kt/>
2. Система отопления дома на базе конденсационных настенных котлов. – Режим доступа: [http://www.tria-komm.ru/article/condensation\\_boiler.htm](http://www.tria-komm.ru/article/condensation_boiler.htm).
3. ГОСТ Р 54825-2011. Котлы газовые центрального отопления. Специальные требования для конденсационных котлов с номинальной тепловой мощностью не более  $70 \text{ кВт}$ . 13.12.2011. – М. : Стандартиформ, 2012.
4. Аронов, И. З. Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа / И. З. Аронов. – Л. : Недра. Ленинградское отделение. – 1990. – 280 с.
5. Комплексные системы теплоутилизации и газоочистки на паровых и водогрейных котлах. / А. Ф. Дьяков [и др.] // Теплоэнергетика. – 1992. – № 11. – С. 50-55.
6. Конденсационные котлы. – Режим доступа: <http://imhodom.ru/node/6423>.
7. De Dietrich: 5 мифов о конденсационных котлах. – Режим доступа: [http://www.russian-climat.ru/document\\_223.htm](http://www.russian-climat.ru/document_223.htm).
8. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М. : Госстрой России, 2004.
9. Конденсационные котлы BOSCH: Преимущества технологии // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2015. – № 8. – С. 40-41.

**Логвиненко В.В.** – к.т.н., доцент, и.о. заведующего кафедрой «Инженерные сети, теплотехника и гидравлика» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: [logvinvv@mail.ru](mailto:logvinvv@mail.ru).

**Шкиронкова Т.С.** – магистрант ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова [shkironkova@mail.ru](mailto:shkironkova@mail.ru).