



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 674.08:662.818

В.К. Любов, В.В. Горюнов

Архангельский государственный технический университет

Любов Виктор Константинович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики Архангельского государственного технического университета. Имеет более 170 публикаций в области совершенствования энергохозяйства промышленных предприятий.

Тел.: (8182) 21-61-75



Горюнов Василий Васильевич родился в 1985 г., окончил в 2008 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры промышленной теплоэнергетики АГТУ. Имеет 2 печатные работы в области рационального использования энергетических топлив.

Тел.: (8182) 21-61-75

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЦЕХА
ПО ПРОИЗВОДСТВУ ДРЕВЕСНЫХ ГРАНУЛ**

Проанализированы результаты энергетического обследования основного оборудования и предложены первоочередные мероприятия для комплексного повышения эффективности работы цеха по производству древесных гранул.

Ключевые слова: древесные гранулы, топочная камера, древесные отходы, теплогенератор, эмиссия оксидов азота и оксида углерода, пресс-гранулятор, мельница, коэффициент полезного действия, потери теплоты, барабанная сушилка, газоочистная установка.

Проблема эффективного сжигания древесины, являющейся самым древним видом топлива, до сих пор остается актуальной во всем мире. Это связано с тем, что для энергетических целей используют неделовую древесину и отходы, образующиеся при ее обработке и переработке и не находящие другого применения. Данные отходы относятся к трудносжигаемым топливам ввиду высокой влажности и крайне неоднородного гранулометрического состава. Перспективным направлением облагораживания отходов является их гранулирование или брикетирование. По этому пути пошли страны Скандинавии, Австрия, Германия, Франция, Италия, Канада и др., где гранулы и брикеты используют как в промышленных котельных, ТЭС, так и в быту. В настоящее время отмечается значительный рост выпуска оборудования для производства гранул.

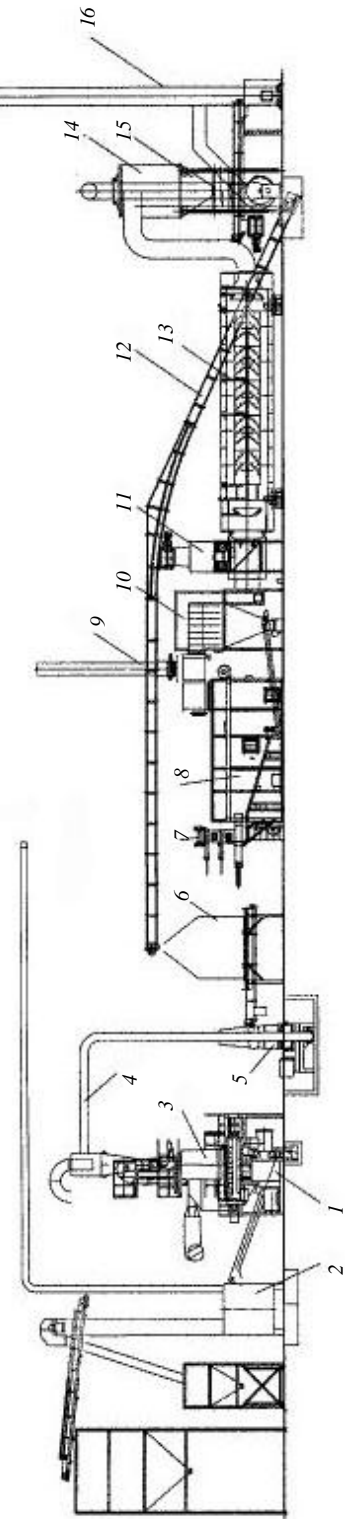
С начала XXI в. интенсивное производство обогороженного древесного топлива началось и в России, так в 2003–2008 гг. оно выросло более чем в 30 раз. Индустрия производства обогороженного древесного топлива в значительной степени ориентирована на экспорт, так как стоимость гранул, произведенных в РФ, составляет примерно 70...80 €/т (2007 г.), в то время как в Западной Европе – 250...300 €/т.

ЗАО «Лесозавод 25» (г. Архангельск) на протяжении многих лет успешно ведет работы по комплексному повышению эффективности энергетического использования некондиционных древесных отходов. В 2008 г. был реализован очередной этап программы комплексного использования древесного сырья, закончен монтаж и запущен в работу цех по производству древесных гранул из отходов лесопильного производства. В цехе смонтированы две линии (А и В) по производству гранул (см. рисунок) диаметром 8 мм, на каждой из них сушильный агент вырабатывается с помощью теплогенерирующих установок 8, работающих на некондиционных древесных отходах и оборудованных наклонно-переталкивающими решетками.

Существуют две схемы включения теплогенераторов в технологический цикл производства гранул: в первой дымовые газы напрямую поступают в отделение сушки, во второй они проходят через теплообменник, а на сушку сырья подается нагретый воздух. В ЗАО «Лесозавод 25» реализована первая схема.

Обе схемы имеют свои достоинства и недостатки. Так, в первой достигается максимальный температурный напор между продуктами сгорания и высушиваемым сырьем, что повышает эффектив-

Технологическая схема линии гранулирования: 1 – пресс-гранулятор; 2 – устройство сортировки гранул; 3 – приемный бункер пресс-гранулятора; 4 – система пневмотранспорта; 5 – мельница; 6 – бункер сухого материала; 7 – приемный бункер теплогенератора; 8 – теплогенерирующая установка; 9 – дымовая труба, используемая при растопке теплогенератора; 10 – золуловитель; 11 – дозировочный бункер высушиваемого сырья; 12 – продольный цепной конвейер; 13 – барабанная сушилка; 14 – циклонный пылеуловитель; 15 – сборный бункер циклонного пылеуловителя; 16 – дымовая труба



ность сушки. Однако высокая температура дымовых газов создает опасность возникновения пожаров. Кроме того, в процессе теплообмена происходит загрязнение высушиваемого материала золовыми частицами, иногда и частицами сажи, что необходимо учитывать, так как некоторые европейские стандарты ограничивают зольность (на сухую массу) обогороженного древесного топлива до $A^d \leq 1,0\%$.

Применение теплообменника для нагрева сушильного агента (воздуха) за счет теплоты продуктов сгорания древесного топлива позволяет устранить опасность возгорания высушиваемого материала и его загрязнения частицами золы и сажи, однако интенсивность сушки резко снижается, так как температура воздуха на входе в сушильную установку обычно не превышает $150\text{ }^\circ\text{C}$ [1].

При проведении энергетического обследования основного оборудования цеха по производству древесных гранул на ЗАО «Лесозавод 25» в работе находились обе линии, их суммарная производительность изменялась в диапазоне $6,0 \dots 6,7$ т/ч. Цех оснащен автоматической системой управления процессами технологической схемы, большая часть электропривода имеет частотное регулирование производительности.

Здание цеха (размер в плане $81,0 \times 29,5$ м) для производства гранул имеет склады топлива (емкость каждого $V \approx 50\text{ м}^3$) и сырья ($V \approx 50\text{ м}^3$). Оба склада оборудованы «живым» дном. Со склада топлива некондиционные древесные отходы цепным конвейером подают в приемные бункера 7 теплогенераторов. Из исходного сырья с помощью вибросита фирмы «Bruks» отделяется крупная фракция, после чего оно транспортируется цепным конвейером в дозировочный бункер 11 ($V \approx 2\text{ м}^3$) сушильных линий. Для обеспечения однородного состава исходного сырья и устранения его зависания бункер оборудован мешалкой с электроприводом. Из бункера сырье дозировочными шнеками подается в смесительные камеры, расположенные перед барабанными сушилками 13.

Топливо с помощью толкателей из вертикального бункера через загрузочное окно, расположенное на фронтальной стене, подается на колосниковую решетку топki теплогенератора. Топочная камера оборудована наклонно-переталкивающей колосниковой решеткой, состоящей из 13 рядов колосников, при этом 6 из них подвижные. Первичный воздух, забираемый из помещения цеха с помощью центробежного вентилятора, который расположен перед фронтальной стеной теплогенератора, поступает под решетку позонно.

Воздух на вторичное дутье также забирается из помещения цеха и с помощью центробежного вентилятора вводится в объем топочной камеры рассредоточено через сопла (12×2 шт.) цилиндрической формы. Сопла расположены на боковых стенах в двух горизонтальных плоскостях (6×2 шт.), находящихся на расстоянии $\approx 0,2$ м, и направлены встречно. Вторичный воздух обеспечивает дожигание горючих компонент топлива и позволяет минимизировать образование оксидов азота. В топочных камерах теплогенераторов реализована двухступенчатая схема сжигания топлива.

Недалеко от выходного окна топки установлены датчики контроля за температурой продуктов сгорания и разрежением в топочной камере. Через выходное окно газы поступают в камеру догорания, где разворачиваются на 90° и движутся в ее нижнюю часть, в которой совершают поворот на 180° и поступают в смесительную камеру. Для подготовки сушильного агента в смесительную камеру с помощью центробежного вентилятора подают воздух, прошедший по охлаждающим «рубашкам» газохода перед барабанной сушилкой и золоуловителя теплогенератора.

При проведении энергетического обследования температура газов на выходе из топок теплогенераторов составляла $1120 \dots 1160^\circ\text{C}$ (см. таблицу), их расход для линий А и Б – соответственно $6062 \dots 6490$ и $6411 \dots 6726 \text{ м}^3/\text{ч}$, температура воздуха, подаваемого в смесительную камеру, – $91 \dots 102^\circ\text{C}$ (более высокие значения для линии Б).

Очаговые остатки с наклонно-переталкивающей колосниковой решетки поступают в канал поперечного транспортера шнекового типа, после которого их подают на поперечный цепной конвейер, расположенный под золоуловителями 10 (батарейные циклоны) теплогенераторов, и транспортируют в сборный бункер.

Стены топочной камеры выполнены из огнеупорной шамотной обмуровки, для обеспечения требуемой полноты выгорания горючих компонент топлива и уменьшения выноса летучей золы схема включает камеру догорания. Система контроля за температурой обмуровки топочных камер отсутствует. К газоходу, подводящему к золоуловителю дымовые газы, разбавленные воздухом, присоединена индивидуальная дымовая труба 9, которую используют при растопке теплогенератора и в аварийных ситуациях. При выходе теплогенератора на нормальный режим работы ее перекрывают заслонкой с гидравлическим приводом.

Очищенный в батарейном золоуловителе 10, оборудованном 49 циклонными элементами, сушильный агент поступает в смесительный участок газохода перед одноходовой сушилкой барабанного типа, где подхватывает влажное сырье и транспортирует его в сушилку 13 (длина 12,6 м, диаметр 2,8 м). Электропривод сушилки имеет частотное регулирование. Для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду сушильная установка снаружи покрыта слоем теплоизоляции (толщина 50 мм) и металлической обшивкой.

При проведении энергетического обследования в топку теплогенераторов подавали древесные отходы, в составе которых преобладала кора (60 %) с добавкой некондиционной щепы (до 40 %). Во всех опытах сжигаемые отходы имели неоднородный гранулометрический состав (средний коэффициент полидисперсности $n = 0,981$; коэффициент, характеризующий крупность состава, $b = 7,004 \cdot 10^{-6}$). Массовая доля, приходящаяся на куски биотоплива размером ≥ 25 мм, составляла более 87 %, влажность отходов на рабочую массу $W_i^r = 47,45$ %, зольность $A^r = 0,88$ %, низшая теплота сгорания $Q_i^r = 9,11$ МДж/кг.

Результаты энергетического обследования линий гранулирования

Показатель	Обозначение, размерность	Линия А		Линия Б	
		1	2	5	6
Производительность теплогенератора	Q , МВт	3,48	3,43	3,64	3,80
Влажность топлива	W_i^r , %	47,45	47,45	47,45	47,45
Зольность топлива	A^r , %	0,88	0,88	0,88	0,88
Низшая теплота сгорания топлива	Q_{is}^r , МДж/кг	9,11	9,11	9,11	9,11
Температура первичного и вторичного воздуха	t_v , °С	18	18	18	18
Температура газов на выходе из топки	$\vartheta_{г}$, °С	1187	1196	1160	1172
Потери теплоты:					
с химнедожогом	q_3 , %	0,69	0,80	0,40	0,93
с мехнедожогом	q_4 , %	0,23	0,23	0,23	0,23
от наружного охлаждения	q_5 , %	1,80	1,80	1,80	1,80
Полный расход биотоплива	B , т/ч	1,410	1,390	1,471	1,542
Эмиссия NO _x	мг/МДж	723	754	777	815
Эмиссия СО	мг/МДж	231	246	131	301
КПД брутто топки теплогенератора	$\eta_{бр}$, %	97,24	97,13	97,53	97,00
Температура газов перед сушилкой	$\vartheta_{суш}$, °С	551	523	533	543
Избыток воздуха в сушильном агенте	$\alpha_{суш}$	3,82	4,12	4,12	4,12
Расход сушильного агента на 1 кг сырья	q_1 , кг	2,42	2,58	2,53	2,50
Разрежение перед сушилкой	$S_{суш}$, Па	750	700	600	650
Сопротивление барабанной сушилки	$\Delta S_{суш}$, Па	390	440	500	470
Температура газов за сушилкой	$\vartheta_{ух}$, °С	74	73	76	79
Избыток воздуха в газах за сушилкой	$\alpha_{ух}$	4,16	4,52	4,29	4,29
Суммарные потери теплоты от наружного охлаждения установки	q_5 , %	2,61	2,62	2,54	2,43
Влажность сырья до и после сушилки	W_i^r , %	55,30/11,81	55,30/11,81	55,30/11,76	55,30/11,76
Зольность сырья до и после сушилки	A^d , %	0,07/0,28	0,07/0,28	0,07/0,28	0,07/0,28
Выход летучих веществ на горючую массу до и после сушилки	V^{daf} , %	84,87/84,34	84,87/84,34	84,87/84,2	84,87/84,2
Низшая теплота сгорания сырья до и после сушилки	Q_i^r , МДж/кг	7,11/16,46	7,11/16,46	7,11/16,47	7,11/16,47
Температура газов после пылеуловителя	$\vartheta_{пу}$, °С	68	67	70	73
Сопротивление пылеуловителя	$\Delta S_{пу}$, кПа	1,51	1,49	1,62	1,64
Удельный расход условного топлива на 1 т гранул	v , кг у.т/т	135,6	136,4	135,9	137,4
Влажность древесных гранул	W_i^r , %		7,58		
Зольность гранул на сухую массу	A^d , %		0,39		
Выход летучих веществ на горючую массу	V^{daf} , %		83,53		
Кажущаяся плотность	ρ_k , г/см ³		1,237		
Низшая теплота сгорания гранул	Q_{is}^r , МДж/кг		17,52		

Примечание: 1–5 – номера опытов.

Исходное сырье для производства гранул имело повышенную влажность $W_i^r = 55,3 \%$, при этом его зольность $A^r = 0,03 \%$, низшая теплота сгорания $Q_i^r = 7,11$ МДж/кг.

Анализ состояния газовых трактов теплогенераторов и сушильных установок показал, что присосы холодного воздуха на участке от смесительного газохода перед сушилкой до сечения на выходе из барабанной сушилки имеют более высокие значения для линии А ($\Delta\alpha = 0,34 \dots 0,42$), чем для линии Б ($\Delta\alpha = 0,17 \dots 0,30$). Аэродинамическое сопротивление сушильных установок: 390...450 Па – для линии А; 460...500 Па – для Б (см. таблицу). Данное различие объясняется большей производительностью теплогенератора линии Б и соответственно большим объемом сушильного агента в данной линии.

Температура газов перед сушильными установками была достаточно большой ($\vartheta_{\text{суш}} = 493 \dots 561$ °С), более высокие значения характерны для линии А (см. таблицу). Расход сушильного агента до смесительного газохода перед сушилкой для линии А составлял 14 457...16 635 $\text{нм}^3/\text{ч}$, для линии Б – 16 147...21 585 $\text{нм}^3/\text{ч}$. Результаты исследования прогрева, воспламенения и горения опилок [2] свидетельствуют о том, что выход летучих веществ начинается при прогреве частиц до температуры 150...170 °С, а при 345 °С скорость выхода летучих имеет максимальное значение. Воспламенение летучих веществ опилок может происходить при температуре ≈ 240 °С, поэтому имеющий место уровень температуры газов (493...561 °С) перед сушильными установками не позволяет обеспечить их пожаробезопасность. Процесс сушки исходного сырья (опилок и стружка) сопровождается выходом летучих веществ из наиболее мелких фракций, что создает постоянную угрозу воспламенения высушиваемого материала. Следует обеспечить режимы работы сушильных установок с температурой газов не более 400 °С.

Полный расход древесных отходов на один теплогенератор при проведении балансовых опытов и суммарной производительности линий 6,0...6,7 т/ч (по гранулам) составлял 1,390...1,542 т/ч и имел более высокие значения для линии Б (см. таблицу). При существующей системе автоматического регулирования режимов работы теплогенераторов расчетный расход организованно подаваемого воздуха $\alpha_{\text{орг}} \approx 1,4$.

Расчетный расход первичного и вторичного воздуха в топках теплогенераторов изменялся в диапазоне 4 738...5 257 $\text{нм}^3/\text{ч}$ и имел более высокие значения для установки Б. При отсутствии поверхностей нагрева в топках теплогенераторов и умеренной влажности топлива процесс его горения при $\alpha_{\text{орг}} \approx 1,4$ сопровождался высоким уровнем температур и интенсивным образованием оксидов азота.

Расчетный расход воздуха в камере смешения теплогенератора составлял 7 800...8 500 $\text{нм}^3/\text{ч}$ при условии, что присосы холодного воздуха в газоход и батарейный золоуловитель имеют близкие к нормативным значения.

В сушильных установках 13 барабанного типа влажность исходного сырья снижалась от 55,3 до 11,81 %, при этом количество испаренной влаги с 1 кг сырья $\Delta W = 0,493$ кг. Расход сушильного агента на 1 кг высушиваемого сырья $q_1 = 2,345 \dots 2,798$ кг, а количество испаренной влаги $\sim 1\ 627$ кг/ч. Объемный расход отработанного сушильного агента с учетом испаренной влаги изменялся в диапазоне 18 381...25 435 $\text{м}^3/\text{ч}$ и имел более высокие значения для установки Б. В процессе сушки материала температура газов снижалась до $\vartheta_{\text{yx}} = 73 \dots 79$ °С (см. таблицу). Расчетный расход отработанного сушильного агента хорошо согласуется с результатами экспериментальных замеров.

Высушенное сырье отработанным сушильным агентом транспортируется в циклонный пылеуловитель 14, где оно отделяется от газов и поступает в сборный бункер 15. Отработанный сушильный агент, температура которого снижается до 69...70 °С, дымососом направляется в индивидуальную трубу 16 (высота 24 м).

Исследование гранулометрического состава высушенного сырья свидетельствует о том, что степень его однородности повышается ($n = 1,481 \dots 1,568$), что объясняется двумя факторами: отделением крупной фракции с помощью вибросортировки и уносом наиболее тонкой фракции в дымовую трубу. Кроме того, в процессе сушки происходит увеличение зольности сырья ($A^d = 0,28$ %) за счет летучей золы, вносимой сушильным агентом в материал, и уменьшение содержания летучих веществ, теряемых материалом в процессе сушки. При этом зольность древесного сырья на сухую массу увеличивалась примерно в 4 раза, это увеличение было бы еще более существенным, если бы циклонный пылеуловитель задерживал частицы летучей золы размером менее 125 мкм.

Повышенный расход первичного и вторичного воздуха в топочные камеры теплогенераторов снижал время пребывания продуктов горения в топочном объеме, однако концентрация оксида углерода имела умеренные значения ($K_{\text{CO}} = 316 \dots 830$ $\text{мг}/\text{м}^3$ при концентрации кислорода $K_{\text{O}_2} = 6$ %) и не превышала допустимых пределов. Оптимизация подачи первичного и вторичного воздуха откроет дополнительные возможности по снижению выбросов оксидов азота и угарного газа.

Потери теплоты с химическим недожогом топлива q_3 в исследованном диапазоне нагрузок составили 0,40...1,45 % (см. таблицу) и не превышали допустимых значений. КПД брутто топочных камер теплогенераторов $\eta_{\text{топ}}$ изменялся в диапазоне 96,48...97,53 %. При определении $\eta_{\text{топ}}$ учитывали потери теплоты от химического и механического недожога, с физической теплотой шлака и провала, а также часть суммарной потери теплоты от наружного охлаждения ($q_5^* \approx 1,8$ %), приходящейся на топочную камеру теплогенератора ($\eta_{\text{топ}} = 100 - q_3 - q_4 - q_5^* - q_6$).

Сопротивление теплогенераторов и элементов сушильных трактов зависит от их нагрузки, характеристик сжигаемого топлива и сырья, поступающего на сушку. При проведении балансовых опытов суммарное

сопротивление теплогенератора с элементами сушильного тракта изменялось в диапазоне 2,53...2,70 кПа. При этом нагрузка дымососов и вентиляторов смесительных камер составляла 100 %, сушильных барабанов – 50 %, вентиляторов первичного и вторичного воздуха – соответственно 60...80 и 60...70 %. Сопротивление отдельных элементов, Па: 520...670 – теплогенератор с батарейным золоуловителем; 390...500 – барабанная сушилка; 1 490...1 640 – циклонный пылеотделитель.

Отсутствие средств контроля за составом газов на выходе из теплогенераторов затрудняет настройку режимов горения в их топочных камерах.

Анализ уровня скоростей сушильного агента показал, что средняя скорость газа по длине барабанной сушилки изменялась в диапазоне $W_r = 1,73...1,98$ м/с; а в газоходе после циклонного пылеотделителя – 13,10...13,70 м/с.

Результаты исследования гранулометрического состава очаговых остатков теплогенераторов и летучей золы, отобранной из дымовой трубы, косвенно свидетельствуют о невысокой сепарационной способности батарейных циклонов. Содержание горючих веществ в летучей золе, отобранной из дымовой трубы, составило $C_{ун}^r = 3,53$ %.

Концентрация твердой фазы в отработанном сушильном агенте после циклонных пылеуловителей – 7,13...8,50 г/м³. При этом расчетная степень очистки газов в пылеуловителях составила 95,48...96,21 % и имела более высокие значения для линии А.

Для обеспечения высокого уровня очистки продуктов сгорания необходимо обеспечить постоянный контроль за плотностью золоуловителей и циклонных пылеотделителей, а также мест присоединения их выпускных устройств к транспортерам.

Анализ условий тепловой работы теплогенераторов и сушильных установок показал, что потери теплоты с уходящими газами, если использовать при их определении подход, принятый для котельных установок, составляют 13,27...15,95 % (с учетом энтальпии водяных паров, выделившихся при сушке сырья). В качестве балансового сечения использовали сечение газохода после сушильной установки, где коэффициент избытка воздуха α_{yx} изменялся в диапазоне 4,16...5,83 (см. таблицу).

Потери теплоты с механической неполнотой сгорания для теплогенераторов $q_4 \approx 0,23$ %. Низкий уровень данной потери объясняется наличием системы позонного распределения воздуха, ступенчатой схемы подачи окислителя и умеренной зольностью древесного топлива, что обеспечило высокую полноту выгорания углеродной основы топлива ($C_{шт}^r = 4,8$ %, $C_{ун}^r = 10,9$ %).

Потери с физической теплотой шлака не превышали $q_6 \leq 0,04$ %.

Для теплогенератора потери теплоты от наружного охлаждения $q_5 \approx 1,80$ %, а для всей установки, включая батарейный циклон, газоходы и барабанную сушилку, $q_5 = 2,43...2,62$ % (см. таблицу). При обработке результатов балансовых опытов потери теплоты от наружного охлаждения установок определяли с учетом температур ограждающих их конструкций и окружающей среды.

КПД брутто теплогенераторов и сушильных установок (с учетом батарейных циклонов и соединительных газоходов), если при его определении использовать метод обратного баланса и подход, принятый для котельных установок, изменялся в диапазоне 79,77...83,16 %.

Если при определении КПД брутто установки, включающей теплогенератор, батарейный циклон, сушильную установку и соединительные газоходы, считать полезно используемой теплоту, затраченную на нагрев древесного сырья и испарение из него влаги, а подведенной теплотой – располагаемую теплоту древесных отходов, поступающих в топку теплогенератора, с учетом их расхода, то КПД брутто такой установки составит 30,93...34,31 %.

Удельный расход условного топлива на выработку 1 т гранул варьировал от 135,56 до 140,16 кг у.т/т гранул (см. таблицу).

Повышенные значения эмиссий оксидов азота ($\Theta_{\text{NO}_x} = 0,708...0,815$ г/МДж) объясняются высокими избытками воздуха в топочных камерах теплогенераторов. Наладка топочного процесса с обеспечением приемлемых значений коэффициентов избытка воздуха позволит снизить эмиссии оксидов азота.

Диапазон изменения эмиссий монооксида углерода при проведении балансовых опытов составил 0,131...0,336 г/МДж, что является допустимым. Однако режимными методами можно снизить выбросы угарного газа и повысить экономичность процесса в целом.

Проведенные исследования показали, что теплогенераторы способны обеспечивать не только номинальную (3,5 МВт), но и более высокую мощность при характеристиках биотоплива, имевших место в период обследования (см. таблицу).

Высушенное сырье (влажность 11,76...11,81 %) из бункеров циклонных пылеотделителей шнековыми питателями подается на поперечный цепной конвейер закрытого типа, с которого поступает на продольный цепной конвейер 12 и транспортируется в бункер сухого материала 6 ($V \sim 80 \text{ м}^3$) с «живым» дном. Далее сухой материал с помощью шнеков подается в бункер ($V \sim 2 \text{ м}^3$) мельницы 5, оборудованный измерителем уровня. При входе в мельницу материал проходит магнитный сепаратор, обеспечивающий удаление металла, и фильтр-ловушку для удаления инородных примесей.

В мельнице, оборудованной сетками (2 шт.) с размером ячеек 6 мм, происходит измельчение материала. Мельница оснащена системой контроля температуры подшипников и температуры в ее камере, которая при проведении обследования составляла 42 °С.

Исходное древесное сырье после сушки ($W^r < 15 \%$) и тонкого измельчения принято называть мукой. Из мельницы древесная мука поступает в систему пневмотранспорта 4, расход воздуха в которой составлял 15 092 $\text{нм}^3/\text{ч}$, его скорость – 28,5 м/с при температуре 34,5 °С. Пневмотранспорт муки осуществляется с помощью вентилятора, а ее отделение от транспортирующего агента производится с помощью циклонов НЕКС 1120, НЕКС 800 и фильтра НЕКЗ×3 фирмы «Хекотек».

Отсепарированная мука с помощью цепного конвейера подается в приемные бункера 3 ($V \sim 1,5 \text{ м}^3$) пресс-грануляторов, оборудованные измерителями уровня. Из приемных бункеров мука шнековыми питателями подается в смесительные камеры, где увлажняется паром. Расход пара зависит от температуры муки и ее влажности. Увлажненная древесная мука поступает в рабочую камеру пресс-гранулятора 1, где она продавливается через радиальные отверстия матрицы с помощью прижимающих роликов (с водяным охлаждением), что приводит к формированию гранул. Выходящие из отверстий матрицы гранулы обламываются с помощью неподвижного ножа, падают вниз и выводятся из пресс-гранулятора.

На выходе из пресса гранулы имеют высокую температуру, поэтому цепным конвейером, оборудованным вентилятором для его очистки, они направляются с помощью элеватора в охлаждающую установку, где происходят физико-химические изменения, в результате которых гранулы приобретают необходимую прочность. В процессе охлаждения снижается их влажность до необходимых значений. Режим охлаждения гранул определяет их прочностные свойства. Обычно из охлаждающей установки вместе с охлаждающим агентом выводится и часть несгранулированной муки, которая осаждается в циклоне.

После охлаждения гранулы с помощью цепного конвейера подаются на сортировку 2, где происходит отделение кондиционных гранул от крошки, которая, как и несгранулированная мука, возвращается в технологический цикл. После сортировки готовые гранулы поступают на склад.

Исследования теплотехнических характеристик древесных гранул показали, что они соответствуют требованиям зарубежных стандартов: DIN 51731, DINplus (Германия), O-Norm M 7135 (Австрия), SS 187120 (Швеция).

Для поддержания высоких технико-экономических и экологических показателей работы линий гранулирования, а также обеспечения их пожарной безопасности необходимо организовать периодический контроль плотности всех элементов газового тракта и систем золо- и пылеулавливания, а также регулярную уборку производственных помещений.

Первоочередные мероприятия для дальнейшего комплексного повышения эффективности работы цеха по производству гранул:

- 1) обеспечение режимов работы сушильных установок с температурой газов на входе в них не более $400 \text{ }^\circ\text{C}$, что позволит устранить угрозу воспламенения высушиваемого материала;
- 2) за счет дополнительной оптимизации топочного процесса в теплогенераторах обеспечить снижение эмиссий оксидов азота и угарного газа;
- 3) дополнить систему автоматического регулирования теплогенераторов анализатором, фиксирующим содержание монооксида углерода в сушильном агенте;
- 4) провести аэродинамическую оптимизацию узла входа отработанного сушильного агента в дымовую трубу с теплоизоляцией ее стенок; выполнить тепловую изоляцию корпуса пылеуловителя;

5) при проведении работ по увеличению мощности цеха, выпускающего гранулы, проработать вопрос применения диспергатора.

Реализация программы комплексного использования древесного сырья в ЗАО «Лесозавод 25» позволила полностью утилизировать все виды отходов, образующихся при обработке древесины, обеспечить на их основе комбинированную выработку тепловой и электрической энергии и производство экологически чистого высококалорийного топлива – древесных гранул, а также повысить культуру производства и получить дополнительную прибыль.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесная биоэнергетика [Текст]: учеб/ пособие /Ю.П. Семенов [и др.]. – М.: Изд-во МГУЛ, 2008. – 348 с.

2. Любов, В.К. Энергетическое использование биотоплива [Текст]: учеб. пособие / В.К. Любов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – 156 с.

Поступила 30.12.08

V.K. Lyubov, V.V. Goryunov
Arkhangelsk State Technical University

Survey Results of Operation Efficiency of Wood Pellets Plant

Results of energy survey of the main equipment are analyzed and priority measures for comprehensive increase of the operation efficiency of wood pellets plant are offered.

Keywords: wood pellets, combustion chamber, wood wastes, heat-generator, nitrogen and hydrogen oxides emission, press-pelletizer, mill, coefficient of efficiency, heat losses, drum dryer, gas-cleaning device

