

Оптимизация сжигания древесного топлива для уменьшения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух

А.В. Нижников*, В.Е. Савенок**, Н.А. Ковалевская***

*Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета

**Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»

***Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова»

Одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха являются объекты теплоэнергетики. От конструкции топливосжигающей установки и вида сжигаемого топлива зависят объем выбросов загрязняющих веществ и их качественный состав. Негативным аспектом сжигания древесного топлива в топливосжигающих установках выступает значительный объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Цель статьи – разработка рекомендаций, направленных на снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух при сжигании древесного топлива в топливосжигающих установках.

Материал и методы. Материалами исследования были значения выбросов загрязняющих веществ, полученные по результатам производственного аналитического контроля на топливосжигающих установках (котельных установках) объектов жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) Витебской области за период их эксплуатации в 2011–2017 гг.

Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды разработало и ввело в действие технические нормативные правовые акты (ТНПА), регламентирующие экологические аспекты использования местных видов топлива в котельных установках. Применялся сравнительно-сопоставительный метод исследования.

Результаты и их обсуждение. Необходимым условием использования древесины в качестве топлива является ее полное сгорание. Наиболее важные характеристики процесса сжигания топлива, вызывающие неполное сгорание топлива и, соответственно, влияющие на выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух: вид топлива; влажность топлива; распределение топлива; коэффициент избытка воздуха; предварительный подогрев воздуха; распределение воздуха; температура горения; механизмы теплопередачи; теплообмен; аккумуляция теплоты, изоляция. Оптимизация этих переменных позволяет снизить уровень всех выбросов, вызываемых неполным сгоранием топлива.

В качестве рекомендаций по снижению выбросов загрязняющих веществ при сжигании древесного топлива предлагается снизить влажность сжигаемой древесины, улучшить изоляцию топочной камеры, установить золоуловители, применять эффективные методы управления технологическими процессами.

Заключение. По результатам проведенных исследований установлено, что сжигание древесного топлива ведет к увеличению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и негативно сказывается на экологической обстановке в районе эксплуатации топливосжигающих установок, работающих на древесном топливе. Предложенные нами организационные и технические мероприятия не способны полностью решить проблему снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Кардинальным предложением, на наш взгляд, обеспечивающим экологически чистое производство тепла, является переоборудование котельных установок на электропривод после ввода в строй атомной электростанции.

Ключевые слова: выбросы, древесное топливо, загрязнение, норма, рекомендации, котельные установки.

Optimization of Burning Wood Fuel to Reduce Pollutant Emissions into the Atmospheric Air

A.V. Nizhnikov, V.E. Savenok**, N.A. Kovalevskaya***

*Educational Establishment «International State Ecological A.D. Sakharov Institute» of Belarusian State University

**Educational Establishment «Vitebsk State Technological University»

***Educational Establishment «Vitebsk State P.M. Masherov University»

One of the main sources of the atmospheric air pollution is objects of heat power engineering. The volume of pollutant emissions and their quality composition depend on the structure of the fuel burning plant and the type of the burned fuel. The negative aspect

of wood fuel burning in fuel burning plants is considerable amount of pollutant emissions into the atmospheric air.

The purpose of the work was development of guidelines aimed at the reduction of the atmospheric air pollutant emissions during burning wood fuel in fuel burning plants.

Material and methods. The research was based on the indications of pollutant emissions obtained during production analytical control at fuel burning plants (boiler houses) of objects of the Department of Housing and Utilities (DHU) of Vitebsk Region during their operation in 2011–2017.

The Ministry of Natural Resources worked out and introduced technical normative legal acts (TNLA) which regulate ecological aspects of using local types of fuel at fuel burning plants.

Findings and their discussion. The necessary condition for using wood as a fuel is its complete burning down, The most important characteristics of the process of fuel burning, which cause incomplete burning down and thus influence atmospheric air pollutant emissions, are fuel type, fuel humidity, fuel distribution, air excess coefficient, preliminary air heating, air distribution, temperature of burning, heat transfer mechanisms, heat exchange, heat accumulation, isolation. Optimization of these variables makes it possible to reduce emission level which is caused by incomplete fuel burning down.

The following is recommended to reduce pollutant emissions during wood fuel burning: to reduce the humidity of the burning wood, to improve isolation of the burning chamber, to install ash traps, to apply efficient methods of technological processes management.

Conclusion. As a result of the conducted research it was found out that wood fuel burning results in the increase in pollutant emissions into the atmospheric air and harms the ecological situation in the area around wood fuel burning plants. The institutional and technological measures which we offer can not fully solve the problem of the reduction of the atmospheric air pollutant emissions. The crucial decision from our point of view, which could provide ecologically clear heat generation, is converting wood fuel burning plants into electric operation after the atomic station is commissioned.

Key words: emissions, wood fuel, pollution, norm, guidelines, wood fuel burning plants.

Объекты теплоэнергетики являются источником загрязнения атмосферного воздуха. От конструкции топливосжигающей установки и вида сжигаемого топлива зависят объем выбросов загрязняющих веществ и их качественный состав. Госпрограммой по энергосбережению на 2015–2020 гг. предусматривается максимально возможное вовлечение в топливный баланс Республики Беларусь местных видов топлива для обеспечения энергетической безопасности и энергетической независимости экономики. Биотопливо (древесное топливо, отходы обработки и переработки древесины) – один из местных видов топлива. Сжигание биотоплива в топливосжигающих установках сопровождается значительными выбросами загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферный воздух.

Цель статьи – разработка рекомендаций, направленных на снижение выбросов ЗВ в атмосферный воздух при сжигании биотоплива в котельных установках.

Материал и методы. Исходными материалами исследования были значения выбросов ЗВ, полученные по результатам производственного аналитического контроля на топливосжигающих установках (котельных установках) объектов жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) Витебской области за период их эксплуатации в 2011–2017 гг. Учитывались также технико-экономические параметры этих котельных установок.

Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды разработало и ввело в действие ТНПА, регламентирующие экологические аспекты использования биотоплива в топливосжигающих установках (котельных установках) [1–3]. Согласно данным ТНПА, показателем эффективности эксплуатации котельных установок являются нормы выбросов ЗВ в отходящих газах, измеренные в $мг/м^3$.

ТНПА [1] устанавливают методику определения значений выбросов ЗВ в атмосферный воздух инструментальными и расчетными методами. Требования распространяются на следующие ЗВ: оксид углерода (CO), оксиды азота (NO , NO_2), диоксид серы (SO_2), твердые частицы. В [1] приведены расчетные характеристики твердых и жидких топлив, состав рабочей массы топлива, низшая теплота сгорания, объемы воздуха и продуктов сгорания топлива.

Согласно [2; 3], измеренные значения выбросов ЗВ приводятся к нормальным условиям (температура $0^\circ C$, давление $101,3 кПа$) и объемному содержанию кислорода в отходящих газах (6%).

При индикации измеренных значений ЗВ в уходящих от котельных установок газах в массовых единицах и при отборе газа на анализ с осушкой концентрация j -го ЗВ определяется [4]:

$$c_j = c_j^{meas} \cdot \frac{273 + t_p}{273} \cdot \frac{101,3}{(P_o \pm \Delta P)} \cdot \frac{\alpha}{1,4}, \text{ мг/м}^3, \quad (1)$$

где c_i^{meas} – измеренная массовая концентрация j -го загрязняющего вещества, $мг/м^3$;

t_p – температура отходящих дымовых газов в момент проведения измерений, °С;

P_b – барометрическое давление воздуха в момент проведения измерений, кПа;

ΔP – избыточное давление (разряжение) газов в месте отбора пробы, кПа;

α – коэффициент избытка воздуха в месте отбора пробы.

ТНПА [2; 3] устанавливают максимальные значения концентраций выбросов ЗВ в уходящих газах котельных установок теплопроизводительностью более 100 кВт.

Результаты и их обсуждение. Проведенный анализ эксплуатации котельных установок объектов жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) Витебской области за более чем 5-летний период позволил установить следующее.

Сжигание древесного топлива представляет собой сложный процесс, характеризуемый различными параметрами, которые прямо или косвенно воздействуют на уровни выбросов ЗВ и степень оптимального использования энергии. Полнота сгорания является основным параметром, определяющим эффективность использования древесины в качестве топлива. Кратко опишем наиболее важные характеристики процесса сжигания топлива, вызывающие неполное сгорание топлива и, соответственно, устанавливающие величину выбросов ЗВ в атмосферный воздух.

– Вид топлива: процесс горения зависит от характеристик топлива, в основном от его состава, тепловых характеристик, плотности, пористости, размеров и площади активной поверхности. Важное значение также имеет степень однородности топлива: увеличение однородности топлива, степень которой повышается с уменьшением размеров его частиц, улучшает эффективность управления технологическим процессом. Фактически же различные виды биотоплива в значительной степени отличаются по плотности в зависимости от их консистенции и породы. Также древесное топливо характеризуется разнообразием фракционного состава – от крупных поленьев и кусков до измельченной щепы, а также переработанных древесных брикетов и гранул.

– Влажность топлива: содержание влаги в различных видах биотоплива изменяется в широком диапазоне в зависимости от различных факторов, включая породу, климатические условия, пору года, и может составлять от 60–65% у свежесрубленной древесины до 10–12% у высушенной и переработанной в гранулы. Влажность топлива является важным фактором, влияющим на теплотворную способность топлива, эффективность сжигания и, соответственно, выбросы в атмосферный воздух.

– Распределение топлива в топочной камере: этот параметр определяет уменьшение или увеличение площади активной поверхности, оказывает воздействие на процесс горения, соответственно понижая или повышая степень реактивности.

– Коэффициент избытка воздуха: применительно к сжиганию биотоплива коэффициент избытка воздуха должен значительно превышать 1 (от 1,5 и выше) с тем, чтобы обеспечить качественное смешение подаваемого воздуха и топлива. По сравнению со стехеометрическим горением в этом случае температура будет значительно ниже, главным образом в результате нагревания избыточного воздуха. Оптимальное смешение воздуха с топливом позволяет использовать более низкие коэффициенты избытка воздуха и повышать температуру горения.

– Предварительный подогрев воздуха: температура в топочной камере может быть значительно повышена путем предварительного подогрева воздуха. Подаваемый воздух допустимо предварительно подогреть посредством теплообмена с топочным газом после его выхода из топочной камеры.

– Распределение воздуха: эффективное распределение воздуха имеет наиболее важное значение для эффективного снижения выбросов ЗВ от неполного сжигания и выбросов оксидов азота. Характер распределения воздуха в топочной камере оказывает воздействие на качество смешения воздуха с топливом и, следовательно, на время пребывания и значение температуры горения, необходимой для полного сгорания.

– Температура горения: процесс сжигания биомассы проходит в несколько этапов, имеет выраженные фазы, такие как испарение воды (при $t = 50\text{--}100^\circ\text{C}$), выход летучих веществ (при $t = 150\text{--}350^\circ\text{C}$), частичное сгорание углей с преобразованием в СО (при $t > 400^\circ\text{C}$), сгорание оксида углерода и летучих веществ ($t = 800\text{--}1000^\circ\text{C}$). На установках с непрерывной подачей топлива эти процессы происходят на различных участках колосниковой решетки, топочной камеры. Наблюдается некоторое перекрытие этапов

горения. На установках периодического действия, при сжигании частиц больших размеров, степень перекрытия этапов горения значительно больше. Факторами, осложняющими технологический процесс, являются влажность и состав топлива, непрерывно изменяющиеся в зависимости от степени выгорания топлива. При этом изменяется температура горения. Адиабатическая температура горения повышается по мере сгорания топлива при постоянном коэффициенте избытка воздуха.

– Механизмы теплопередачи: теплообмен может осуществляться посредством теплопроводности, конвекции и излучения теплоты. Для обеспечения низкого уровня выбросов при неполном сгорании топлива необходимо минимизировать потери тепла в топочной камере.

– Теплообмен: эффективный теплообмен важен для получения высокого теплового коэффициента полезного действия. Необходимая интенсивность теплообмена достигается посредством эффективного размещения теплообменных поверхностей, через которые затем протекает нагреваемая котлом вода.

– Аккумуляция теплоты, изоляция. Значительное количество теплоты аккумулируется в стенках топочной камеры, забирающих теплоту из объема топочной камеры на первоначальном этапе процесса горения. Передача тепла происходит через стенки топочной камеры. Соответственно на начальном этапе процесса горения может наблюдаться высокий уровень выбросов от неполного сгорания.

Перечисленные выше характеристики связаны друг с другом. Их оптимизация (рационализация) помогает снизить уровень всех выбросов ЗВ, вызываемых неполным сгоранием топлива. Данные характеристики следует учитывать при проектировании и эксплуатации любых установок, работающих на биотопливе. На основе анализа приведенных выше характеристик можно сказать, что конструкция установки для сжигания топлива оказывает значительное воздействие на процесс горения, определяемое конструкцией и принципом работы топочной камеры, выбором материалов и возможностями управления технологическими процессами. Также важное значение имеют проблемы, связанные с использованием низкокачественного дешевого древесного топлива, что приводит к нарушению процессов сжигания и дополнительным выбросам в атмосферный воздух.

В настоящее время качество использования биотоплива оставляет желать лучшего, так как оно сжигается на минимально модернизированном оборудовании, причем зачастую устаревшем и имеющем очень низкий коэффициент полезного действия. Предприятиями, выпускающими в стране твердотопливные котлы, являются завод отопительного оборудования (г. Минск), завод «Коммунальник» (г. Гомель), завод «Сельмаш» (г. Мозырь) и другие. Данное оборудование этих предприятий имеет главный недостаток – в твердотопливных котлах трудно управлять процессами горения топлива, точность поддержания управляемых параметров невысока. Поэтому можно утверждать, что возможности эксплуатирующих организаций по снижению выбросов ЗВ от котельных установок, работающих на древесном топливе, ограничены. В качестве рекомендаций для подобных организаций предлагаем сделать акцент на виде сжигаемой древесины и ее влажности.

Более сухая древесина обладает лучшей теплотворной способностью, а главное, при ее сжигании уменьшаются выбросы ЗВ. Однако в этом случае эксплуатирующие организации несут дополнительные затраты на сушку древесины.

Кроме того, можно предложить обратить внимание на изоляцию топочной камеры. Улучшить изоляцию топочной камеры допустимо посредством увеличения толщины изоляционного слоя или использования материала с лучшими изоляционными характеристиками (но внесение изменений в конструкцию неспециалистами чревато). При этом следует определить целесообразность применения изоляции, которая может занять часть свободного пространства рабочего помещения и требует дополнительных затрат.

Установка золоуловителей для улавливания взвешенных частиц и непрогоревших остатков топлива как наименее затратный при приемлемом уровне эффективности способ снижения выбросов является доступной для большинства эксплуатирующих организаций. Однако даже этот способ, несмотря на его доступность, нельзя применить на некоторых устаревших котельных.

Несомненно, что более прогрессивные методы управления технологическими процессами при сжигании биомассы также способствуют минимизации уровня выбросов ЗВ и помогают оптимизировать тепловой коэффициент полезного действия. Существуют различные методы управления процессами сжигания топлива. Данные методы предполагают измерение и контроль главных параметров (температуры, состава уходящих газов, содержания кислорода), причем результаты измерений и

контроля передаются на контроллер для последующей регулировки количества подаваемого воздуха, а также его распределения в топочной камере, и др.

Заключение. Установлено, что сжигание древесного топлива ведет к увеличению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и негативно сказывается на состоянии окружающей среды в местах эксплуатации топливосжигающих установок, работающих на биотопливе.

Предложенные нами организационные и технические мероприятия не способны полностью решить проблему уменьшения выбросов ЗВ в атмосферный воздух. Ведь помимо чисто технических проблем в эксплуатирующихся организациях районного уровня имеют место отсутствие высококвалифицированных кадров; низкоэффективное традиционное, минимально модернизированное оборудование; отсутствие собственных, инвестиционных, кредитных финансовых средств. Необходимо также отметить, что местные органы власти не оказывают должного содействия организациям ЖКХ в решении этой проблемы.

Кардинальным предложением, на наш взгляд, обеспечивающим экологически чистое производство тепла, является переоборудование котельных установок на электропривод после ввода в строй Островецкой атомной электростанции в Гродненской области.

ЛИТЕРАТУРА

1. ТКП 17.08-01-2006 (02120). Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт. – Минск: Минприроды, 2006. – 46 с.
2. СТБ 1626.2-2006. Установки котельные. Установки, работающие на биомассе. Нормы выбросов загрязняющих веществ. – Минск: Госстандарт, 2006 – 7 с.
3. ЭкоНип 17.01.06-001-2017. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности. – Минск: Минприроды, 2017. – 139 с.
4. Савенок, В.Е. Экологические аспекты использования местных видов топлива / В.Е. Савенок, А.В. Нижников // Промышленная безопасность. – 2018. – № 4. – С. 33–36.

REFERENCES

1. *TKP 17.08-01-2006 (02120). Okhrana okruzhayushchei sredi i prirodopolzovaniye. Atmosfera. Vybrosov zagriaznyayushchikh veshchestv v atmosferni vozdukh. Poriadok opredeleniya vybrosov pri szhiganii topliva v kotlakh teploproduzvoditel'nostyu do 25 MVt* [TKP 17.08-01-2006 (02120). Environmental Protection and Nature Use, Atmosphere. Pollutant Emissions into the Atmospheric Air. Order of Emission Identification during Burning Fuel in Burning Plants with the Heat Generation Capacity of up to 25 MWatt], Minsk: Ministry of Natural Resources, 2006, 46 p.
2. *STB 1626.2-2006. Ustanovki kotelniye. Ustanovki, rabotayushchiye na biomasse. Normi vybrosov zagriaznyayushchikh veshchestv.* [STB 1626.2-2006. Fuel Burning Plants. Biomass Burning Plants. Pollutant Emission Norms], Minsk: Gosstandart, 2006, 7 p.
3. *EcoNip 17.01.06-001-2017. Okhrana okruzhayushchei sredi i prirodopolzovaniye. Trebovaniya ekologicheskoi bezopasnosti* [EcoNip 17.01.06-001-2017. Environmental Protection and Nature Use. Ecological Safety Requirements], Mn.: Minprirodi, 2017, 139 p.
4. Savenok V.E., Nizhnikov A.V. *Promyshlennaya bezopasnost* [Industrial Security], 2018, 4, pp. 33–36.

Поступила в редакцию 20.06.2018

Адрес для корреспонденции: e-mail: natali_lipo@mail.ru – Ковалевская Н.А.