

Экологические показатели котлов Терморобот ТР-150, ТР-300

Экологические показатели угольных котлов определяется тремя основными факторами:

- содержанием в дыме вредных газов (угарного газа CO, окислов серы и азота);
- способом утилизации золы, хранения и загрузки угля;
- содержанием в дымовых газах твердых загрязняющих частиц (золы уноса).

1. **Содержание вредных газов в дыме.** Вредные окислы возникают при сгорании серы и азото-содержащих компонентов угля. В котлах мощностью десятки–сотни киловатт влиять **на образование этих окислов практически невозможно**, их содержание в дымовых газах определяется исходным содержанием этих веществ в угле. Поэтому ни в ГОСТ 20548 («Котлы водогрейные до 100 кВт»), ни в ГОСТ 30735 («Котлы водогрейные 0,1–4 МВт») содержание этих газов не нормируется.

Зато влиять на полноту сгорания углерода можно и нужно, минимизируя выбросы твердого углерода (сажи) и продукта неполного сгорания углерода (угарного газа CO). В этом состоит основное отличие «плохих» в экологическом смысле котлов от «хороших». Большинство производителей пишут о применении в своих котлах «дожигателей», но важно различать технически эффективные решения от неэффективных, имеющих только маркетинговое значение («галочка» в графе «дожигатель»).

При сравнении котлов по экологическим показателям, нужно иметь в виду следующее:

— автоматические угольные котлы имеют гораздо лучшие экологические показатели, чем ручные котлы (кочегарки), это достигается более равномерной подачей угля. Так, по ГОСТ 30735 для бурого угля содержание CO допускается 4 000 мг/м³ (классу II), а для котлов с ручной топкой — 10 000 мг/м³ (в 2,5 раза хуже), по классу I показатели ручных котлов хуже почти в 10 раз. Если экологические показатели важны, следует выбирать автоматические угольные котлы.

— в ГОСТ 30735 нормируется «Содержание вредных веществ в сухих неразбавленных уходящих газах, мг/м³». Чем больше в дымовых газах воздуха, тем сильнее газы разбавляются, тем меньшую концентрацию покажет газоанализатор, но общее количество загрязняющих веществ от этого меньше не станет, а экологов интересуют именно суммарное загрязнение. У хороших угольных котлов коэффициент избытка воздуха (коэффициент альфа) находится в пределах 1,4–1,6, у плохих может достигать и 2,5–4 (большой избыток воздуха вреден, так как с ним уносится тепло, снижается КПД котла). ГОСТ нормирует количество CO в пересчете на альфа=1, это нужно учитывать при сравнении котлов.

— как правило в угольных котлах происходит неравномерная подача угля, соответственно и концентрация выбросов меняется за время цикла подачи (есть пик выброса загрязняющих веществ после подачи очередной порции угля). В котельных Терморобот указаны пиковые концентрации веществ, другие производители могут указывать «средние» значения, усредняя очень произвольно.

Вид топлива	Номинальная мощность, МВт	Содержание окиси углерода CO, мг/м ³		
		Класс I	Класс II	Класс III
Антрацит и каменный уголь	от 0,1 до 0,5	2 000	3 600	12 000
Бурый уголь	от 0,1 до 0,5	2 500	4 000	24 000

2. **Утилизация золы.** Количество золы, шлака определяется не конструкцией котла, а исходным содержанием минеральных веществ в сжигаемом угле (зольность угля). Она может составлять от 5–10% до 30–50% массы угля. Зола является вредным отходом и должна утилизироваться на специальных полигонах. Степень загрязнения территории зависит не столько от технологии сжигания угля (минеральную пыль, золу все равно сжечь нельзя), сколько от технологии золоудаления.

В кочегарках зола выгребается из котла, накапливается в открытых кучах на территории котельной и изредка вывозится на золоотвал или свалку. В процессе складирования золы вредные вещества разносятся ветром и вымываются осадками в почву.

В котлах Терморобот сбор золы производится в герметичные металлические зольники объемом 0,9 м³, которые можно менять как кассеты, накапливать их и вывозить на золоотвал без «грязной» промежуточной перегрузки. Аналогичная ситуация с загрузкой угля в бункер. Загрузка модульных котельных осуществляется из специальных мешков объемом 1 м³ с «рукавом», вшитым в днище мешка. Это позволяет засыпать уголь, не поднимая пыль и не загрязняя территорию.

Встречается недобросовестная реклама котлов, «сжигающих» золу за счет «наноизмельчения». Порода, измельченная до частиц менее 5–10 микрон, становится весьма летучей, и не собирается в таких котлах в зольную полость котла, а вместе с дымовыми газами уносится в атмосферу и рассеива-

ется на прилегающей территории, загрязняя ее. Такой способ «утилизации» золы мы считаем неприемлемым. В любом случае объективные замеры покажут высокое содержание пыли в выбросах, что заставит покупателя относить котельную далеко от отапливаемого здания для соблюдения ПДК.

3. Зола уноса. Этот параметр котла менее сравним, так как выбросы пыли сильно зависят от угля, на котором проводятся измерения. Так, каменный уголь склонен к спеканию в шлак, а бурый — к измельчению «микровзрывами» при закипании связанной воды. Количество золы уноса зависит от фракции исходного угля (чем мельче фракция, тем больше в ней содержание мелкой летучей пыли). Выбросы зависят также от мощности, на которой работает котел: чем сильнее поддув воздуха, тем интенсивнее унос золы.

Тем не менее, изменяя конструкцию котла, можно влиять на этот показатель. Так, в дымовом канале Терморобота предусмотрены две полости, в которых резко снижается скорость потока и его направление, это позволяет собирать золу уноса в съемных боковых зольниках (см. фото 1). В котле ТР-150 зольники расположены после 2-го хода 3-ходового жаротрубного теплообменника (где газы движутся сверху вниз). В котле ТР-300 использован 5-ходовый теплообменник, в нем зольники расположены последовательно, после 2-го и 4-го хода газов. Они собирают большинство крупных частиц, которые составляют основную массу пробы при экологических замерах.

При разработке раздела 8 проекта котельной («Перечень мероприятий по охране окружающей среды») часто задают вопрос о высоте дымовой трубы. С технической точки зрения в автоматических угольных котлах не требуется высокая труба (в них используется поддув воздуха и дымосос, поэтому не нужно обеспечивать естественную тягу). Возможность или невозможность использования котельной в конкретном месте (ПДК загрязняющих веществ, которые она там создаст) определяется не только выбросами котла (эти данные должен предоставить производитель), но и местом установки (высота соседних зданий, ландшафт, роза ветров...) Поэтому этот раздел не входит в типовой проект котельной, проведение экологической экспертизы должен заказать покупатель. Это делается (и оплачивается) в любом случае, независимо от того, какой котел выбран.

Для измерения твердых загрязняющих частиц производителю нужно обратиться в ЦЛАТИ («Центр лабораторного анализа и технических измерений») и задокументировать результаты измерений, это делается быстро и недорого. Для замеров вредных газов производителю котлов нужен промышленный газоанализатор, внесенный в Госреестр средств измерения. Серьезные производители, выпускающие качественные котлы, заинтересованы в показе покупателям объективных характеристик своих котлов, наличие/отсутствие таких бумаг является косвенным показателем качества котла.

Технические решения по оптимизации сжигания угля, примененные Термороботом

Физико-химические процессы горения угля достаточно изучены и давно реализованы в «больших» котельных. Для полного сжигания углерода угля нужно **одновременно** обеспечить 3 условия:

1. **достаточно высокую температуру в топке** (не менее 800°C, при меньших температурах горение углерода резко замедляется);
2. **достаточное время горения** (скорость горения не очень велика).
3. **достаточное количество кислорода** (определяется химическими реакциями горения).

Оптимальная температура в котле достигается футеровкой топки, а большое время горения — большим объемом топки, удлинением потока раскаленных газов.

При создании котлов малой мощности (ниже 100 кВт) для минимизации цены изделия производители вынуждены выбирать те или иные технические компромиссы, снижающие качество сжигания угля. Так, оба указанных решения (футеровка и большие габариты) невыгодны производителям из-за высокой материалоемкости котла, больших габаритов и веса. Ряд производителей идет на повышение цен (и снижение конкурентоспособности изделия), другие прибегают к «маркетинговым



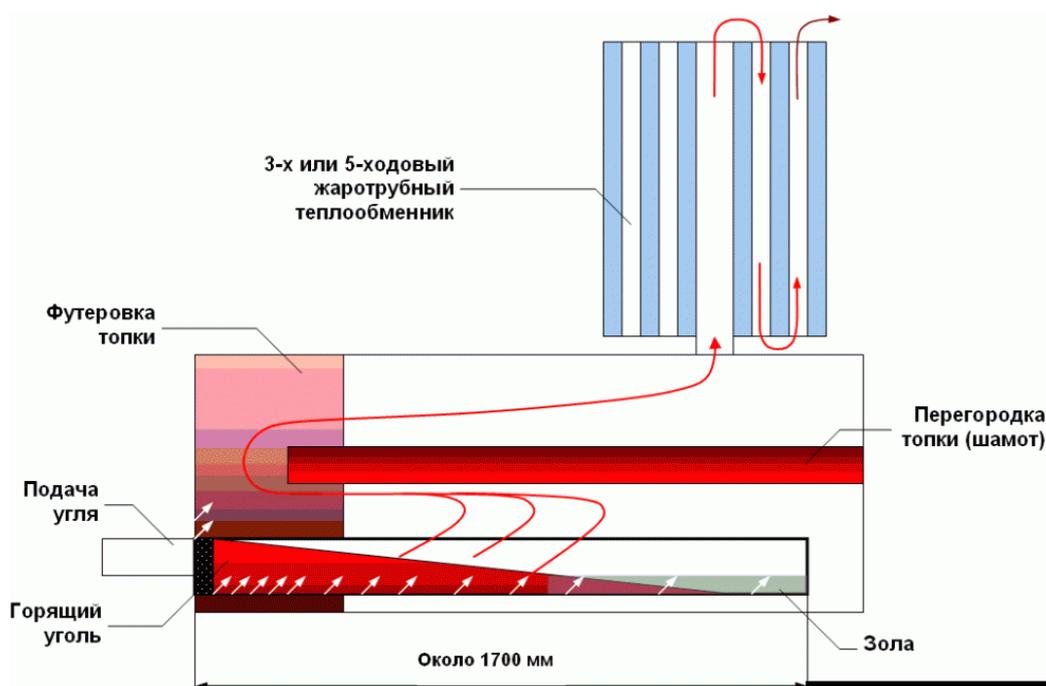
компромиссам», используя в котле неэффективные технические решения. Компания Терморобот идет путем сохранения «промышленных» способов сжигания угля, даже если это повышает цену.

В чем недостаток «экономичных» решений? Отсутствие футеровки и малые размеры топки приводят к следующему эффекту: твердая частичка угля или пиролизный газ, только начав гореть, тут же касается холодных стенок теплообменника или водоохлаждаемой топки, остывает ниже 800°C , горение прекращается, и частичка выбрасывается в виде сажи или угарного газа. Это уменьшает КПД (сгорает не весь уголь), и резко ухудшаются экологические показатели. Так горят бытовые печи.

Топка котлов Терморобот футерована. В котле ТР-150 шамотным кирпичом выложена вся полость топки. Уголь загорается в ее задней части топки, а выход газов в теплообменник происходит в передней части. Газы идут около 2 м вдоль раскаленного до $900\text{--}1100^{\circ}\text{C}$ купола топки, в поток газов при этом подается вторичный воздух, богатый кислородом. Объем воздушной полости топки ТР-150 составляет $0,18\text{ м}^3$.

В котле ТР-300 выделение тепла вдвое больше, для достижения той же температуры сплошная футеровка не требуется (повышение температуры более $1\ 200\text{--}1\ 500^{\circ}\text{C}$ нежелательно, так как начинается плавление золы, шлакообразование). Кроме того, масса подаваемого угля в котле ТР-300 вдвое больше, чем в ТР-150, и подаваемый холодный уголь разгорается дольше, ближе к середине топки, поэтому движение газов там организовано иначе.

Объем топки $0,33\text{ м}^3$ (это высокий показатель), она разделена пополам сплошной шамотной перегородкой (фото 2). Перегородка начинается в передней части топки и доходит почти до ее задней части (см. на схеме вид сбоку).



Первичный воздух из сопел горелки продувается сквозь уголь, горячие газы двигаются вдоль раскаленной перегородки, разворачиваются в футерованной задней части топки и снова идут через всю топку (2 хода газа). В заднюю часть топки подается точно сбалансированное количество вторичного воздуха (белые стрелки на схеме). Общая длина пути горящих газов составляет $2,5\text{--}3\text{ м}$. Центральные трубы теплообменника имеют диаметр около

100 мм , проходя по ним, дымовые газы остывают с $1\ 100$ до 800°C (не ниже), то есть, на всем пути горение продолжается, получается еще более 1 м пути для дожига газов.

Третье необходимое условие полного сгорания угля — соблюдение точного баланса сжигаемого угля и кислорода, соотношение определяется химическими реакциями горения. Если воздуха мало, сгорание будет неполным; если количество воздуха избыточное, много тепла уносится с дымогазами и падает КПД котла. Подача должна быть сбалансирована не только в среднем по циклу, а в каждую секунду. Это сложная задача, которая может быть решена только в полностью автоматических котлах.

В котле ТР-150 подача угля в топку осуществляется циклически (цикл подачи 1 минута, длительность подачи $0,5\text{--}8$ секунд в зависимости от текущей мощности котла), таким образом, разовая подача угля за цикл — $50\text{--}500\text{ г}$. Порция угля нагревается, и в течение $15\text{--}20$ секунд происходит интенсивная газификация (пиролиз) угля. В это время подача воздуха должна быть пропорционально

увеличена. За это отвечает контроллер, который в зависимости от нужной мощности вычисляет необходимую длительность подачи угля и время работы вентилятора и дымососа.

В простых котлах вентиляторы и дымососы работают постоянно (обеспечивая только грубый усредненный баланс). В котлах ТР-150 используется ключевой режим управления воздухом (двигатели подачи воздуха включаются на определенное время, зависящее от массы поданного угля). В котлах ТР-300 применено частотное регулирование вентилятора и дымососа, обеспечивающее точный баланс угля и воздуха в каждую секунду.

Чем меньше разовая порция подаваемого угля, тем точнее баланс и легче обеспечить полное сжигание пиролизных газов. Идеальный случай — постоянная равномерная подача топлива, поэтому в котле ТР-300 применен механизм подачи угля с малооборотным мотор-редуктором, подача идет в 3 раза медленнее, чем в котле ТР-150 (на максимальной мощности работы котла — почти непрерывно), это обеспечивает очень точный баланс.

Для идеального сжигания угля нужно учитывать его химический состав, так как свойства угля сильно различаются в зависимости от марки и даже от месторождения. Любой уголь состоит из твердых веществ (кокс) и летучих компонентов, но их соотношение различно. Так, количество летучих компонентов составляет от 4–5% (в антраците) до 45–55% (в бурых углях) массы угля. Это одна из причин, почему универсальные угольные автоматы появляются только сейчас, когда стали доступны микропроцессорные блоки автоматики. Серийные котловые контроллеры, производимые в Европе, рассчитаны на бурые угли, распространенные в том регионе. Создание «всеядного» автоматического котла Терморобот потребовало разработки собственного контроллера с очень широкими диапазонами регулировки параметров горения. Также потребовались эксперименты по сжиганию углей основных угольных бассейнов (Кузбасский, Минусинский, Якутский; дальневосточные и казахстанские угли). Импортные аналоги рассчитаны, как правило, на определенный (зачастую, малодоступный в России) уголь, а мелкие российские разработки ограничиваются «местным» углем.

При централизованном снабжении социальных объектов поставляется, как правило, совсем не тот уголь, который годится для котлов-автоматов, а самый дешевый уголь ДР, БР, либо не сортовой мелкий уголь фракции МСШ (0–25 мм), а перестроить котел на другой уголь обычно нельзя. Причина ненастраиваемости котлов — в их «экономной» упрощенной конструкции, когда горение кокса и газов происходит в одной компактной зоне, а оптимальные условия сжигания должны быть различными. Чтобы обеспечить полное сгорание, нужно геометрически разнести зоны горения газов и кокса, и оптимизировать их сжигание независимо.



В Термороботе горение коксовой части происходит в линейной горелке (фото), газов — в раскаленном объеме топки, а теплообмен — в отдельном жаротрубном теплообменнике.

Как и в случае топки, важен размер горелки. Горелка Терморобота имеет площадь зеркала горения $0,44 \text{ м}^2$, что позволяет расположить весь горящий уголь тонким легко продуваемым слоем (задача — обеспечить достаточное количество кислорода во всем объеме горения). Пространственная плотность сопел (их более 100) соответствует интенсивности горения угля в той или иной зоне горелки при номинальной мощности (дуем именно туда, где горит). При малой мощности горение сосредоточено в первой половине горелки, поэтому подачу воздуха к соплам второй части горелки можно регулировать при помощи специальной заслонки, доступной на работающем котле.

Внутри горелки расположен водоохлаждаемый шнек, который при подаче угля ворошит горящий уголь (у котла ТР-150 это происходит каждую минуту, у котла ТР-300 практически непрерывно). Это не позволяет золе спекаться и образовывать зоны, обедненные воздухом, разравнивает слой, удаляет золу из зоны горения.

Вторая заслонка в широком диапазоне изменяет соотношение подаваемого в топку первичного и вторичного воздуха, что позволяет настраивать котел на полное сжигание практически любой марки угля (Т, Д, Б, СС).