

мационно-аналитический бюллетень. М: МГТУ, – 2011. – № 9. – С. 84-92.

6. Столбикова, Г.Е. *Процессы открытых горных работ. Фрезерный торф.* / Г.Е. Столбикова, О.С. Мисников, В.А. Иванов. Тверь: ТвГТУ, 2017. 160 с.

7. Антонов, В.Я. *Технология полевой сушки торфа* / В.Я. Антонов, Л.М. Малков, Н.И. Гамаюнов. – М.: Недра, 1981. – 239 с.

8. Лиштва́н, И.И. *Физико-химические основы технологии торфяного производства* / И.И. Лиштва́н, А.А. Терентьев, Е.Т. Базин, А.А. Головач. Мн.: Наука и техника, 1983. – 232 с.

УДК 66.047.69: 622.331-662(045)(476)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ НА ТОРФОБРИКЕТНЫХ ЗАВОДАХ

Березовский Н.И., Борисейко В.В.

Белорусский национальный технический университет

На основании научных разработок и практического подтверждения использования высокопроизводительных сухих рукавных фильтров в аспирационных системах торфобрикетных заводов предложена технология использования вторичных энергоресурсов, образующихся при сушке паровыми трубчатыми сушилками фрезерного торфа для брикетирования, с применением кожухотрубчатых пароводяных теплообменников.

В настоящее время на торфобрикетных заводах Республики Беларусь эксплуатируется 22 паровые трубчатые сушилки «Цемаг», в которых для сушки торфа используется сухой насыщенный пар с избыточным давлением на входе 0,25 МПа, позволяющий получать конечную влажность торфа 15 %. При этом температура пара на входе составляет 120÷140 °С, а на выходе 81÷100 °С. Составление материального баланса этой сушилки основывается на законе сохранения вещества, согласно которому вес материала, входящего в сушилку, равен сумме весов высушенного материала и испаренной влаги. За один час работы сушилки на фрезерном торфе влажностью 50 % количество испаренной влаги составляет от 2,7 до 6,8 тонн при производительности по высушенному торфу от 8,3 до 14,8 тонн. При этом общий унос материала из сушилки может составлять от 12 до 39 % [1, 2].

При сушке фрезерного торфа в паровых трубчатых сушилках вторичное тепло с температурой $81\div 100$ °С вместе с пылегазовым потоком направляется в скрубберы, где под воздействием мокрой очистки воздуха охлаждается до температуры $25\div 40$ °С, после чего направляется в шламовую канализацию. Ранее принимаемые попытки утилизации этого вторичного тепла путем установки теплообменников на выходе из сушилки не дали положительных результатов, так как воздушный поток на выходе имеет повышенную запыленность частицами торфяной пыли. При попадании в кожухотрубчатый теплообменник, эта пыль налипает на стенки теплообменника, что приводит к резкому снижению теплообменных процессов.

Применение высокопроизводительных сухих рукавных фильтров в аспирационных системах паровых трубчатых сушилок (эффективность очистки свыше 99 %) позволит направить очищенный воздух в теплообменник, что значительно увеличит эффективность теплообменных процессов на поверхности труб (патент 22525 от 27.02.2019, «Устройство для утилизации тепла и влаги в аспирационной системе паровой трубчатой сушилки»).

Для технологической реализации использования вторичного тепла можно использовать кожухотрубчатые, пластинчатые, спиральные, титановые, графитные теплообменники. Однако преимущества теплообменников, основным из которых является очень высокая гибкость и способность приспособления к самым разным технологическим процессам и производственным условиям, дают право применить для этих целей в первую очередь кожухотрубчатые теплообменники. У данных аппаратов существует возможность изготовления их в большом разнообразии проходных сечений для внутритрубной и межтрубной сред, изготовление с толстостенными (упрочненными) теплообменными трубками и различными температурными компенсационными механизмами, применять разнообразные конструкционные материалы – жароупорные, кислотоупорные, холодостойкие и т.д. Благодаря этому, кожухотрубчатые теплообменные аппараты способны эксплуатироваться в очень большом спектре рабочих температур и давлений, в том числе с химически агрессивными, абразивными, загрязненными средами. Немаловажным фактором является возможность реализации многосекционной схемы для обеспечения практически любой его производительности (тепловой мощности).

В сравнении с другими типами теплообменников, кроме прочего, кожухотрубчатые теплообменники отличаются простотой в технической реализации, легкостью в обслуживании и хорошей ремонтпригодностью, высокой технической надежностью и продолжительным сроком эксплуатации.

Кожухотрубчатый теплообменник - теплообменный аппарат, который представляет из себя пучок труб, закрепленный между трубными досками, установленный, в так называемый кожух, представляющий собой трубу большего диаметра. Одна из сред поступает в трубный пучок, другая – в межтрубное пространство (рисунок 1 и рисунок 2).

Предлагается после сушилки вторичный поток тепла направлять в межтрубное пространство, что возможно обеспечить вентилятором марки JK-55 К, в модельном ряде которого имеются аппараты с производительностью $8 \div 29$ тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$. По приведенным характеристикам для работы вентилятора требуется электродвигатель мощностью $N = 37$ кВт, число оборотов $n = 2050$ об/мин., развиваемое давление $p = 6400$ Н/м² [3].



Рис. 1 – Общий вид кожухотрубчатого теплообменника



Рис. 2 – Кожухотрубный теплообменник
(в процессе сборки)

Кожухотрубчатые подогреватели предназначены для систем отопления и горячего водоснабжения, в которых теплоносителем является пар или горячая вода, получаемые от промышленных источников тепла или поступающего теплоносителя по трубопроводам тепловых магистралей ТЭЦ.

Кожухотрубчатые теплообменники могут использоваться и в других схемах, в которых требуется осуществить нагрев или охлаждение жидкости (например, в качестве охладителей конденсата для пароводяных подогревателей). Пароводяные подогреватели используются в составе отопительных систем, где в качестве теплоносителя выступает насыщенный или перегретый пар. Они широко применяются на котельных промышленных предприятий для получения теплоносителя требуемых параметров, для технологических целей, либо для отопления административных корпусов, общежитий, объектов социальной структуры [4].

Кожухотрубчатые аппараты (ГОСТ 9929) выполняют пяти видов:

- 1) Н – аппараты с неподвижными трубными решетками;
- 2) К – теплообменники с компенсатором на кожухе;
- 3) У – аппарат с *U*-образными трубами;
- 4) П – теплообменник с плавающей головкой;

5) ПК – теплообменник с плавающей головкой и компенсатором на ней.

Паровоздушный поток, проходя через теплоизолированные трубопроводы и рукавный фильтр, направляется в межтрубное пространство (рисунок 3) [5], и в соответствие со вторым законом термодинамики переносит тепло воде, движущейся в трубной решетке.

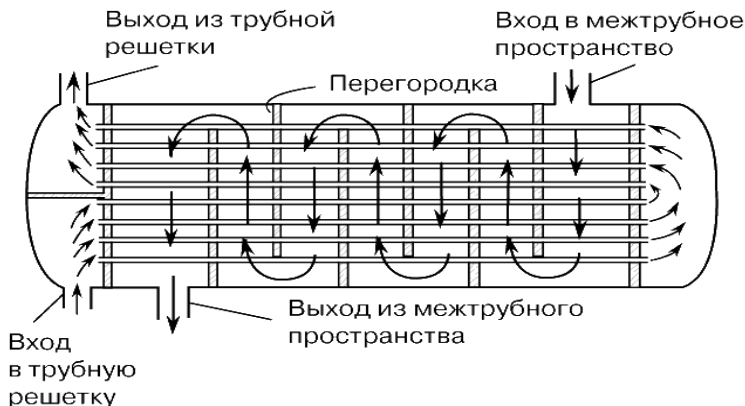


Рис. 3 – Схема работы кожухотрубного теплообменника

Основной закон распространения тепла теплопроводностью сформулировал французский ученый Ж. Фурье. Исследуя явления теплопроводности твердых тел, он установил, что количество переносимого тепла прямо пропорционально падению температуры, времени и площади сечения, перпендикулярного к направлению теплового потока. Математическое описание закона Фурье [1]:

$$Q = - \lambda F(dt/dx) \quad (1)$$

где Q – тепловой поток;

λ – коэффициент пропорциональности, или коэффициент теплопроводности, ккал/м ч град;

F – площадь тела, нормальная к направлению теплового потока, м²;

dt/dx – температурный градиент, т.е. перепад температуры dt в слое толщиной dx .

Знак минус в правой части уравнения указывает, что направление теплового потока и температурного градиента взаимно противоположны.

Отношение величины Q к площади сечения F называется удельным потоком или тепловой нагрузкой и обозначается q .

Тогда с другой стороны, зная толщину стенки, разделяющей два контура, закон Фурье можно записать [1]:

$$q = (\lambda/\delta) \Delta t, \text{ ккал/м}^2 \text{ ч} \quad (2)$$

где q – удельный тепловой поток;

δ – толщина стенки труб второго контура;

Δt – разность температур между теплоносителем и поверхностью тела, град.

С учетом того, что температура воздушного потока после сушилки находится в пределах $81 \div 100$ °С, возможно применение пароводяного подогревателя марки ПП (теплообменника), номинальный расход воды которого при температурном графике $70/95$ °С составляет от 29,2 до 342 т/ч. Так, например, в соответствии с ГОСТ 28679-90, ТУ 3612-001-63253541-2009 у подогревателя марки ПП 1-17-7-2 расшифровка обозначений следующая: ПП – пароводяной подогреватель; 1 – сферическое несъемное днище; 17 – поверхность нагрева, м²; 7 – давление в атмосферах; 2 – двухходовой. При этом диаметр его корпуса составляет $d = 426$ мм, длина $l = 3575$ мм, расход нагреваемой воды 59 т/ч, теплопроизводительность $Q = 2,98$ Гкал/ч, масса аппарата $M = 550$ кг.

При заказе теплообменника основными параметрами подбора марки теплообменника являются площадь поверхности нагрева и температура теплоносителя, что актуально для эксплуатационников, так как на каждом предприятии свои индивидуальные выходные параметры вторичных энергоресурсов после сушилки.

Библиографический список

1. *Наумович, В. М. Сушка торфа и сушильные установки брикетных заводов / В. М. Наумович. – М.: Недра, 1971. – 279 с.*
2. *Березовский, Н.И., Борисейко, В.В. Энергосберегающие аспирационные системы паротрубчатых сушилок для производства топливных брикетов / Горная механика и машиностроение. – 2017. – № 1. – С. 31-36.*

3. Электронный ресурс: <https://www.jkf.dk/da-dk/produkter/ventilatorsystemer/> – Дата доступа: 14.10.2019.

4. Электрон. ресурс: <https://www.pzem.ru/catalog/apparaty-teploobmennye-i-puchki-trubnye/> – Дата доступа: 05.10.2019.

5. Электрон. ресурс: <https://opeks.energy/kozhuxotrubnye-teploobmenniki/> – Дата доступа: 09.10.2019.

УДК 622.331:631.895:621.704

РАЦИОНАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МАЛОТОННАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА

Гамаюнов С.Н., Зюзин Б.Ф.

Тверской государственный технический университет

Обоснована необходимость в разработке рациональной технологии малотоннажного производства фрезерного торфа для локального потребления. Предложено адаптировать широко распространенную промышленную технологическую схему с отдельной уборкой из наращиваемых валков, в которой предполагается разработать и использовать машины и агрегаты многоцелевого назначения. Показано, что решение задачи сплошного фрезерования торфяной залежи вместе с пнями представляется реальным. Адаптивная технологическая схема позволит одним комплексом оборудования производить торф различного условного качества и в сравнительно малых объемах.

Рациональная технология производства торфа на сравнительно небольших месторождениях должна предусматривать машины и оборудование, значительно отличающееся от техники, которая применяется для производства торфа промышленными предприятиями. Однако для многих современных и вновь вводимых производств по переработке и использованию торфа требуются сравнительно небольшие объемы поставок сырья и топлива [1]. На рынке оборудования нет комплексов машин по малотоннажному производству торфа. Получать торф с различной условной влажностью одним и тем же комплексом механизации можно только при существенной модернизации промышленной технологической схемы производства торфа с отдельной уборкой из наращиваемых валков, что влечет за собой разработку и использование машин и агрегатов многоцелевого назначения.

Широко известные в стране комплексы оборудования по производству фрезерного торфа наиболее оптимально по эко-