

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 676.0(045)

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОТВОДА ТЕПЛА ИЗ МАССИВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ В УСЛОВИЯХ КУЧЕВОГО ХРАНЕНИЯ

Д. А. Братилов, А. Н. Деснев

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
Российская Федерация, 163002, Архангельск, набережная Северной Двины, 17
E-mail: Dmitry-Bratilov@yandex.ru; a_desnev@sovintel.ru

В статье приведено описание конструкции и даны рабочие характеристики теплового элемента, предназначенного для отвода излишнего тепла из массы технологической щепы при хранении её кучевым способом. Проблема заключается в самопроизвольном нагреве щепы до температуры тления и самовоспламенения под воздействием жизнедеятельности микроорганизмов, в результате чего ухудшается качество технологической щепы и возникает пожароопасная ситуация. Для предотвращения негативных последствий предлагается отводить излишнее тепло от технологической щепы с помощью системы, состоящей из тепловых труб.

Ключевые слова: технологическая щепа; открытый способ хранения щепы; тепловая труба; тепловой элемент; температурный напор; температура тления; температура самовоспламенения; математическая модель.

Введение. Технологические процессы переработки древесины предусматривают измельчение цельной древесины в технологическую щепу. Хранение щепы на открытых складах осуществляется путём формирования куч. Одним из недостатков такого способа хранения является самопроизвольный нагрев щепы до температуры тления и самовоспламенения под воздействием жизнедеятельности микроорганизмов. В результате тления уменьшается содержание целлюлозы, изменяется химический состав древесины, что приводит к безвозвратным потерям значительного количества кондиционной технологической

щепы. Развитие процесса тления приводит к самовоспламенению щепы и, как следствие, к пожароопасной ситуации [1].

Наиболее интенсивно щепа нагревается в центре кучи, аккумулируя значительное количество тепла. Для предотвращения процесса разогрева щепы необходимо из центральной зоны кучи временно отводить излишнее тепло и понижать температуру. Данную задачу можно решить с помощью системы теплоотводящих элементов, выполненную на основе тепловых труб. Опыт применения тепловых труб имеется в различных отраслях промышленности [2–4].

© Братилов Д. А., Деснев А. Н., 2015.

Для цитирования: Братилов Д. А., Деснев А. Н. Устройство для отвода тепла из массива технологической щепы в условиях кучевого хранения // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 2 (26). – С. 44-49.

Тепловая труба – это герметичное испарительно-конденсационное устройство с использованием капиллярных сил, служащее для передачи тепла и работающее по замкнутому циклу [4]. Корпус трубы состоит из испарительной, конденсационной, транспортной зон и капиллярной структуры. В качестве теплоносителя используется легкокипящая жидкость.

Цель работы – исследовать опытный образец устройства для отвода тепла из массива технологической щепы в условиях кучевого хранения.

Решаемые задачи: разработать и изготовить опытный образец тепловой трубы; экспериментально изучить тепловой напор трубы [5–8].

Методика исследования. Нами разработана конструкция низкотемпературной тепловой трубы для отвода тепла из кучи технологической щепы. Труба изготовлена из нержавеющей стали 08×13 толщиной 2,5 мм и диаметром 50 мм. Корпус трубы состоит из цилиндрической и конической частей и имеет клапанную крышку, которая соединена с трубой резьбовым соединением через уплотнитель (рис. 1, а). Клапан предназначен для заполнения трубы легкокипящей жидкостью. Рукояти, расположенные рядом с клапаном, необходимы для перемещения трубы. Внутренний объем трубы составляет 2,65 л, из которых на коническую часть приходится 0,83 л.

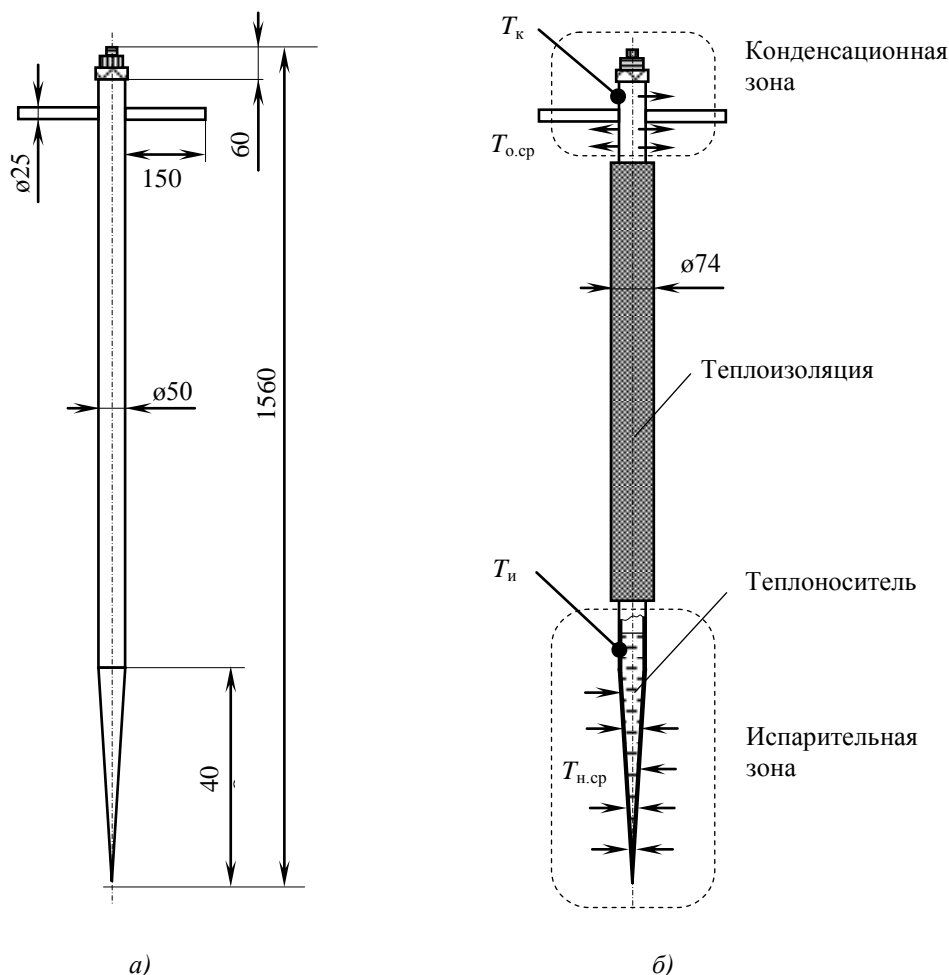


Рис. 1. Теплоотводящий элемент: а – тепловая труба; б – схема эксперимента;
 $T_{н.сп}$ – температура нагретой среды; $T_{и}$ – температура трубы в зоне испарения;
 T_k – температура трубы в зоне конденсации; $T_{о.сп}$ – температура окружающей среды

Для оценки количества тепла, которое можно отвести из кучи, необходимо знать температурную характеристику теплоотводящего элемента. С этой целью было проведено экспериментальное исследование опытного образца тепловой трубы. В качестве теплоносителя использовали ацетон с температурой кипения 56°C . Температура окружающего воздуха $T_{\text{о.ср}}$ 16°C . План эксперимента предусматривал два переменных фактора: температура нагретой среды $T_{\text{н.ср}}$, $^{\circ}\text{C}$; объём теплоносителя $V_{\text{тн}}$, л. Для каждого фактора было выбрано пять уровней. Схема эксперимента представлена на рис. 1, б. Площадь поверхности нагрева 780 см^2 , площадь поверхности охлаждения 390 см^2 , соотношение 2 к 1. Измеряли температуру трубы в зоне испарения $T_{\text{и}}$ $^{\circ}\text{C}$ и в зоне конден-

сации $T_{\text{к}}$ $^{\circ}\text{C}$, затем определяли температурный напор ΔT , $^{\circ}\text{C}$

$$\Delta T = T_{\text{и}} - T_{\text{к}}. \quad (1)$$

Полученные результаты. Результаты наблюдений представлены в таблице.

Математическое моделирование и интерпретация результатов. Регрессионный анализ результатов наблюдений позволил определить математическую зависимость температурного напора ΔT , $^{\circ}\text{C}$ от температуры нагретой среды $T_{\text{н.ср}}$, $^{\circ}\text{C}$ и объёма теплоносителя в трубе $V_{\text{тн}}$, л

$$\begin{aligned} \Delta T = & -19,091 + 30,489 \cdot V_{\text{тн}} + \\ & + 0,673 \cdot T_{\text{н.ср}} - 32,514 \cdot V_{\text{тн}}^2 + \\ & + 0,170 \cdot V_{\text{тн}} \cdot T_{\text{н.ср}} + 0,0001 \cdot T_{\text{н.ср}}^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Графически зависимость (2) представлена на рис. 2 в виде поверхности

Температурный напор ΔT , $^{\circ}\text{C}$

Объём теплоносителя $V_{\text{тн}}$, л	Температура нагретой среды $T_{\text{н.ср}}$, $^{\circ}\text{C}$				
	40	60	80	100	120
0,2	13,1	30,1	42,6	61,4	67,3
0,4	17,9	37,4	48,7	61,4	79,9
0,6	18,0	29,9	48,3	61,6	81,4
0,8	12,6	37,4	45,9	68,3	97,5
1,0	15,6	32,1	47,7	63,6	73,2

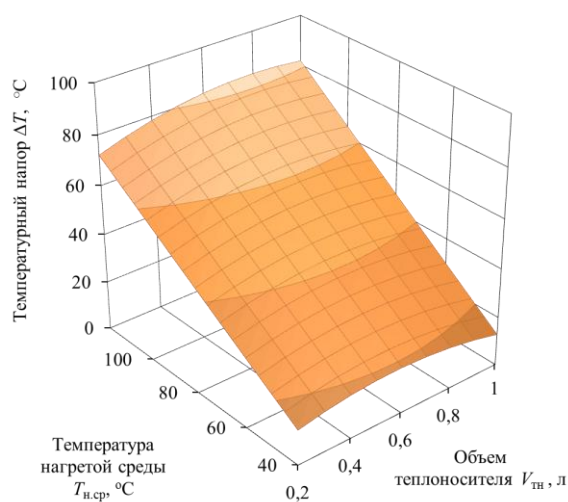


Рис. 2. Математическая модель зависимости температурного напора ΔT от температуры нагретой среды $T_{\text{н.ср}}$ и объёма теплоносителя $V_{\text{тн}}$

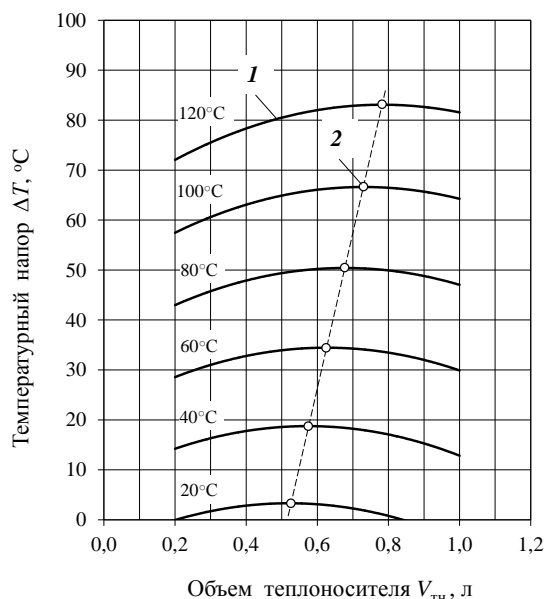


Рис. 3. Оптимальный объем жидкости в теплоотводящем элементе при различных температурах нагретой среды: 1 – изотерма; 2 – значение оптимального объема жидкости

Из формулы (2) следует, что ΔT линейно зависит от температуры в зоне нагрева $T_{н.ср}$ и значимо зависит от $V_{тн}^2$. Следовательно, можно определить объем жидкости в трубе, при котором труба наиболее эффективно отводит тепло. Диапазон объема жидкости для исследованного теплового элемента определен 0,6...0,8 л в зависимости от температуры в зоне нагрева (рис. 3).

Выводы. Полученная математическая зависимость позволяет определить количество тепла, которое теплоотводящий элемент может перенести из массива насыпной кучи технологической щепы в окружающую среду, контролировать и регулировать процесс аккумуляции тепла в массиве при помощи установки необходимого количества теплоотводящих элементов.

Список литературы

1. Головкин, С.И. Энергетическое использование древесных отходов / С.И. Головкин, И.Ф. Коперин, В.И. Найденков. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 224 с.
2. Ивашов, Е.Н., Применение тепловых трубок в нанотехнологиях / Е.Н. Ивашов, К.Д. Федотов // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 1. – С. 48-51.
3. Гоголев, Г.В. Исследование артериальных низкотемпературных тепловых труб для теплообменного оборудования СЭУ / Г.В. Гоголев, В.А. Тимофеев // Вестник СевГТУ. Сер.: Механика, энергетика, экология. – 2008. – Вып. 85. – С. 82-86.
4. Ивановский, М.Н. Технологические основы тепловых труб / М.Н. Ивановский, В.П. Сорокин, И.В. Ягодкин. – М.: Атомиздат, 1980. – 256 с.
5. Кузнецов, Г.В. Численное моделирование тепло-массопереноса в низкотемпературной тепловой трубе / Г.В. Кузнецов, А.Е. Ситников // Инженерно-физический журнал. – 2002. – Т. 75, № 4. – С. 58-64.
6. Колоусова, А.А. Температурный режим тепловой трубы при неоднородном теплообмене не ее внешнем контуре / А.А. Колоусова, Г.В. Кузнецов // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307, № 6. – С. 98-101.
7. Ибрагимов, Э.В. Экспериментальные исследования инновационных конструкций пологонаклонных термостабилизаторов грунта / Э.В. Ибрагимов, Я.А. Кроник, Е.В. Куплинова // Вестник ТГАСУ. – 2014, № 4. – С. 208-220.
8. Лукс, А.Л. Анализ основных расчетных и экспериментальных теплофизических характеристик аммиачных тепловых труб повышенной тепловой проводимости из алюминиевых сплавов / А.Л. Лукс, А.Г. Матвеев // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. – 2008. – № 3. – С. 331-357.

Статья поступила в редакцию 30.04.15.

Информация об авторах

БРАТИЛОВ Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры древесиноведения и технологии деревообработки, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. Область научных интересов – технология механической обработки древесины, композиционные материалы на основе древесины, деревянное домостроение. Автор шести публикаций.

ДЕСНЕВ Александр Николаевич – ассистент кафедры гражданской защиты, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. Область научных интересов – физические свойства древесных материалов, промышленная безопасность. Автор 10 публикаций.

UDC 676.0(045)

DEVICE FOR HEAT TRANSFER FROM CHIPPINGS WHEN STORAGE IN HEAPS

D. A. Bratilov, A. N. Desnev

Northern (Arctic) Federal University,
17, Sev. Dviny nab., Arkhangelsk, 163002, Russian Federation
E-mail: Dmitry-Bratilov@yandex.ru; a_desnev@sovintel.ru

Key words: *chippings; open woodchips storage; heat pipe; thermal element; temperature difference; smoulder temperature; self-ignition temperature; mathematical model.*

ABSTRACT

Introduction. Woodprocessing enterprises store chippings and other particulate wood-base materials at the unsheltered storage area in the heaps. Serious shortcoming of the mode of storage is spontaneous heating of chippings up to smoulder temperature and its spontaneous ignition caused by vital activity of microorganisms. As a result of smoldering, cellulose content is decreased and timber chemical composition is changed. It leads to permanent losses of vast number of chippings and provokes fire hazardous situation. Chipping is heated in the center of a heap most of all, accumulating heat. Thus, it is obligatory to deflect the heat and lower the temperature of chippings. It is possible to solve the problem with the help of system of heat-removing elements, made on the basis of heat pipes. **The goal of the research** is to study a test model of a device for heat transfer from chippings when storage in heaps. **Tasks in hand** is to develop and produce a test model of heat pipe, and to experimentally study pipe temperature head. **Research technique.** The test model of heat pipe made of stainless steel 08X13 (2,5 mm width and 50 mm diameter) was elaborated and produced. Body of pipe consists of cylindrical and conical portions and it includes valve cover. The valve is meant for pipe filling with low boiling liquid. Pipe capacity is 2,65 l. Acetone with 56°C boiling temperature was used as heat-transfer material. Surrounding air temperature ($T_{sur.air}$) was 16°C. The plan of experiment included two variable factors: temperature of heated medium $T_{heated\ medium}$, °C; and volume of heat carrier $V_{heat\ carrier\ volume}$, l. Pipe temperature in the evaporation zone $T_{evaporation}$ °C and $T_{condensation}$ °C in the condensation zone were measured in the course of the experiment, than temperature difference ΔT , °C was defined

$$\Delta T = T_{evaporation} - T_{condensation} \quad (1)$$

Mathematic simulation and results interpretation. Regression analysis made it possible to define mathematic dependence of temperature difference ΔT , °C on the temperature of heated medium $T_{heated\ medium}$, °C and heat carrier volume in the pipe $V_{heat\ carrier\ volume}$, l.

$$\Delta T = -19,091 + 30,489 \cdot V_{heat\ carrier\ volume} + 0,673 \cdot T_{heated\ medium} - 32,514 \cdot V_{heat\ carrier\ volume}^2 + 0,170 \cdot V_{heat\ carrier\ volume} \cdot T_{heated\ medium} + 0,0001 \cdot T_{heated\ medium}^2 \quad (2)$$

Equation (2) allowed to define that pipe rejected heat more intensively when it was filled with heat-transfer material up to 0,23...0,30 of its inner volume. **Conclusions.** The obtained mathematical relation allows to define the necessary heat, which heat-transmitting element may transfer from the heap of chippings into the environment, consequently, it is the device for heat spreading system design.

REFERENCES

1. Golovkov S.I., Koperin I.F., Naidenov V.I. *Energeticheskoe ispolzovanie drevesnykh otkhodov* [Wood Wastes Usage for Power Generation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1987. 224 p.
2. Ivashov E.N., Fedotov K.D. *Primenenie teplovykh trubok v nanotekhnologiyakh* [Application of Heat Pipes in Nanotechnology]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Success of Modern Natural Sciences]. 2014. № 1. Pp. 48-51.
3. Gogolev G.V., Timofeev V.A. *Issledovanie arterialnykh nizkotemperaturnykh teplovykh trub dlya teploobmennogo oborudovaniya SEU* [Study of Arterial Low-Temperature Heat Pipes for Heat-Exchange Equipment of Ship Power Plant]. *Vestnik SevGTU*.

Ser.: Mekhanika, energetika, ekologiya. [Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Ser.: Mechanics, Energetics, Ecology]. 2008. Issue 85. Pp. 82-86.

4. Ivanovskiy M.N., Sorokin V.P., Yagodkin I.V. Tekhnologicheskie osnovy teplovykh trub [Technology of Heat Pipes]. Moscow: Atomizdat, 1980. 256 p.

5. Kuznetsov G.V., Sitnikov A.E. Chislennoe modelirovanie teplo-massoperenosa v nizkoterperaturnoy teplovoy trube [Numerical Simulation of Heat and Mass Transfer in Low-Temperature Heat Pipe]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal* [Engineering and Physics Journal]. 2002. Vol. 75. № 4. Pp. 58–64.

6. Kolousova A.A., Kuznetsov G.V. Temperaturnyy rezhim teplovoy trubyy pri neodnorodnom teploobmene na ee vneshnem konture [Temperature Condition of Heat Pipe When Irregular Heat Exchange on Its Outer Boundary]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [News of Tomsk

Polutechnical University]. 2004. Vol. 307, № 6. Pp. 98–101.

7. Ibragimov E.V., Kronik Ya.A., Kuplino-va E.V. Eksperimentalnye issledovaniya innovatsionnykh konstruksiy pologo-naklonnykh termostabilizatorov grunta [Experimental Researches of Innovative Facilities of Oblique Soil Heat Stabilizer]. *Vestnik TGASU* [Vestnik of TGASU]. 2014. № 4. Pp. 208–220.

8. Luks A.L., Matveev A.G. Analiz osnovnykh raschetnykh i eksperimentalnykh teplofizicheskikh kharakteristik ammiachnykh teplovykh trub povyshennoy teplovoy provodimosti iz aluminievykh splavov [The Analysis of Basic Calculation and Experimental Thermophysical Characteristics of Ammoniac Heat Pipes of Higher Heat Conduction Made of Aluminum Alloys]. *Vestnik SamGU. Estestvennonauchnaya seriya.* [Vestnik of SamSU. Natural Sciences]. 2008. № 3. Pp. 331–357.

The article was received 30.04.15.

Citation for an article: Bratilov D. A., Desnev A. N. Device for heat transfer from chippings when storage in heaps. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2015. No 2 (26). Pp. 44-49.

Information about the authors

BRATILOV Dmitry Aleksandrovich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Chair of Wood Technology and Woodworking Technology, Northern (Arctic) Federal University. Research interests – technology of mechanical wood processing, composite materials based on wood, house-building of wood. The author of six publications.

DESNEV Alexander Nikolayevich – Teaching Assistant at the Chair of Civil Protection, Northern (Arctic) Federal University. Research interests – physical properties of wooden materials, industrial security. The author of 10 publications.