

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух при сжигании биомассы

А.С. Пилипчук, главный специалист Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь

Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух производится в соответствии с **ТКП 17.08-01-2006** «Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. **Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт**», утвержденном и введенном в действие с 01 мая 2006 г. постановлением Минприроды №2/10 от 28.02.2006 г.

Сжигание топлива в котлах теплопроизводительностью более 25 МВт регламентируется **ТКП 17.08-04-2006** «Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. **Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью более 25 МВт**», утвержденном и введенном в действие с 01 сентября 2006 г. постановлением Минприроды №3-Т от 28.06.2006 г.

Таким образом, в официальных технических нормативных правовых актах закреплена юридическая и техническая возможность расчета выбросов загрязняющих веществ сжигания **следующих многочисленных видов биомассы:**

| Наименование топлива | Марка или вид | Состав рабочей массы топлива, % | | | | | | | Низшая теплота сгорания МДж/кг | Объемы дымовых газов нм ³ /кг при α=1,4, t=0°C, P=101,3 кПа | |
|---|--|---------------------------------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|--|-----------------|
| | | W_t^r | A^r | S_{o+k}^r | C^r | H^r | N^r | O^r | | Q_i^r | $V_{dry}^{1,4}$ |
| Отходы древесные для топливных нужд | Кора, кородревесные остатки | 40 | 3,5 | 0,1 | 33,75 | 3,62 | 0,49 | 18,54 | 11,56 | 4,66 | 5,63 |
| | Щепа из малоплотной древесины (ель, сосна, тополь, липа, осина, ива) | 40 | 3 | 0,1 | 34,04 | 3,66 | 0,49 | 18,71 | 11,68 | 4,70 | 5,68 |
| | Щепа из среднеплотной древесины (береза, ольха, орех, дуб, клен) | 40 | 3 | 0,1 | 33,62 | 3,64 | 0,49 | 19,15 | 11,48 | 4,62 | 5,60 |
| | Древесные отходы, обрезки | 40 | 0,6 | 0,05 | 32,77 | 3,69 | 0,36 | 22,53 | 10,90 | 4,39 | 5,37 |
| Топливо энергетическое из быстрорастущей древесины для топливных нужд | | 40 | 2,7 | 0,0 | 27,9 | 3,4 | 0,5 | 25,5 | 10,55 | 3,57 | 4,50 |
| Древесина дровяная для топливных нужд | Хвойные | 40 | 0,6 | 0,05 | 30,8 | 3,65 | 0,36 | 24,54 | 10,01 | 4,05 | 5,02 |
| | Лиственные малоплотные | 40 | 0,6 | 0,05 | 31,01 | 3,76 | 0,36 | 24,22 | 10,22 | 4,13 | 5,10 |
| | Лиственные среднеплотные | 40 | 0,6 | 0,05 | 31,96 | 3,61 | 0,36 | 23,42 | 10,47 | 4,23 | 5,20 |
| | Смешанные | 40 | 0,6 | 0,05 | 31,21 | 3,68 | 0,36 | 24,1 | 10,22 | 4,13 | 5,10 |
| Древесные стружки опилки, для топливных нужд | | 40 | 0,6 | 0,05 | 31,52 | 3,65 | 0,36 | 23,82 | 10,32 | 4,17 | 5,14 |
| Костра для топливных нужд | | 15 | 2,5 | 0,15 | 42,36 | 4,86 | 0,49 | 34,64 | 14,49 | 5,49 | 6,31 |
| Отходы сельскохозяйственного производства для топливных нужд | | 15 | 3 | 0,1 | 41,14 | 4,99 | 0,49 | 35,28 | 14,15 | 5,35 | 6,18 |

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух могут быть рассчитаны по одной из двух формул:

$$\dot{I}_j = c_j \cdot B_s \cdot V_{dry}^{1,4} \cdot 10^{-3} \quad M_j = B_s \cdot Q_i^r \cdot K_{yi} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3$$

B_s – расчетный расход топлива, рассчитываемый по формуле:

$$B_s = \frac{100 \cdot N}{Q_i^r \cdot \eta} \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right)$$

Подстановка данного выражения приводит первые формулы к следующему виду:

$$\dot{I}_j = c_j \cdot \frac{100 \cdot N}{Q_i^r \cdot \eta} \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot V_{dry}^{1,4} \cdot 10^{-3} \quad M_j = \frac{100 \cdot N}{\eta} \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot K_{yi} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3$$

Таким образом, четко видна зависимость выбросов загрязняющих веществ от **низшей теплоты сгорания топлива и коэффициента полезного действия** котла. Рассмотрим подробнее, каким образом происходит влияние данных величин на выбросы загрязняющих веществ. Высушивание и пиролиз/газификация являются первыми этапами процесса сгорания твердого топлива, и соответственно при высушивании происходит испарение влаги, что уменьшает температуру в топке, замедляя процесс сжигания топлива. Испарение содержащейся в древесине влаги и последующий нагрев водяного пара требуют значительных затрат энергии, что приводит к падению температуры ниже минимального уровня, требуемого для обеспечения процесса горения. Следовательно, **влажность** является одной из наиболее важных переменных характеристик топлива и **напрямую влияет на низшую теплоту сгорания топлива**.

Влажность древесины зависит от метода ее производства и хранения и выражается по формуле:

$$W = \frac{\rho_w \cdot 112}{\rho_{12}} - 100$$

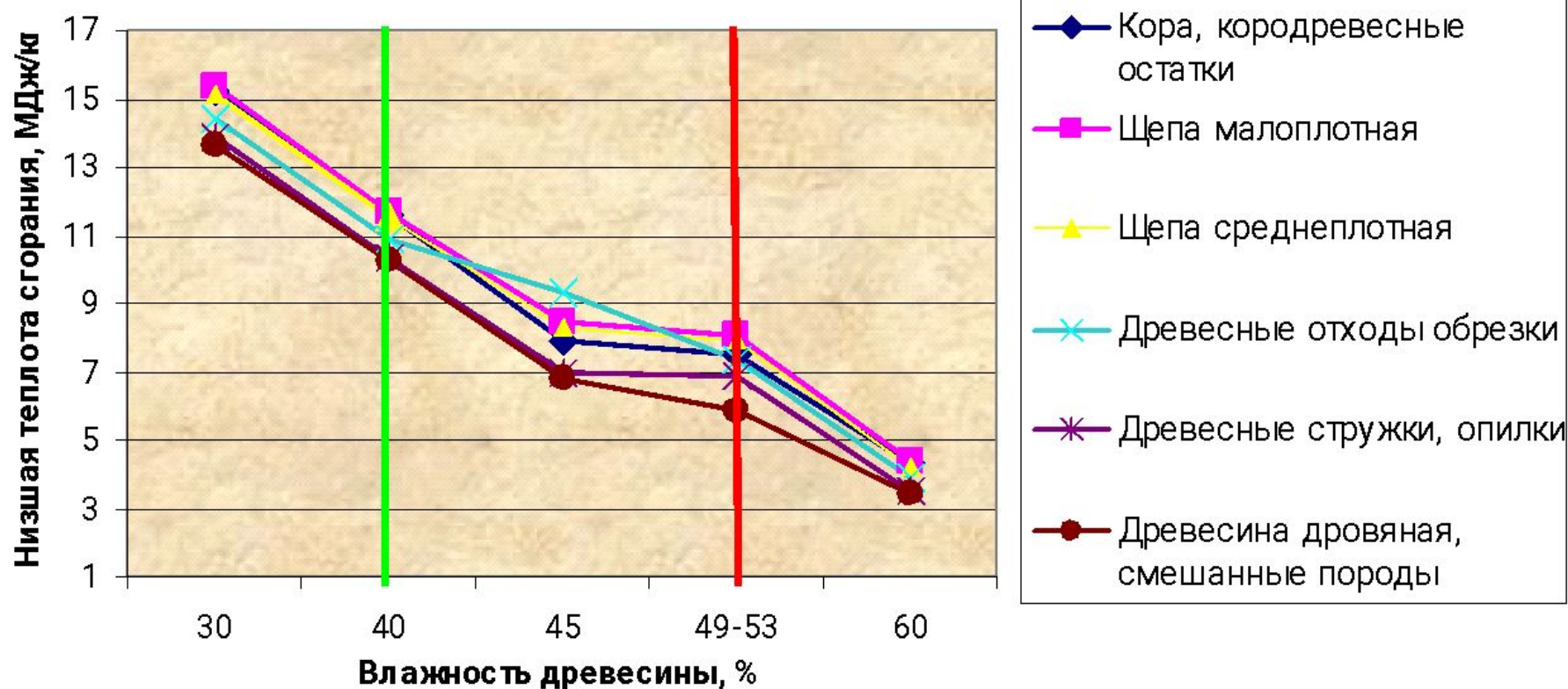
ρ_w – плотность древесины при влажности W, кг/м³,
 ρ_{12} – плотность древесины при нормальной влажности W=12%, кг/м³

Значение коэффициента плотности древесины принимаем с учетом Приложения 2 к Указаниям по заполнению формы государственной статистической отчетности № 4-сн «Отчет об остатках, поступлении и расходе топлива, сборе и использовании отработанных нефтепродуктов»

| Наименование топлива | Влажность древесины, % | Низшая рабочая теплота сгорания, МДж/кг при влажности W | Коэффициент пересчета одного плотного куб. м в тонну натурального топлива | Калорийный эквивалент для пересчета одной тонны натурального топлива в тонну условного топлива | Рассчитанная влажность древесины исходя из значение коэффициента плотности древесины % | Низшая рабочая теплота сгорания МДж/кг при пересчитанной влажности W |
|--|------------------------|---|---|--|--|--|
| Кора, кородревесные остатки | 40 | 11,56 | 0,39 | 0,42 | 51,1 | 7,53 |
| Щепа из малоплотной древесины | 40 | 11,68 | 0,42 | 0,4 | 48,8 | 8,47 |
| Щепа из среднеплотной древесины (береза, ольха, орех, дуб, клен) | 40 | 11,48 | 0,48 | 0,42 | 48,8 | 8,3 |
| Древесные отходы, обрезки | 40 | 10,90 | 0,48 | 0,36 | 44,6 | 9,28 |
| Древесина дровяная, хвойные породы | 40 | 10,01 | 0,65 | 0,38 | 61,5 | 2,77 |
| Древесина дровяная, лиственные породы | 40 | 10,22 | 0,7 | 0,39 | 49,3 | 7,05 |
| Древесина дровяная, смешанные породы | 40 | 10,47 | 0,67 | 0,4 | 52,9 | 5,83 |
| Древесные стружки, опилки | 40 | 10,32 | 0,29 | 0,36 | 49,8 | 6,97 |
| Костра льняная | 15 | 14,49 | 0,18 | 0,5 | 15 | 14,49 |
| Отходы сельскохозяйственного производства, солома | 15 | 14,15 | 0,17 | 0,5 | 15 | 14,15 |

Таким образом, степень воздействия влажности на теплоту сгорания иллюстрирует следующий график, который свидетельствует о **сильном снижении теплоты сгорания при увеличении влажности топлива**

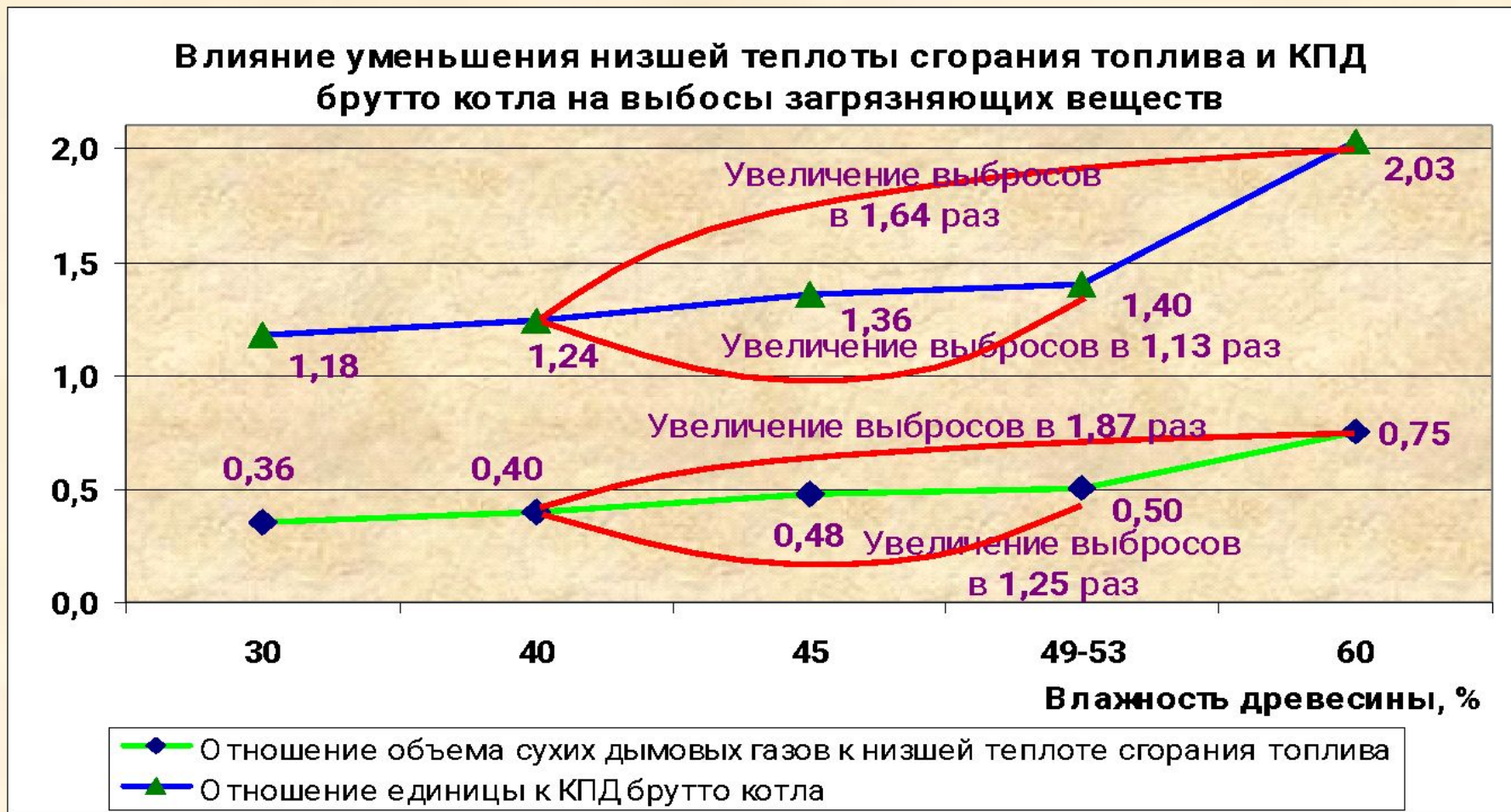
Зависимость теплотворной способности топлива от его влажности



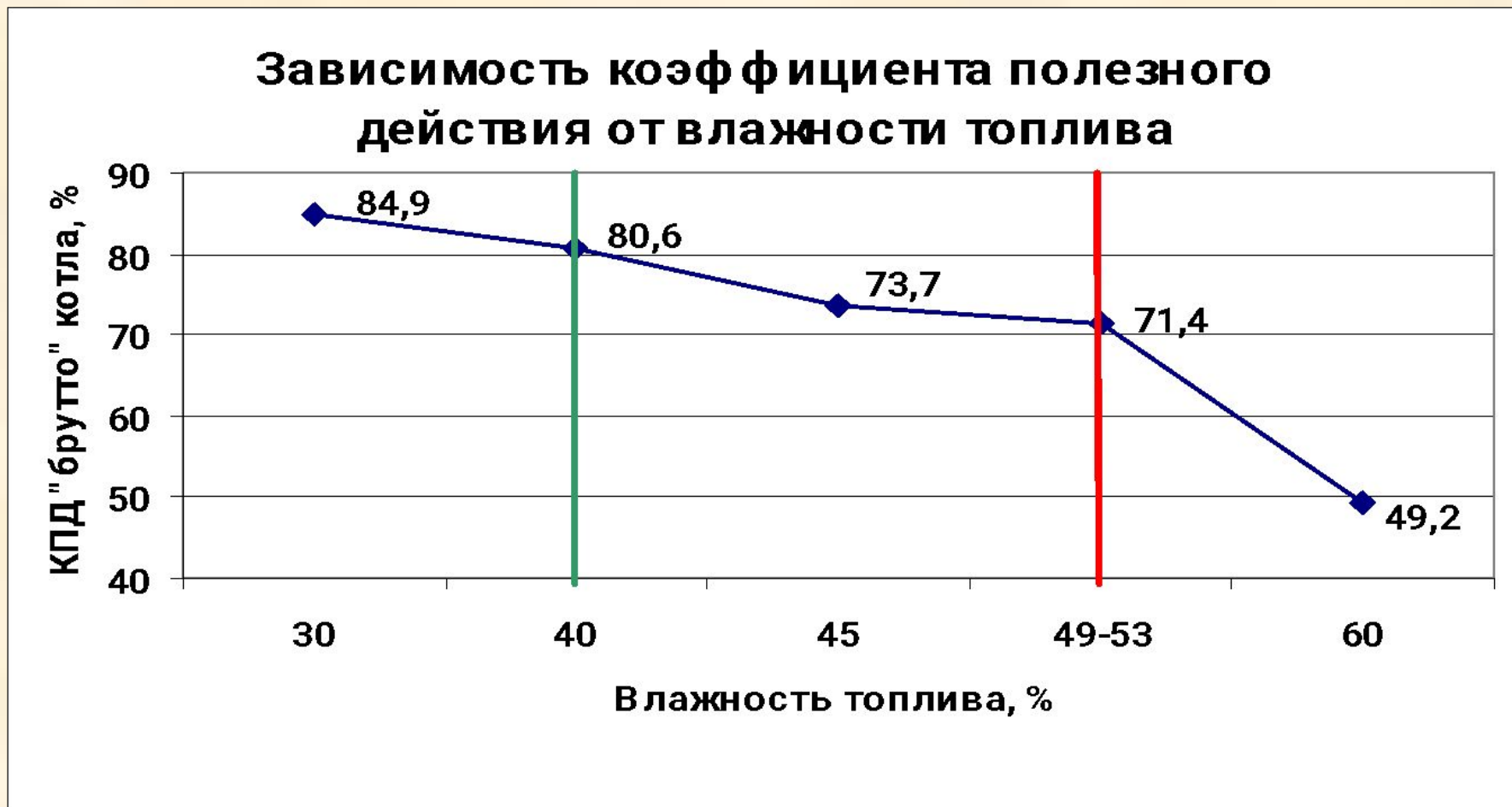
$$\dot{I}_j = c_j \cdot \frac{100 \cdot N}{Q_i^r \eta} \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot V_{dry}^{1,4} \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{V_{dry}^{1,4}}{Q_i^r}$$

При увеличении влажности топлива значение отношения $\frac{V_{dry}^{1,4}}{Q_i^r}$ увеличивается, что иллюстрирует следующий график. Следовательно, **увеличиваются выбросы загрязняющих веществ**

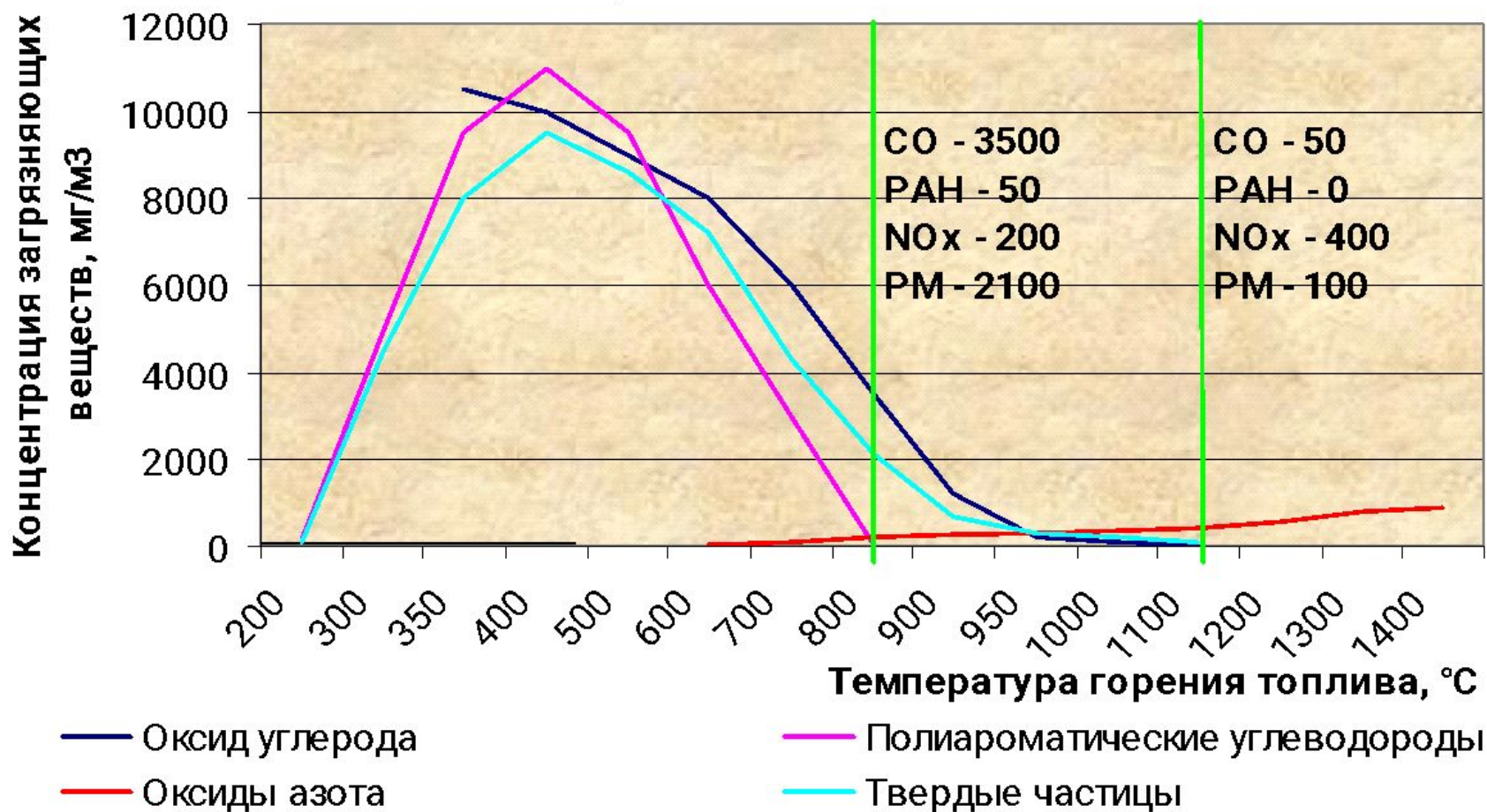


Рассмотрим подробнее, каким образом влажность топлива влияет на коэффициент полезного действия котла. Данную зависимость иллюстрирует следующий график, который показывает уменьшение КПД «брутто» котла при увеличении влажности топлива



Следовательно, при уменьшении КПД «брутто» котла **увеличиваются выбросы загрязняющих веществ**

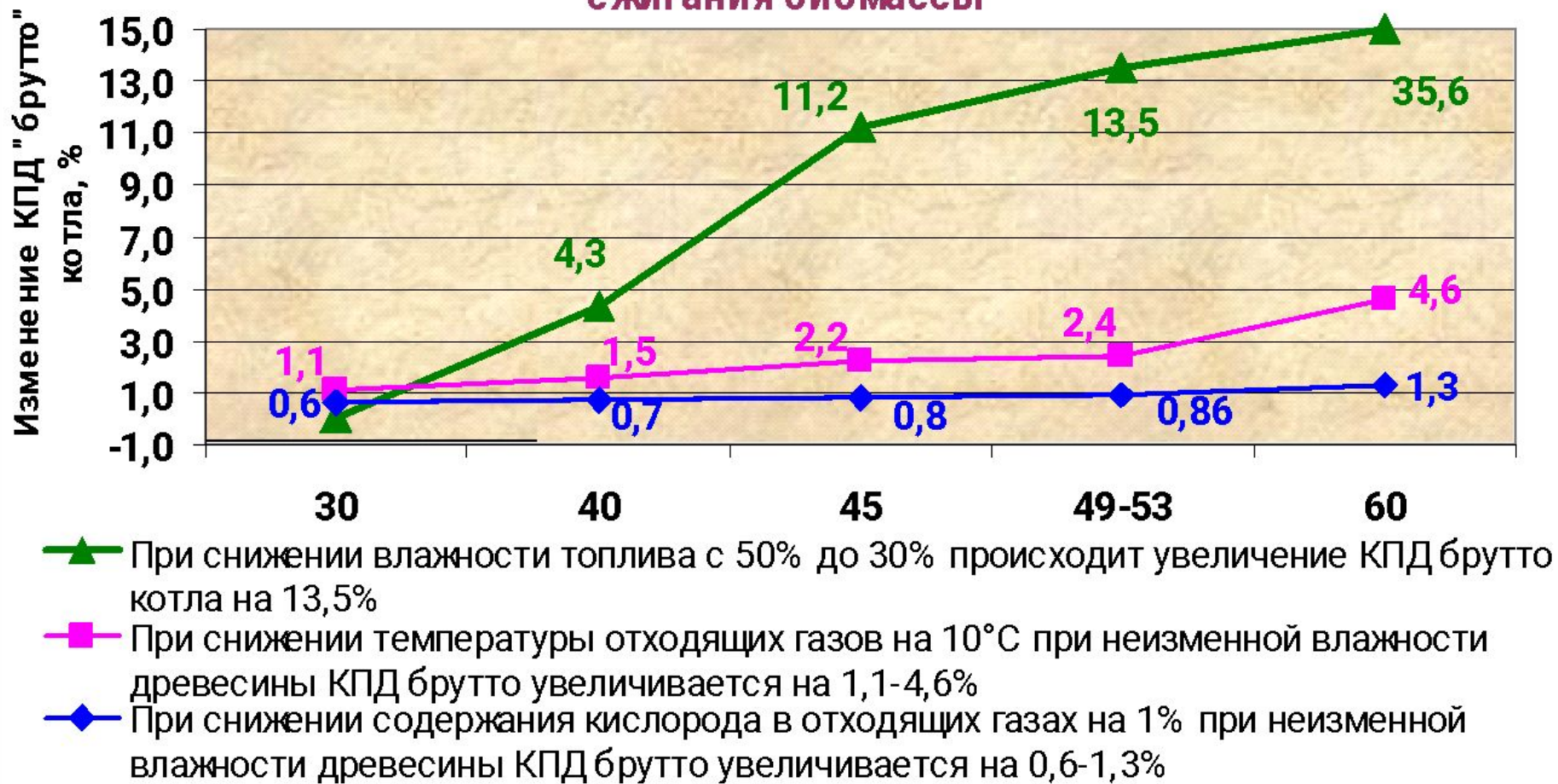
Зависимость выбросов загрязняющих веществ от температуры горения топлива



Температура сгорания биомассы в современных технологических процессах составляет от 800°C до 1100°C

Таким образом, все выбросы, образующиеся в результате сгорания топлива, можно подразделить на выбросы, характеристики которых определяются свойствами топлива и выбросы, характеристики которых определяются технологией сжигания топлива и условиями технологического процесса.

Влияние различных мер на КПД котлов, предназначенных для сжигания биомассы



Вторичные меры по снижению уровня выбросов загрязняющих веществ применяются с целью удаления их из отходящих газов котла, среди которых особое значение имеет удаление твердых частиц, NO_x , SO_2 . Применяемые при этом методы различны как по степени снижения выбросов так и по стоимости. Однако, применение таких мер необходимо для соблюдения **нормативов допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду, нормативов качества окружающей среды, а также технических нормативов** и должно быть направлено на **максимально возможное предотвращение загрязнения окружающей среды.**

В соответствии с постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 19.04.2006 г. № 18 с 1 июля 2006 года на территории Республики Беларусь введены в действие государственные стандарты:

СТБ 1626.1-2006 «Установки котельные. Установки, работающие на газообразном, жидком и твердом топливе. Нормы выбросов загрязняющих веществ»;

СТБ 1626.2-2006 «Установки котельные. Установки, работающие на биомассе. Нормы выбросов загрязняющих веществ».

Таким образом, с введением в действие СТБ 1626.1 и СТБ 1626.2 реализованы требования об установлении нормативов допустимых выбросов для стационарных источников воздействия на окружающую среду, изложенные в статье 22 Закона Республики Беларусь от 26 ноября 1992 года №1982-XII "Об охране окружающей среды" и статье 23 Закона Республики Беларусь от 15 апреля 1997 года №29-З "Об охране атмосферного воздуха"

**Нормы выбросов в атмосферу для котельных установок,
введенных в эксплуатацию до 01.07.2006 г.**

| Теплопроизводительность котельной установки, МВт | Норма выброса, мг/м ³ | | | |
|---|----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | твердых частиц | углерода оксида (CO) | азота оксидов (NO ₂) | серы диоксида (SO ₂) |
| От 0,1 до 0,3 включ. | 1100 | 15000 | Не устанавливается | Не устанавливается |
| Св. 0,3 « 2 « | 400 | 2000 | | |
| « 2 « 25 « | 300 | 1500 | 750 | 800 |
| « 25 « 50 « | 150 | 750 | 600 | 800 |
| « 50 « 100 « | 50 | 500 | 500 | 800 |

**Нормы выбросов в атмосферу для котельных установок,
введенных в эксплуатацию после 01.07.2006 г.**

| Теплопроизводительность котельной установки, МВт | Норма выброса, мг/м ³ | | | |
|---|----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | твердых частиц | углерода оксида (CO) | азота оксидов (NO ₂) | серы диоксида (SO ₂) |
| От 0,1 до 0,3 включ. | 600 | 7500 | Не устанавливается | Не устанавливается |
| Св. 0,3 « 2 « | 300 | 1000 | | |
| « 2 « 25 « | 150 | 750 | 500 | 800 |
| « 25 « 50 « | 100 | 500 | 500 | 600 |
| « 50 « 100 « | 50 | 500 | 400 | 200 |

Выводы:

1. Учитывая создавшееся положение с топливно-энергетическими ресурсами, постоянный рост цен на импортируемое топливо, использование биомассы является одним из основных приоритетных направлений Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь.
2. Сжигание биомассы возможно в любых котлах при соблюдении требований СТБ 1626.2-2006 «Установки котельные. Установки, работающие на биомассе. Нормы выбросов загрязняющих веществ».
3. При сжигании биомассы необходимо применять первичные меры по снижению уровня выбросов загрязняющих веществ, главным из которых является уменьшение уровня влажности топлива.
4. При сжигании биомассы необходимо наладить управление процессом горения и оптимизировать режимы работы котлов с учетом влияния на выбросы слишком низкой температуры горения, слишком коротком времени пребывания топлива в топке, недостатке/избытке кислорода.
5. При сжигании биомассы в существующих котлах необходимо рассмотреть возможность внедрения технологий ступенчатого сжигания и дожигания топлива.

6. При сжигании биомассы необходимо дополнительно применять различное пылегазоочистное оборудование с целью удаления загрязняющих веществ из отходящих газов котла и соблюдения норм их выбросов в атмосферный воздух, установленных в СТБ 1626.2-2006.

7. Сжигание биомассы выгодно, однако биомасса - не бесплатное топливо и цена его будет расти. Поэтому для сжигания биомассы необходимо применять соответствующее оборудование, обеспечивающее более полное сжигание топлива с более высоким коэффициентом полезного действия. Использование старых, переоборудованных котлов повлечет за собой неоправданное увеличение потребления топливных ресурсов из-за низкого КПД их использования.

8. Реконструкция существующих газомазутных котлов приведет к резкому увеличению потребления топливно-энергетических ресурсов из-за снижения КПД таких котлов, в некоторых случаях до 40-50 процентов. Сжигание биомассы в старых твердотопливных котлах, рассчитанных на применение каменного угля (антрацита), резко ухудшает их технико-экономические характеристики и экологическую обстановку в районе размещения таких котельных.

Комментарии:

1. В настоящее время древесное топливо, сжигаемое в котлах, имеет влажность более 50% с коэффициентом избытка воздуха более 3, что больше похоже на утилизацию топлива как отходов, чем на эффективное использование топлива для получения тепловой/электрической энергии.
2. Древесное топливо характеризуется неоднородностью и непостоянством физико-механических характеристик, которые серьезно зависят от влажности. Обезвоженная древесина (влажность менее 12%) отличается химической стабильностью органической массы, стабильной теплотворной способностью, высоким содержанием летучих веществ (80-85%).
3. Для эффективного использования топлива необходима соответствующая его подготовка – сушка, измельчение, гранулирование, что более чем в 2,5 раза повысит его низшую теплоту сгорания, более чем на 13,5% увеличит КПД брутто котельной установки, более чем в 1,5 раза снизит расход условного топлива, более чем в 1,4 раза снизит выбросы загрязняющих веществ.
4. Основным недостатком соответствующей подготовки топлива является серьезно повышающаяся стоимость топлива, и, соответственно, себестоимость произведенной энергии, что связано с достаточно сложной и энергоемкой технологией процессов сушки, измельчения, прессования. Кроме того, существенно повышает стоимость топлива высокая цена импортного оборудования (более 2 млн. Евро), не имеющего отечественных аналогов. Таким образом, наиболее целесообразным и эффективным с точки зрения снижения затрат на производство топлива, является использование импортного оборудования минимальной производительности 4,5 т топлива в час, что соответствует потребности в сырье 10 скл. м³/ч (номинальная производительность Осиповичской мини-ТЭЦ).
5. Качество используемого древесного топлива достигается за счет дополнительных вложений, что увеличивает его себестоимость, однако высокая себестоимость топлива компенсируется значительным увеличением его удельной теплоты сгорания и КПД брутто котла и уменьшением расхода условного топлива и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Спасибо за внимание!

Пилипчук Андрей Степанович
тел. 200-73-84