

УДК 62-94

Новые технологии повышения энергоэффективности элементов технологического оборудования

А.А. Федяев^а, Д.А. Наговицын^б

Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия

^аvends@newmail.ru, ^бmy_workstation@mail.ru

Статья поступила 13.08.2013, принята 16.11.2013

Основная задача при проведении процесса сушки – обеспечить равномерное удаление влаги из древесины при наименьших энергозатратах. По своей конструкции большинство конвективных сушильных камер имеют нижний и верхний циркуляционные каналы, разделенные ложным потолком. Циркуляция энергоносителя в таких камерах происходит по замкнутому контуру с резким поворотом потока на 180 градусов. Такое течение является турбулентным и характеризуется наличием завихрений и неравномерным распределением рабочего агента по сечению сушильной камеры. Все эти факторы негативно сказываются на качестве сушки в целом и являются актуальным направлением научных исследований, способствующих решению проблемы энергоэффективности и продолжительности сушки древесины. При проведении экспериментальных исследований направления и скорости потока рабочего агента выяснилось, что значения скорости значительно отличаются по высоте сечения нижнего циркуляционного канала. Так как энергоподвод к сушильному материалу зависит от скорости энергоносителя, то очевидно, что в штабеле пиломатериала будет наблюдаться отклонение конечного влагосодержания от заданного, что, в свою очередь, является причиной технологического брака. Для выравнивания потока энергоносителя по высоте была проведена серия экспериментов по подбору конфигурации, количества и месторасположения направляющих устройств для выравнивания входного профиля. В конечном итоге получено наиболее рациональное распределение профиля скорости при установке двух направляющих устройств. Зная номинальную мощность сушильной камеры и определив продолжительность сушки пиломатериалов, при выровненном потоке энергоносителя по высоте штабеля можно оптимизировать рабочие характеристики камеры, а именно, сократить время сушки на 10-15 часов за один цикл и снизить брак продукции до 6%. Экономия электрической и тепловой энергии будет достигать 15-20%.

Ключевые слова: направляющие устройства, аэродинамика камеры, вычислительный эксперимент, поля скорости рабочего агента, влагосодержание древесины, процессы сушки.

New technologies to improve the energy efficiency elements of production equipment

A. A. Fedyaev^а, D.A. Nagovitsyn^б

Bratsk State University, 40 Makarenko St, Bratsk, Russia

^аvends@newmail.ru, ^бmy_workstation@mail.ru

Received 13.08.2013, accepted 16.11.2013

When carrying out the drying process, the major task is to ensure the uniform moisture removal from wood at minimal energy consumption. As to their design, most of the convection drying chambers are equipped with the upper and lower circulating channels separated by a false ceiling. The energy carrier circulation in such drying chambers occurs in a closed circuit with a U-turn flow at 180 degrees. This flow is turbulent and characterized by the presence of swirlings and uneven distribution of the working agent on the cross section of the drying chamber. All of these factors have a negative impact on the quality of drying as a whole and make up a prospective area of scientific research contributing to solving the problem of energy efficiency and the timber drying time. In conducting experimental studying of the direction and speed of the working agent flow, it turned out that the rate of speed differs considerably as to the vertical interval of the lower circulating channel. Since the energy supply to the material being dried depends on the working agent velocity, it is evident that the final moisture content deviation from the specified one will be observed in the timber storage pile, which, in turn, is the cause of technological waste. To align the working agent flow, a series of experiments to select the configuration, the number and location of the guide device for aligning the input profile was carried out. In the end, the most rational distribution of the velocity profile when installing two guiding devices has been obtained. Knowing the power rating of the drying chamber and the timber drying time, with the working agent flow being aligned through the storage pile height, one can optimize the operating characteristics of the chamber, namely, to reduce the drying time by 10-15 hours per cycle and lower the defective products up to 6%, electricity and heat saving will reach 15-20%.

Keywords: guiding devices, chamber aerodynamics, computing experiment, working agent velocity fields, timber moisture content, drying processes.

Введение. В последние годы в Сибири интенсивно развиваются предприятия деревообрабатывающей промышленности, продукция которых в основном объеме экспортируется за рубеж. В этом случае деревообрабатывающие предприятия могут быть конкурентоспособными лишь тогда, когда качество выпускаемой продукции соответствует международным стандартам.

Наиболее ответственным и затратным звеном технологии деревообработки является сушка древесины. Основная задача при проведении процесса сушки – обеспечить равномерное удаление влаги из древесины до конечного значения при наименьших энергозатратах и наименьшей продолжительности сушки, с условием сохранения качества высушенной древесины.

Около 90 % сушильных камер для сушки пиломатериалов, используемых в России, являются конвективными. Основными недостатками таких камер являются: неравномерное просыхание древесины в штабеле, повышенный брак, продолжительное время процесса сушки, повышенные энергозатраты. Кроме того, технический износ оборудования на предприятиях в настоящее время составляет около 60-80 %. Необходимо обновление производственных цехов современным оборудованием, модернизация старых установок.

Постановка задачи. По своей конструкции большинство конвективных сушильных камер схожи и имеют нижний и верхний циркуляционные каналы, разделенные ложным потолком. В верхнем циркуляционном канале установлены калориферы и вентиляторы, а в нижний канал на вагонетках закатываются штабеля сушимого материала. В качестве энергоносителя (рабочего агента сушки) используется воздух. В таких сушильных камерах течение энергоносителя происходит по замкнутому контуру, с резким поворотом потока на 180 градусов в двух областях камеры. Такое течение является турбулентным и характеризуется наличием завихрений и потоков с обратным течением, неравномерным распределением по сечению сушильной камеры. Все эти факторы негативно сказываются на качестве сушки в целом и являются актуальным направлением научных исследований, способствующих решению проблемы энергоэффективности и продолжительности сушки древесины [1, 2, 3].

Решение задачи. Рассмотрим аэродинамическую обстановку на примере конвективной сушильной камеры «ЦНИИМОД-49» производства фирмы «Уралдрев-ИНТО».

В работе приводится пример модели движения и распределения рабочего агента в сушильной установке для камерной сушки пиломатериала периодического действия средствами системы ANSYS [4, 5]. Модель движения и распределения рабочего агента основывается на использовании моделей воздухообмена и распределения энергоносителя во внутреннем объеме сушильной камеры. Основой таких моделей могут служить уравнения:

– неразрывности:

$$\nabla \cdot V = 0, \quad (1)$$

где ∇ – дивергенция; V – вектор скорости; – движения:

$$\rho \frac{dV}{dt} = -\nabla \cdot p + \mu \cdot \nabla^2 \cdot V, \quad (2)$$

где ρ – плотность среды; t – время; p – статическое давление; μ – динамический коэффициент вязкости; – энергии:

$$\rho \cdot c_v \frac{dT}{dt} = k \cdot \nabla^2 \cdot T + \Phi, \quad (3)$$

где c_v – молярная теплоемкость газа; T – температура; k – теплопроводность; Φ – диссипативный член.

Уравнения (1) и (2) записаны относительно переменных p и V . Для решения уравнений Навье-Стокса для несжимаемой жидкости примитивные переменные p и V заменяются на функцию тока ψ и завихренность ω . Подход с использованием завихренности и функции тока в качестве независимых переменных является одним из самых распространенных методов решения двумерных уравнений Навье-Стокса для несжимаемой жидкости. В нем делают замену переменных, переходя от компонент скорости к функции тока ψ и завихренности ω . В декартовых двумерных координатах функция тока и завихренность определяются как:

$$\frac{d\psi}{dy} = u, \quad \frac{d\psi}{dx} = -v, \quad (4)$$

$$\omega = \frac{dV}{dx} - \frac{du}{dy}. \quad (5)$$

Используя новые независимые переменные функции тока ψ и завихренности ω , получаем параболическое уравнение с частными производными:

$$\frac{d\omega}{dt} + u \frac{d\omega}{dx} + v \frac{d\omega}{dy} = \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{d^2\omega}{dx^2} + \frac{d^2\omega}{dy^2} \right). \quad (6)$$

Для его решения можно применять численные методы решения нелинейного уравнения Бюргерса.

Дополнительное уравнение для независимых переменных ψ и ω :

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{d^2\psi}{dy^2} = -\omega. \quad (7)$$

Это эллиптическое уравнение с частными производными является уравнением Пуассона. В результате такой замены переменных возможно разделить смешанную эллиптически-параболическую систему уравнений Навье-Стокса для несжимаемой жидкости на одно параболическое уравнение и одно эллиптическое [6]. Обычно эти уравнения решают методом установления по времени. Полученные уравнения решаются методом сеток в среде системы ANSYS, с учетом конструктивных особенностей сушильной камеры, начальных и граничных условий.

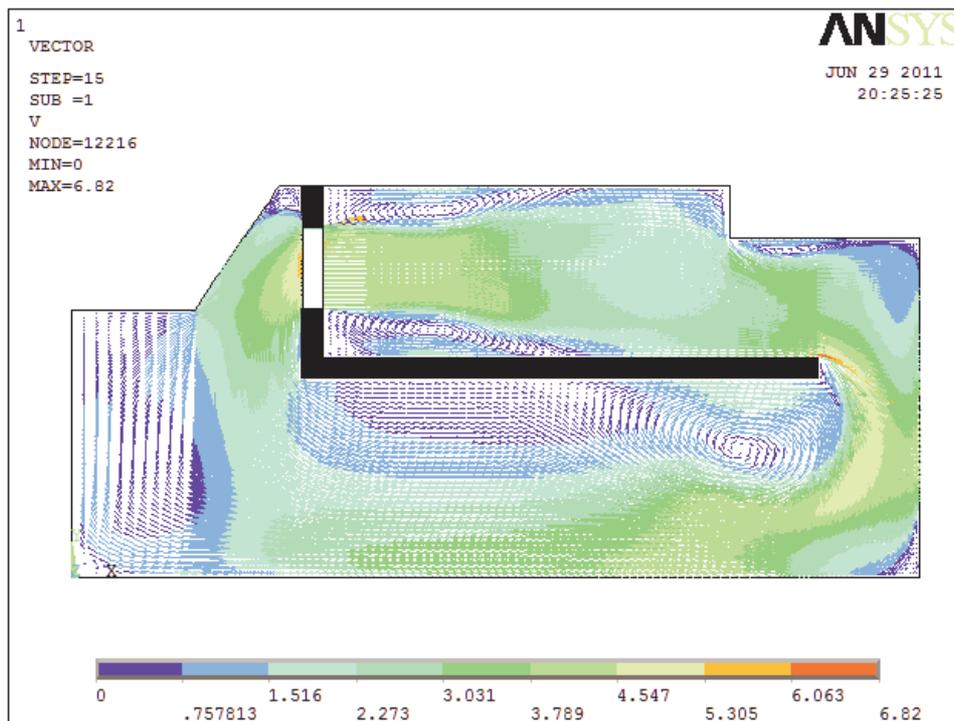


Рис. 1. Векторы скорости рабочего агента в сушильной камере «ЦНИИМОД-49»

При проведении экспериментальных исследований направления и скорости потока энергоносителя выяснилось, что значения скорости сильно отличаются по высоте сечения нижнего циркуляционного канала (рис. 1). Скорость потока в верхней части нижнего циркуляционного канала составляет 1-1,5 м/с, в нижней – 3-4 м/с. Максимальное значение скорости (МХ) определяется в верхнем циркуляционном канале при повороте рабочего агента в боковой канал и составляет 6,82 м/с.

Анализ полученной аэродинамической картины в векторной форме показывает значительную неравномерность распределения значений векторов скорости по высоте нижнего циркуляционного канала, кроме того, в верхней части циркуляционного канала обнаружено завихрение потока рабочего агента. А так как энергоподвод к сушиму материалу однозначно зависит от скорости энергоносителя, то очевидно, что в штабеле пиломатериала будет наблюдаться отклонение конечного влагосодержания от заданного, что, в свою очередь, является причиной технологического брака [7, 8]. К тому же, для досушки верхней части штабеля необходимо увеличить продолжительность сушки, что ведет к дополнительному расходу электрической и тепловой энергии.

Для выравнивания потока энергоносителя по высоте была проведена серия экспериментов в лабораторных условиях на модели сушилки «ЦНИИМОД-49» в масштабе 1:25 по подбору конфигурации, количества и месторасположения направляющих устройств для выравнивания входного профиля [9]. В конечном итоге получено наиболее рациональное распределение профиля скорости при установке двух направляющих устройств (рис. 2).

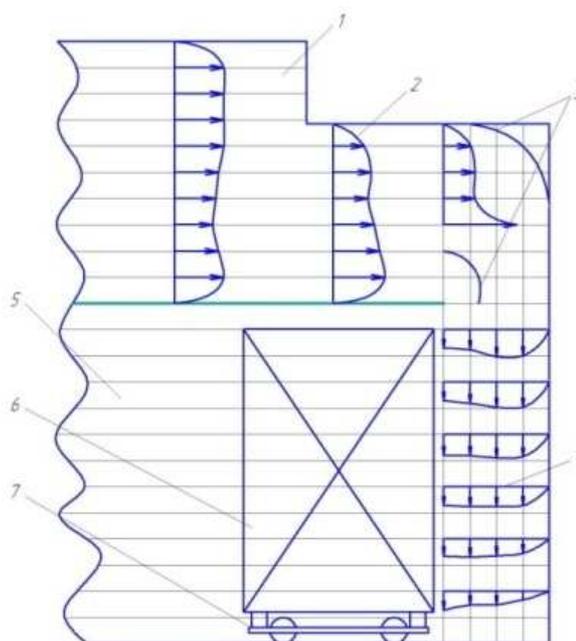


Рис. 2. Схема распределительной зоны камеры с установленными направляющими устройствами: 1 – сушильная установка; 2 – профили скорости; 3 – распределительные устройства; 4 – зона распределения рабочего агента; 5 – рабочая зона; 6 – штабель сушимо пиломатериала; 7 – вагонетка

Полученные поля скорости показывают, что поток рабочего агента равномерно распределяется по всей высоте штабеля и проходит через него с одинаковой скоростью (рис. 3). Скорость рабочего агента в штабеле составляет около 2 м/с, что является оптимальным значением для проведения сушки.

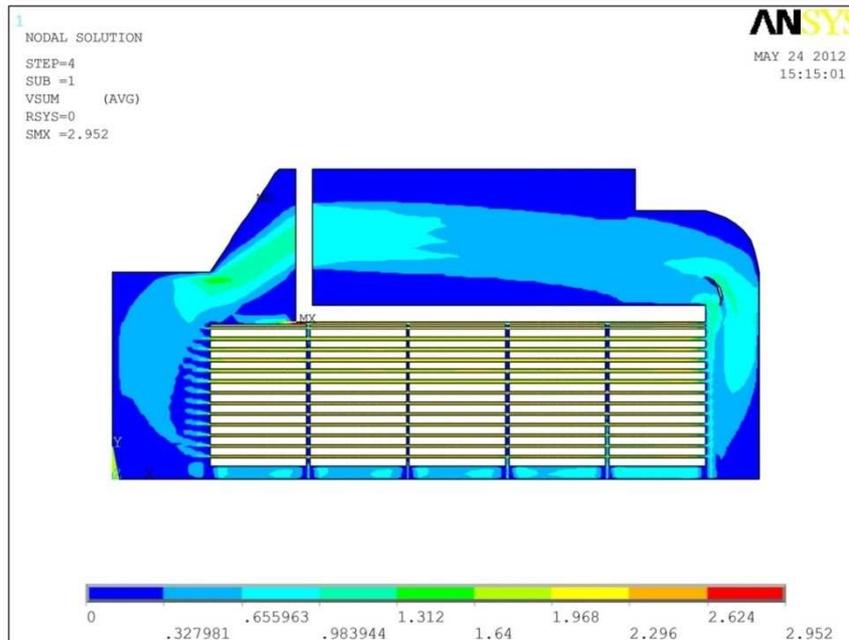


Рис. 3. Поля скорости рабочего агента в сушильной камере «ЦНИИМОД-49» с направляющими устройствами

Выводы

Зная номинальную мощность сушильной камеры и определив продолжительность сушки пиломатериалов, при выровненном потоке энергоносителя по высоте штабеля (при помощи направляющего устройства) можно оптимизировать рабочие характеристики камеры, а именно, сократить время сушки на 10-15 часов за один цикл и снизить брак продукции до 6 %, экономия электрической и тепловой энергии будет достигать 15-20 %.

Таким образом, равномерный подвод энергоносителя и оптимизация аэродинамического совершенства камеры являются одними из основных задач энергосбережения и повышения качества готовой продукции для конвективных камер для сушки древесины на лесопромышленном предприятии.

Литература

1. Федяев А.А. Разработка и научное обоснование теплотехнических приемов и технических решений для повышения энергетической эффективности теплотехнологического оборудования: дис. ... д-ра техн. наук. М, 2008. 269 с.
2. Федяев А.А. Энергосбережение при сушке пиломатериалов за счет кинетической оптимизации // Вестн. Краснояр. гос. ун-та. 2008. № 1. С. 228-232.
3. Видин Ю.В., Федяев А.А. Энергосбережение при сушке текстильных материалов сложной формы // Вестн. Краснояр. гос. техн. ун-та. 1999. № 19. С. 139.
4. Федяев А.А., Наговицын Д.А. Вычислительный эксперимент с применением универсальной программной системы конечно – элементного анализа ANSYS // Труды Братского государственного университета: Сер. Естественные и инженерные науки. Братск: Изд-во БрГУ, 2012. Т. 2. С. 185.
5. Федяев А.А., Наговицын Д.А. Исследование эффективности направляющих устройств технологического оборудования с помощью системы ANSYS // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2012. № 2. С. 21-24.
6. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоиздат, 1984. 296 с.

7. Федяев А.А., Федяева В.Н., Данилов О.Л. Конвективная камерная сушилка: пат. 2215251 Рос. Федерация. № ; заявл. 06.02.02; опубл.

8. Федяев А.А., Федяева В.Н., Видин Ю.В. Математическое моделирование динамики процессов тепловлажностной обработки капиллярно-пористых коллоидных материалов // Техника и технологии. 2008. № 1. С. 68 – 75.

9. Федяев А.А., Наговицын Д.А. Совершенствование распределения энергоносителя в канале конвективной сушильной камеры для сушки древесины // Труды Братского государственного университета: Сер. Естественные и инженерные науки. Братск: Изд-во БрГУ, 2012. Т. 2 С. 185 с.

References

1. Fedyaev A.A. The development and scientific justification of thermal methods and technical solutions to improve energy efficiency of thermal processing equipment: dis. ... d-ra tekhn. nauk. M, 2008. 269 s.
2. Fedyaev A.A. Energy savings in drying lumber due to the kinetic optimization // Vestn. Krasnoyar. gos. un-ta. 2008. № 1. S. 228-232.
3. Vidin Yu.V., Fedyaev A.A. Energy-saving when drying the compound shape textile materials // Vestn. Krasnoyar. gos. tekhn. un-ta. 1999. № 19. S. 139.
4. Fedyaev A.A., Nagovitsyn D.A. The computational experiment using a universal program of the finite - element analysis ANSYS // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta: Ser.: Estestvennye i inzhenernye nauki – razvitiyu regionov Sibiri. Bratsk: Izd-vo BrGU, 2012. T. 2. S. 185.
5. Fedyaev A.A., Nagovitsyn D.A. The effectiveness study of the manufacturing equipment guide devices using the ANSYS system // Sovremennye tekhnologii. Sistemny analiz. Modelirovaniye. 2012. № 2. S. 21-24.
6. Patankar S. Numerical methods for solving problems of heat exchange and fluid dynamics. M.: Energoizdat, 1984. 296 s.
7. Fedyaev A.A., Fedyaeva V.N., Danilov O.L. Convectional chamber dryer: pat. 2215251 Ros. Federatsiya. № ; ; zayavl. 06.02.02; opubl.
8. Fedyaev A.A., Fedyaeva V.N., Vidin Yu.V. Mathematical modeling of the dynamics of the heat and humidity treatment processes of capillary-porous colloidal materials // Tekhnika i tekhnologii. 2008. № 1. S. 68 – 75.
9. Fedyaev A.A., Nagovitsyn D.A. Improving the energy carrier distribution in the channel of the convective drying chamber for drying wood // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta: Ser.: Estestvennye i inzhenernye nauki – razvitiyu regionov Sibiri. Bratsk: Izd-vo BrGU, 2012. T. 2. 185 s.