

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Проведено комплексное экспериментальное исследование в промышленных и лабораторных условиях газодинамики сушильной камеры с целью направленного перераспределения энергоподвода в рабочей зоне финских установок фирмы «Valmet». Численное моделирование процессов гидродинамики и теплообмена выполнено с помощью современного вычислительного комплекса PHOENICS. Доказана возможность управления неравномерностью интенсивности сушки при выравнивании профилей скоростей при неизменных начальных параметрах теплоносителя.

Ключевые слова: экспериментальные расчетные исследования, сушилки, аэродинамика, газонаправляющее устройство, энергоэффективность.

Одной из основных целей Федеральной программы «Энергоэффективная экономика», принятой правительством России 17 ноября 2001 г. и рассчитанной на период до 2010 г., является значительное повышение энергоэффективности энергоемких производств, к которым относится и такая технологическая стадия производства строительной продукции как ее термовлажностная обработка, не только за счет создания и совершенствования энергосберегающего оборудования, но и технологий.

Повышение КПД теплотехнологических сушильных установок (СУ) всего на 10% (а сегодня его величина редко превышает 30-32%) позволит экономить около 9% планируемого ежегодного объема экономии по стране. Актуальность проблемы экономии энергии именно при тепловой сушке обусловлена тем, что последняя характеризуется высокой энергоемкостью. Согласно [1] расход котельно-печного топлива на сушку только по девяти наиболее энергоемким отраслям промышленности России (химической, машиностроительной, угольной промышленности и др.) составляет около 2% т. условного топлива. В тоже время средний КПД сушильных установок редко превышает 33%. Повышение КПД сушильных установок (СУ) вдвое позволило бы экономить ежегодно 50-55 млн. т. условного топлива, что составляет около 30 % планируемого ежегодного объема экономии по стране.

Разработанная и одобренная правительством РФ «Энергетическая стратегия России до 2020 г.» как и Федеральная целевая программа «Энергоэффективная экономика» предусматривает в числе основных приоритетов резкое повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов на основе внедрения энергосберегающих технологий и оборудования, их совершенствования и рационального практического применения.

Частью проблемы обеспечения необходимых качественных показателей продукции и экономии топлива, энергии и капитальных затрат является решение задачи интенсификации сушки, которая требует широкомасштабных исследований и разработок с целью создания современных СУ.

Для разработки методов инженерного расчета и анализа СУ необходима информация о процессах, развивающихся в их элементах. Но поскольку такая информация по своему объему зачастую недостаточна, требуется принятие конкретных технических решений в условиях неопределенности. В таких ситуациях особенно эффективно применение

методов математического моделирования сушильных и смежных процессов на ЭВМ, а также комплексных экспериментальных исследований гидродинамического совершенства существующих рабочих камер и технологических процессов как в промышленных, так и лабораторных условиях.

Общая производительность сушильного цеха деревообрабатывающего завода ОАО «Целлюлозно-картонный комбинат», в котором установлены 24 сушильных камеры для термообработки пиломатериалов финской фирмы «Валмет», составляет 354000 м³/год. Сушильные машины фирмы «Валмет» — это установки непрерывного действия с продольной циркуляцией воздуха и поперечным размещением штабелей в камере, предназначенные для сушки пиломатериалов [2] при изготовлении деталей и строганных заготовок авто-вагоно-сельхозмашиностроения до транспортного влагосодержания 18-22%, а также для сушки пиломатериалов с эксплуатационным влагосодержанием 8-12%, предназначенных для производства мебели.

Сложность задачи выявления резервов рационального энергоиспользования усугубляется наличием в крупногабаритных СУ неравномерности скорости сушки, а значит и неравномерности тепло- и массообмена, в различных зонах по высоте штабелей пиломатериалов. Это обстоятельство во многом предопределяет технологический брак выпускаемой продукции, а также дополнительный рост нерасчетных капитальных и энергетических затрат. Так, до 3-4% высушиваемого материала имеют не только повышенное влагосодержание, но и брак в виде коробления и растрескивания, которые также проявляются и в готовых изделиях.

Основной причиной подобных дефектов является образование недопустимо больших остаточных внутренних напряжений при нарушениях режимов сушки, вызванных неравномерностью распределения полей скоростей сушильного агента по поперечному сечению рабочей камеры, а значит и полей влагосодержаний и протекающими в материале тепло- и массообменными процессами вследствие различного к нему энергоподвода.

Последнее подтверждается прямым промышленным экспериментом, целью которого явилась оценка аэродинамических характеристик в одной из камер сушки. Исследование скоростного режима сушилки было проведено на участке подачи и распределения сушильного агента в рабочую камеру. В рабочей зоне СУ поперек потока сушильного агента размещалось 12 штабелей пиломатериалов, в каж-

дом по три вертикально расположенных пакета, в одном пакете 8 м³ досок (рис. 1).

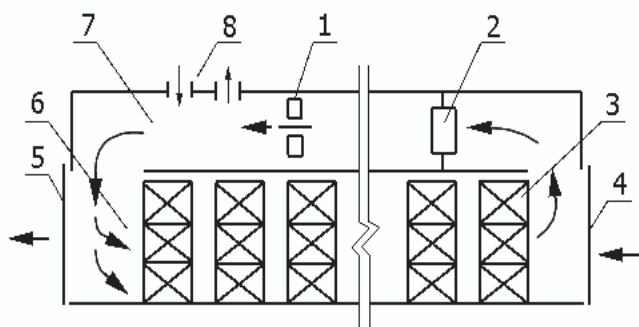


Рис. 1. Схема конвективной сушильной камеры.

1 – осевой вентилятор; 2 – паровой калорифер; 3 – штабель сушильного материала; 4 – загрузочное устройство; 5 – разгрузочное устройство; 6 – узел подачи и распределения сушильного агента в рабочей зоне; 7 – зона подачи сушильного агента; 8 – узел рециркуляции теплоносителя.

Продольная циркуляция сушильного агента осуществлялась тремя осевыми вентиляторами суммарной производительностью 210000 м³/час. Установка работала с частичной рециркуляцией сушильного агента (около 4,5%), который подогревался с помощью ребристых паровых калориферов до температуры 45-65 °С. Периодически, с интервалом около 12 часов, один штабель высушенного материала удалялся через герметичные двери участка подачи агента суши, другой подавался в противоположном загрузочном конце СУ.

Результаты опытного исследования аэродинамики камеры в «холодных» режимах подтверждают, что различная скорость сушки по высоте штабелей обуславливается неодинаковыми гидродинамическими условиями.

Так, например, в рабочей зоне участка подачи и распределения теплоносителя отмечается значительная неравномерность как продольных (вблизи торцов пиломатериалов наблюдается рост скорости сушильного агента до 25%), так и вертикальных профилей скорости (падение скорости до 50%, а также наличие обратных потоков в верхней и повышение скорости почти в 2 раза в нижней части камеры) (рис. 2, А).

Так, например, в рабочей зоне участка подачи и распределения теплоносителя отмечается значительная неравномерность как продольных, так и вертикальных профилей скорости. Вблизи торцов пиломатериалов наблюдается рост скорости сушильного агента до 25 %. В вертикальных профилях происходит падение скорости до 50%, а также фиксируется наличие обратных потоков в верхней и повышение скорости почти в 2 раза в нижней частях камеры (рис. 2, А).

Выравнивание профилей скорости сушильного агента, а значит и выравнивание процессов тепло-массопереноса влаги по сечению материала за счет перераспределения потока теплоносителя, исключение застойных зон и т.д., то есть умение управлять аэродинамической обстановкой в рабочей зо-

не СУ, приводит к снижению брака из-за неравномерности сушки как по высоте, так и ширине штабеля пиломатериалов и, соответственно, к снижению нерасчетных эксплуатационных расходов.

Варьирование скорости теплоносителя в локальных зонах приводит и к изменению в них его расхода G кг/с, который однозначно связан с количеством подводимого тепла к сушиму материалу

$$Q = G \cdot C_m \cdot (t_{c.a.} - t_{нм}), \text{ кДж/кг,}$$

где $t_{c.a.}$ и $t_{нм}$ – температуры сушильного агента (теплоносителя) и пиломатериалов, соответственно; °С; C_m – удельная теплоемкость агента суши, кДж/кг·°С.

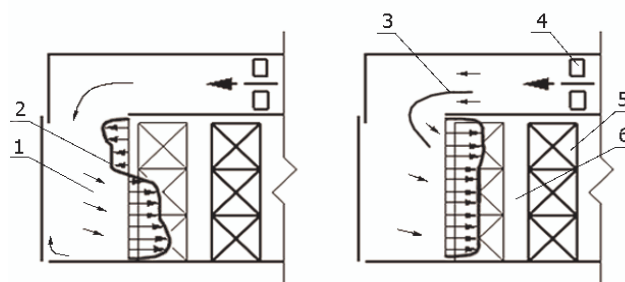


Рис. 2. А – Существующая схема узла подачи сушильного агента в рабочую зону. Б – схема узла с дополнительным распределительным устройством,

где 1 – узел подачи и распределения сушильного агента в рабочую зону; 2 – профиль скорости теплоносителя на входе в рабочую зону; 3 – дополнительное распределительное устройство; 4 – осевой вентилятор; 5 – штабель сушильного материала; 6 – рабочая зона сушильной камеры.

Данные численных исследований процессов гидродинамики и теплообмена, выполненных с помощью вычислительного комплекса PHOENICS, согласуются с экспериментальными данными, это очевидно из представленного на рис. 3 расчета аэродинамики рассмотренного выше узла подачи и распределения сушильного агента в трехмерной постановке. Последнее свидетельствует о широких возможностях использования расчетного комплекса и предлагаемой К-Е модели турбулентности [3] для поиска рациональных аэродинамических режимов работы различных теплотехнологических агрегатов при рассмотрении подобного рода задач [4,5,6,]. Особенности данного метода и достаточно полное изложение основ представлено в работах [7,8,9].

Экспериментальные исследования в лабораторных условиях позволяют также найти рациональные решения для регулирования аэродинамической ситуации в рабочей камере. Факторы, способствующие оптимизации аэродинамической обстановки начального (разгрузочного) участка камеры были выявлены по результатам серии экспериментальных исследований, выполненных с помощью разработанной и изготовленной в масштабе 1:50 модели СУ производства фирмы «Valmet».

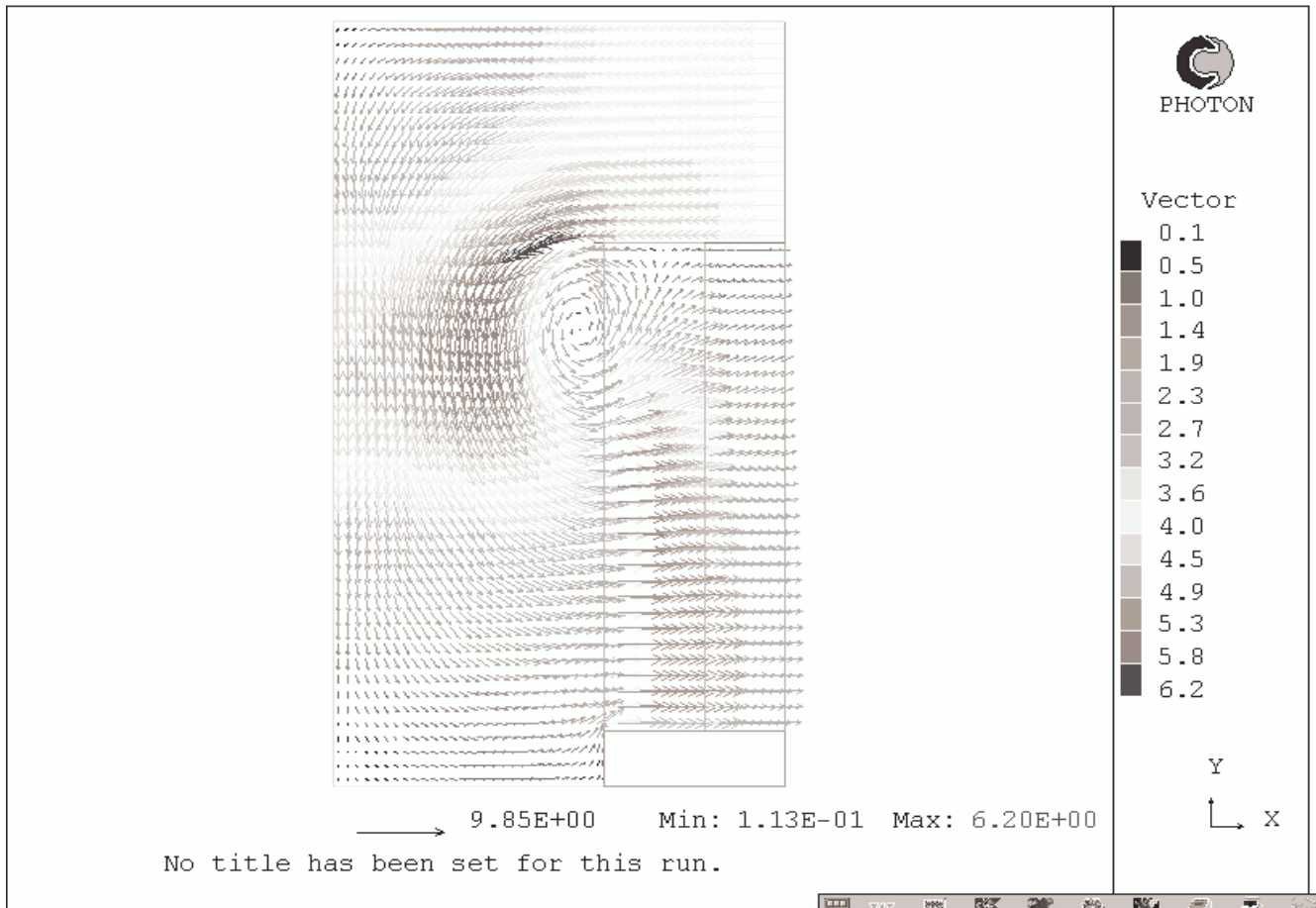


Рис. 3. Распределение профилей скорости в узле подачи и распределения теплоносителя сушильной установки.

Измерение профилей скорости в лабораторных условиях проводилось с помощью прецизионной термоанемометрической аппаратуры отечественного производства, работающей в режиме постоянной температуры в комплекте с одноточечным стандартным датчиком с диаметром нити 5 мкм.

Осредненные профили потоков измерялись с помощью миниатюрного щелевого насадка полного давления в комплекте с микроманометром с наклонной трубкой. Скорости воздушных потоков менее 0,6 м/с замерялись — с помощью термоанемометра. На специально разработанной аэродинамической установке [4] проводились тарировки зондов термоанемометра и пневмотрубок. Направление аэродинамических потоков определялось с помощью флажка. Режим течения – турбулентный, число Рейнольдса составило $Re_d = 2,3 \cdot 10^4$.

Измерение динамических характеристик потоков на опытном стенде и при прямом промышленном эксперименте проводилось в 7-ми вертикальных сечениях узла подачи и распределения сушильного агента 1 (рис. 2, А). Каждое такое сечение разбивалось на 80 квадратов (поперечное сечение реальной сушильной установки: высота — 7,7 м, ширина — 7,0 м). В каждом квадрате определялось осредненное значение скорости в направлении максимального вектора. Средняя скорость потока при лабораторных исследованиях в рабочей зоне соответствовала скорости сушильного агента

при промышленных испытаниях сушильной машины и составляла порядка 3,5 м/с.

Анализ эюр-скоростей в узле подачи и распределения сушильного агента как по вертикальным, так и по горизонтальным сечениям (10 горизонтальных сечений по высоте рабочей зоны — 5,3 м) показал наличие (особенно в вертикальном сечении — непосредственно перед первым штабелем сушильного материала) обширной застойной зоны с обратным движением теплоносителя (рис. 2, А) в верхней части на входе в рабочую зону камеры 6. Это обстоятельство предопределяет неблагоприятные условия для сушки не только для верхнего пакета первого штабеля, но и, очевидно, для последующих штабелей сушеного материала по длине рабочей зоны. Выравнивание профиля скорости на входе в рабочую зону перед первым штабелем пиломатериалов приведет к равномерному распределению теплового потока, а значит и интенсивности сушки по высоте штабеля.

Для достижения этой цели была проведена серия экспериментов, в которых с помощью дополнительного распределительного устройства в виде фасонной пластины разной конфигурации осуществлялось перераспределение потока теплоносителя во входном сечении рабочей зоны камеры сушки.

В конечном итоге были определены форма фасонной пластины и место расположения распределительного устройства, которые позволили

получить практически равномерную эпюру скорости (рис. 2, Б) перед первым штабелем сушильного материала.

Равномерный энергоподвод, а значит, и равномерная интенсивность сушки пиломатериалов позволяет не только снизить технологический брак из-за повышенного влагосодержания, но и улучшить качество выпускаемой пилопродукции за счет уменьшения пересыхания материала.

Снижение брака по указанным выше причинам только на 1% позволит в год получить дополнительно порядка 146 м³ кондиционной продукции на одну сушильную камеру или около 3504 м³ в целом по заводу. Таким образом, результаты проведенной работы имеют практическое применение.

В процессе исследований также были экспериментально выявлены причины брака, возникающего при сушке пиломатериалов, величина которого, в частности, из-за неравномерности сушки по высоте штабеля материала достигает 3% и более.

Также было проведено комплексное экспериментальное исследование в промышленных и лабораторных условиях аэродинамического совершенства сушильной камеры с целью направленного перераспределения энергоподвода в рабочей зоне. И доказана возможность управления неравномерностью интенсивности сушки пиломатериалов при выравнивании профилей скоростей и неизменных начальных параметрах теплоносителя.

Литература

1. Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов. Опыт и практика СССР, ВНР, ГДР и ЧССР [Текст] / под ред. Д. Б. Вольфберга. — М. : Энергоатомиздат, 1983. — 280 с.

2. Лыков, В. М. Сушка в химической промышленности / В. М. Лыков. — М. : Химия, 1970. — 430 с.

3. Роди, В. Примеры моделей турбулентности для течения несжимаемой жидкости / В. Роди. // Аэрокосмическая техника. — 1983. — Т. 1. — № 2. — С.112 — 119.

4. Видин, Ю. В. Энергосбережение при сушке текстильных материалов сложной формы / Ю. В. Видин, А. А. Федяев // Вестн. КГТУ / Краснояр. гос. ун-т. — 1999. — Вып. 19. — С. 139 — 142.

5. Федяев, А. А. Совершенствование сопловых сушилок лущеного шпона / А. А. Федяев : материалы конф. «Теплоэнергетика и технологии». — Каунас : КТУ, 2000. — С. 59 — 62.

6. Федяев, А. А. Снижение внеплановых энергозатрат при управлении аэродинамическими режимами в топке котла / А. А. Федяев // Изв. высш. учеб. заведений. Сер. Проблемы энергетики / Казан. гос. энерг. ин-т. — 2000. — № 3 — 4. — С. 36 — 40.

7. Патанкар, С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С. Патанкар. — М. : Энергоиздат, 1984. — 296 с.

8. Вычислительное моделирование конвективного переноса в технологических установках / С. В. Жубрин, Н. И. Павицкий, В. В. Смагин, А. П. Хрупов. — М. : МЭИ, 1986. — 44 с.

9. Мотулевич, В. П. Численные методы расчета теплообменного оборудования / В. П. Мотулевич, С. В. Журбин. — М. : Изд-во МЭИ, 1988. — 54 с.

10. Данилов, О. Л. Экономия энергии при тепловой сушке / О. Л. Данилов, Б. И. Леончик. — М. : Энергоатомиздат, 1986. — 136 с.