

## УСТАНОВКА ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В АКТИВИРОВАННЫЙ УГОЛЬ

### INSTALLATION PROCESSING WOOD WASTE ACTIVATED CARBON

**Сафин Р.Г.**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, Россия, Казань

**Зиатдинова Д.Ф.**, д.т.н., профессор, кафедры Переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, Россия, Казань

**Сотников В.Г.**, аспирант кафедры Переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, Россия, Казань

**Рябушкин Д.Г.**, аспирант кафедры Переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, Россия, Казань

**Гумеров Д.Р.**, аспирант кафедры Переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, Россия, Казань

**Safin R.G.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Wood Materials Processing, Kazan National Research Technological University, Russia, Kazan

**Ziatdinova D.F.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Processing of Wood Materials, Kazan National Research Technological University, Russia, Kazan

**Sotnikov V.G.**, postgraduate student of the Department of Processing of Wood Materials, Kazan National Research Technological University, Russia, Kazan

**Ryabushkin D.G.**, postgraduate student of the Department of Processing of Wood Materials, Kazan National Research Technological University, Russia, Kazan

**Gumerov D.R.**, post-graduate student of the Department of Wood materials processing, Kazan National Research Technological University, Russia, Kazan

**Аннотация.** Активированный уголь можно получить разными путями. Наиболее перспективным в плане ресурсосбережения и экономической выгоды является способ получения активированного угля из древесных отходов. Производство активированного угля по данному методу основано на процессе пиролиза древесных отходов. В результате термохимической переработки образуются: древесный уголь и пиролизный газ. Затем древесный уголь должен пройти высокотемпературный процесс активации, в ходе которого в угле образуются микропоры и он значительно повышает свои адсорбционные свойства. Аппаратурное оформление данных процессов, представляет собой совокупность сложных конструкторских и технологических решений. При проектировании установки необходимо проводить расчеты, предназначенные для оптимизации оборудования и режимных параметров процессов термического разложения и активации угля, позволяющих получить качественный продукт. В работе описана установка переработки древесных отходов в

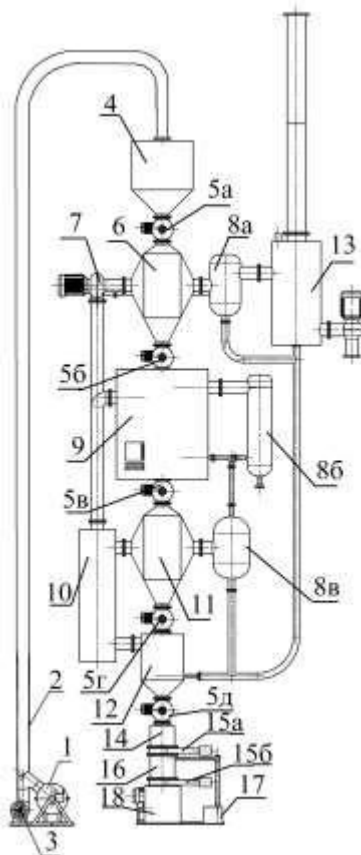
активированный уголь. Детально рассмотрены процессы, происходящие в каждой зоне установки, а также принцип их работы.

**Summary.** Activated carbon can be obtained in a variety of ways. The most promising in terms of resource conservation and economic benefits is the method of producing activated carbon from wood waste. The production of activated carbon by this method is based on the process of pyrolysis of wood waste. As a result of thermochemical processing, charcoal and pyrolysis gas are formed. Then the charcoal must undergo a high-temperature activation process, during which micropores are formed in the coal and it significantly increases its adsorption properties. The hardware design of these processes is a set of complex design and technological solutions. When designing the installation, it is necessary to carry out calculations designed to optimize the equipment and operating parameters of the processes of thermal decomposition and activation of coal, which make it possible to obtain a high-quality product. The paper describes a plant for processing wood waste into activated carbon. The processes occurring in each zone of the installation, as well as the principle of their operation, are considered in detail.

**Ключевые слова:** древесные отходы, переработка отходов, активированный уголь.

**Keywords:** wood waste, waste processing, activated carbon.

В настоящее время на кафедре «Переработка древесных материалов» разработан способ для производства активированного угля из отходов деревопереработки. Принципиальная схема установки для осуществления способа изображена на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Установка для производства активированного угля

Установка работает следующим образом. Древесные отходы измельчаются в дисковой рубильной машине 1 и транспортируются по пневмопроводу 2 в накопитель 4. Требуемая скорость носителя в трубопроводе обеспечивается воздуходувкой 3.

Из накопителя 4 отходы через барабанный питатель 5а непрерывно направляют в камеру сушки 6, где отходы сушат топочными газами при температуре 250°C. В камере сушки подвод и отвод теплоносителя осуществляется при помощи специальных коробов. Скорость подвода топочных газов в зону сушки регулируется газодувкой 7. Отработанная парогазовая смесь направляется в сепаратор 8а для разделения на воду и топочные газы, часть которых затем вновь направляется в камеру сушки в качестве теплоносителя.

Для расчета конструктивных размеров камеры сушки необходимо математически описать процесс сушки, который для одномерной задачи описывается системой уравнений теплопереноса:

$$\frac{\partial U}{\partial c} = a_m \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + a_m \delta \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial c} = a_T \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{r_s}{c_m} * \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \quad (2)$$

Высушенные древесные отходы через барабанный питатель 5б попадают в зону пиролиза 9. В пиролизной камере происходит термохимическое разложение отходов на древесный уголь и пиролизные газы, которые попадают в сепаратор 8б, где разделяются на неконденсирующийся горючий газ и дистиллят (жижка). Газ служит топливом для прогрева пиролизной зоны до 500°C. Отработанный топочный газ выводится из зоны пиролиза и поступает в рекуперативный теплообменник 10, а затем в зону сушки в качестве сушильного агента. Дистиллят поступает в накопительную емкость для последующего использования, в качестве жидкого топлива.

Теплоперенос в пиролизной зоне можно описать уравнением Фурье:

$$\rho_{сл} c_{сл} \frac{\partial T_{сл}}{\partial \tau} = \frac{\partial T_{сл}}{\partial l} \left( \lambda_{сл} \frac{\partial T_{сл}}{\partial l} \right) + q_{сл} \quad (3)$$

Древесный уголь через шлюзовый питатель 5в попадает в зону активации 11, где обрабатывается перегретым водяным паром температурой 900°C. Из угля выделяются увлажненные горючие газы, которые вместе с паром выводятся из зоны активации в сепаратор 8в, разделяясь на газы активации и воду. Газы служат топливом для пиролизной зоны.

Время активации определяется решением системы дифференциальных уравнений теплопереноса для зоны активирования.

$$w_y \rho_{сл} c_{сл} \frac{\partial T_{сл}}{\partial l} = \frac{\partial T_{сл}}{\partial l} \left( \lambda_{сл} \frac{\partial T_{сл}}{\partial l} \right) + q_{XP} + \alpha(T_{II} - T_{сл}) \quad (4)$$

$$w_{II} \rho_{III} c_{II} \frac{\partial T_{cl}}{\partial l} = -\alpha(T_{II} - T_{cl}) \quad (5)$$

Активированный уголь через шлюзовый питатель 5г попадает в зону испарительного охлаждения 12. Охлаждение угля происходит водой, полученной при сепарации из сепараторов 8а, 8в и адсорбера 13. В зону охлаждения вода поступает через коллектор. В нижней части зоны охлаждения на высоте 15-20% от общего объема угля находится коллектор, через который происходит охлаждение водой нижнего слоя угля до 90°С. Уголь в верхней части слоя охлаждается водяным паром, образовавшимся в результате орошения нижнего слоя. Перегретый пар отводится из зоны охлаждения в рекуперативный теплообменник, а затем поступает в зону активации.

В зоне испарительного охлаждения происходит теплоперенос от слоя угля к водяному пару, который затем, проходя через слой горячего угля, перегревается.

Влажный активированный уголь непрерывно через шлюзовый питатель 5д подается в накопительную емкость 14. После заполнения накопительной емкости, открывается вакуумный затвор 15а и все ее содержимое сбрасывается в вакуумную камеру 16. С закрытием вакуумного затвора 15а из камеры при помощи вакуумного водокольцевого насоса 17 откачивается воздух. За счет понижения давления среды активированный уголь высыхает и охлаждается до 20°С. При достижении остаточного давления 3-6 кПа открывается вакуумный затвор 15б и весь уголь находящийся в камере сбрасывается в узел выгрузки 18.

В вакуумной камере происходит сушка активированного угля поэтому математическое описание процесса аналогично процессу происходящему в зоне сушки и описывается дифференциальными уравнениями теплопереноса 1,2.

### Список литературы

1. Ю.Л. Юрьев, В.П. Орлов, С.А. Панюта, Т.В. Штеба// Проблемы аппаратного оформления процессов переработки измельченной древесины в активные угли//Лесной журнал.-2000.-№5-6.- С. 52-57.
2. Место активных углей в экологии и экономике, новые технологии их производства/ Мухин В.М., Курилкин А.А., Воропаева Н.Л., Лексюкова К.В., Учанов П.В. Сорбционные и хроматографические процессы 2016, том 16, №3, 346-353.
3. Р.Р.Зиатдинов, Т.О. Степанова, Д.Ф. Зиатдинова, Р.Г. Сафин, Д.А. Ахметова/ Конвективная сушка измельченной древесины перед термохимическим процессом переработки древесных материалов// Деревообрабатывающая промышленность 2019.- №1.- с.66-73.
4. Р.Р. Зиатдинов, Р.Г. Сафин, Т.О. Степанова, Д.Ф. Зиатдинова, Д.А. Ахметова, Н.М. Терехин/ Непрерывно действующая установка переработки древесных отходов в активированный уголь//Деревообрабатывающая промышленность.- 2019 г.- №4.- С. 90-98.
5. Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, Д.Ф. Зиатдинова, Т.О. Степанова/ Конвективная сушка дисперсных материалов Перед термохимическим процессом переработки// Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. С. 29-37.
6. Р.Г. Сафин, Т.О. Степанова, Р.Р. Зиатдинов, Д.Г. Рябушкин, В. И. Петров, В.Г. Сотников/ Конструктивный расчет пиролизной зоны установки производства активированного угля// Деревообрабатывающая промышленность.- 2020 г. -№3.- С.45-55.

7. N.F. Timerbaev, R.G. Safin, I.Yu.Mazarov, T.O. Stepanova/ Thermochemical processing of organic waste IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 643.-2019.
8. Safin, R.G., Prosvirnikov D.V., Stepanova T.O./ Processing of Renewable Wood Biomass into Thermally Modified Pellets with Increased Combustion Value//2020 Proceedings of the 5 th international Conference on Industrial Engineering: Lecture Notes in Mechanical Engineering 387.
9. Патент РФ № 2694347, 11.07.2019, МПК С 10 В 53/00. Способ получения активированного угля / Сафин Р.Г. [и др.]
10. Р.Г. Сафин, Р.Р. Зиятдинов, В.Г. Сотников, Д.Г. Рябушкин, Д.Р. Гумеров/ Моделирование процесса измельчения и транспортирования органических отходов в установке производства активированного угля/Системы. Методы. Технологии. -2021.- №2

### References

1. Yu.L. Yuriev, V.P. Orlov, S.A. Panyuta, T.V. Shteba // Problems of hardware design of the processes of processing crushed wood into active coals // Forest Journal.-2000.-№5-6.- P. 52-57.
2. The place of active coals in ecology and economics, new technologies of their production / Mukhin VM, Kurilkin AA, Voropaeva NL, Leksyukova KV, Uchanov PV. Sorption and chromatographic processes 2016, volume 16, No. 3, 346-353.
3. R.R. Ziatdinov, T.O. Stepanova, D.F. Ziatdinova, R.G. Safin, D.A. Akhmetova / Convective drying of chopped wood before the thermochemical process of processing wood materials // Woodworking industry 2019.-№1.- p.66-73.
4. R.R. Ziatdinov, R.G. Safin, T.O. Stepanova, D.F. Ziatdinova, D.A. Akhmetova, N.M. Terekhin / Continuously operating plant for processing wood waste into activated carbon // Woodworking industry. – 2019 – No. 4. – P. 90-98.
5. N.F. Timerbaev, R.G. Safin, D.F. Ziatdinova, T.O. Stepanova / Convective drying of dispersed materials Before the thermochemical process of processing // Bulletin of higher educational institutions. Energy Problems, 2019.Vol. 21.P. 29-37.
6. R.G. Safin, T.O. Stepanova, R.R. Ziatdinov, D.G. Ryabushkin, V.I. Petrov, V.G. Sotnikov / Constructive calculation of the pyrolysis zone of the activated carbon production unit // Woodworking industry. – 2020 –No. 3.- P.45-55.
7. N.F. Timerbaev, R.G. Safin, I. Yu. Mazarov, T.O. Stepanova / Thermochemical processing of organic waste IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 643.-2019.
8. Safin, R.G., Prosvirnikov D.V., Stepanova T.O./ Processing of Renewable Wood Biomass into Thermally Modified Pellets with Increased Combustion Value // 2020 Proceedings of the 5 th international Conference on Industrial Engineering: Lecture Notes in Mechanical Engineering 387.
9. RF patent No. 2694347, 11.07.2019, IPC S 10 B 53/00. Method for producing activated carbon / R.G. Safin [and others]
10. R.G. Safin, R.R. Ziatdinov, V.G. Sotnikov, D.G. Ryabushkin, D.R. Gumerov / Modeling the process of grinding and transporting organic waste in an activated carbon production unit / Systems. Methods. Technologies. -2021.- No. 2