

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 62-94

Влияние непроизводительных потоков агента сушки на качество пилопродукции

А.А. Федяев¹, Д.А. Наговицын¹

¹Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия. E-mail: vends@newmail.ru
Статья поступила 19.03.2012, принята 18.09.2012

В статье описывается одна из проблем сушки пиломатериалов в конвективной сушильной камере – неравномерный подвод рабочего агента сушки и наличие непроизводительных потоков. Это является причиной повышенного влагосодержания и брака готовой продукции. Для того чтобы довести сушимый материал с повышенным влагосодержанием до кондиционного состояния необходимо увеличить расход электрической и тепловой энергии на досушку пиломатериалов, а соответственно и продолжительность периода сушки. Равномерная сушка пиломатериалов достигается циркуляцией рабочего агента с одинаковой скоростью в каждом горизонтальном промежутке между пиломатериалами. Для определения наличия непроизводительных потоков в работе использовались современные программные средства для математического моделирования аэродинамики сушильной камеры. Полученные результаты позволяют наглядно определить распределение рабочего агента в камере и зоны, в которых образуются непроизводительные потоки. С использованием математической модели и полученных результатов можно проводить дальнейшие исследования по совершенствованию аэродинамики сушильной камеры.

Ключевые слова: сушка пиломатериалов, укладка пиломатериалов, скорость циркуляции агента сушки, влажность пиломатериалов, неравномерность сушки.

Influence of unproductive flows of drying substance on the quality of sawtimber

A.A. Fedyaev¹, D.A. Nagovitsyn¹

¹Bratsk State University, 40 Makarenko str., Bratsk, Russia. E-mail: vends@newmail.ru
The article received 19.03.2012, accepted 18.09.2012

This article covers one of the problems connected with lumber drying in the convective dryer, namely, the drying substance uneven supply input and the presence of unproductive flows. This is the cause for the increased moisture content and finished product defects. To bring the dryable material with high moisture content up to standard conditions, it is necessary to increase the electricity and heat consumption for additional drying of lumber, and, accordingly, the drying period. The uniform lumber drying is achieved by the working substance circulating through each horizontal spacing of timber at the same rate. To determine the unproductive flows presence, modern software for mathematical modeling of the drying chamber aerodynamics were used. The obtained results enable to visually determine the working substance distribution in the chamber and the areas where the unproductive flows are generated. Applying the mathematical model and the obtained results, one can conduct further research to improve the drying chamber aerodynamics.

Keywords: lumber drying, timber stacking, drying agent circulation rate, lumber moisture, uneven drying.

Несмотря на новейшие разработки в области искусственных материалов, спрос на древесину устойчиво растет на протяжении последних лет. Древесина остается одним из основных материалов в строительстве, производстве мебели и других отраслях. Классическая технологическая линия по деревообработке обязательно имеет сушильный цех, в котором в большинстве случаев установлены конвективные сушильные камеры. Процесс сушки является самым сложным, ответственным и наиболее затратным во всей технологической линии. Несмотря на применение современного оборудования и контрольно-измерительных приборов, проблема качества сушки остается актуальной и сегодня.

Как известно, все этапы сложного процесса сушки регламентированы большим количеством нормативных документов, инструкций, ГОСТов, которых следует придерживаться при проведении работ. В условиях современного лесосушильного производства многие факторы, как руководителями, так и непосредственными исполнителями сушильного процесса считаются «мелочами», на которые не всегда обращается должное внимание.

Все существующие инструкции и нормативы рекомендуют формировать сушильный пакет или штабель в виде параллелепипеда со строго вертикальными торцами (рис. 1) [1].

Конструкции пакетов и штабелей должны наиболее рационально вписываться в сушильное пространство камеры, обеспечивая оптимальную аэродинамику. Несмотря на это, во многих сушильных цехах рабочие производят укладку пиломатериала в штабеля, выравнивая лишь один торец, тогда как с другого торца штабеля свисают многочисленные «хвосты», которые во время сушки растрескиваются и коробятся.

Кроме того, между торцами штабелей и продольными стенами сушильной камеры возникают промежутки разной ширины. В этих промежутках при циркуляции рабочего агента (РА) образуются интенсивные «паразитные» потоки, вследствие которых значительные объемы циркулирующего воздуха перемещаются в камере в обход штабелей, тем самым снижая скорость прохождения воздуха непосредственно через пиломатериалы. Как известно, равномерная сушка пиломатериалов достигается циркуляцией РА с одинаковой скоростью в каждом горизонтальном промежутке между пиломатериалами, а неравномерная укладка штабелей приводит к нарушению циркуляции РА, в результате чего отмечается значительная неравномерность конечной влажности пиломатериалов по высоте штабеля [2].

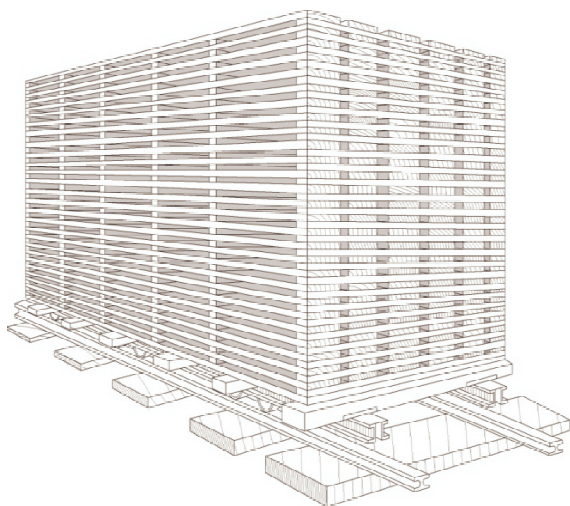


Рис. 1. Способ укладки пиломатериалов в штабель.

Оценим аэродинамическую обстановку на примере конвективной сушильной камеры ЦНИИМОД-49 производства фирмы «Уралдрев-ИНТО», расположенной на предприятии ОАО «Чунский лесопромышленный комбинат». При проведении экспериментальных исследований направления и скорости потока РА, выяснилось, что значения скорости потока значительно отличаются по высоте штабеля. Особенно сильно это различие отмечается по периметру ложного потолка. В этой зоне наиболее вероятно будет наблюдаться неравномерная конечная влажность пиломатериалов по высоте штабеля и, соответственно, повышенный брак продукции.

Согласно проведенным экспериментальным исследованиям, скорость РА колеблется от минимального значения 1,1 м/с в верхней части штабеля до 3,85 м/с в нижней части (рис. 2). Так как величина энергоподвода к сушиму материалу однозначно зависит от скорости энергоносителя, то очевидно, что в указанных зонах

будет отклонение конечного влагосодержания от заданного, что в свою очередь станет причиной технологического брака при сушке пиломатериала.

Для того чтобы довести сушимый материал с повышенным влагосодержанием до кондиционного состояния, необходимо увеличить расход электрической и тепловой энергии на досушку пиломатериалов, а, соответственно, и продолжительность периода сушки.

Общую продолжительность сушки, τ , включая начальный прогрев и влаготеплообработку, как правило, определяют по укрупненным показателям по выражению:

$$\tau = \tau_{исх} \cdot A_p \cdot A_{ц} \cdot A_k \cdot A_b,$$

где $\tau_{исх}$ – исходная продолжительность собственно сушки пиломатериалов заданной породы, толщины (S_1), ширины (S_2) нормальными режимами в камерах с принудительной реверсивной циркуляцией; A_p – коэффициент, учитывающий жесткость применяемого режима сушки; $A_{ц}$ – коэффициент, учитывающий характер и интенсивность циркуляции воздуха в камере; A_k – коэффициент, учитывающий длительность влаготеплообработки и кондиционирования древесины в камере; A_b – коэффициент, зависящий от начальной и конечной влажности, W_n и W_k [3].

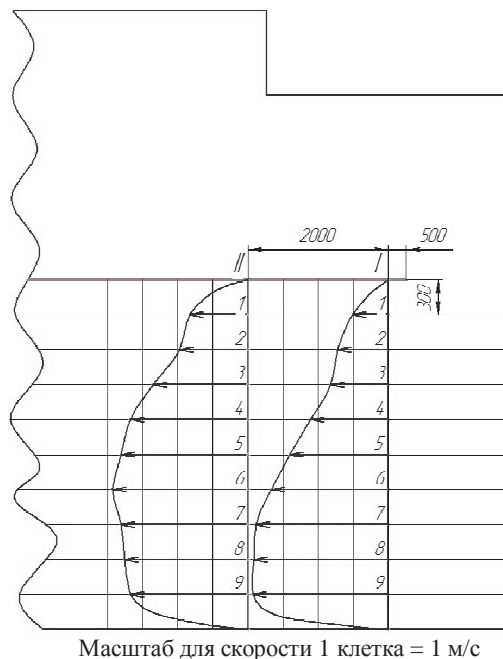


Рис. 2. Эпюры скорости рабочего агента в сушильной камере ЦНИИМОД-49.

Зная номинальную мощность сушильной камеры и определив продолжительность сушки пиломатериалов при выровненном потоке РА по высоте штабеля (например, 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 достигает 15 %.

Таким образом, оптимизация профиля скорости и аэродинамического совершенства камеры является одной из основных задач энергосбережения и повышения

качества готовой продукции для крупногабаритных камер ЦНИИМОД-49 на лесопромышленном предприятии.

На практике же определить зоны, где образуются «паразитные» потоки, довольно сложно, а в некоторых случаях и невозможно из-за конструктивных особенностей камеры сушки. В таком случае можно использовать современные программные средства для моделирования протекающих физических процессов, например, с помощью системы ANSYS.

Так, для выявления наличия «паразитных» потоков в сушильной камере ЦНИИМОД-49 в работе использовался модуль FLOTRAN CFD (расчетная гидрогазодинамика) системы ANSYS. Используя модуль FLOTRAN CFD, можно решить следующие задачи: расчет аэродинамических поверхностей; течение в сверхзвуковых соплах; комплексные трехмерные течения в коленах трубы; расчет давления газа и распределения температур в выхлопном патрубке двигателя; изучение температурной стратификации и разрывов в трубопроводных системах; определение возможности теплового удара; анализ естественной конвекции для определения тепловой производительности микросхем; расчет теплообменников и другие.

Для создания математической модели распределения ПА в объеме камеры поставлена задача в рамках модели вязкого несжимаемого газа, без учета эффектов конвективного теплопереноса и теплопроводности. Массовыми силами при расчете аэродинамики данной камеры сушки пренебрегаем. Течение газа турбулентное, с поворотом на 180°. Турбулентный режим течения характерен турбулентными флуктуациями, вызванными высокой скоростью потока. Модель турбулентности, заданная в ANSYS системой уравнений (1), позволяет учитывать эффект турбулентной флуктуации скорости потока. Турбулентное течение рассматривается как несжимаемое, если плотность жидкости или газа постоянно или жидкость расходует небольшую энергию для сжатия потока. Температурное уравнение для несжимаемого потока пренебрегает изменениями кинетической энергии вязкостным рассеянием (2).

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_y)}{\partial y} &= 0, \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho V_x) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x V_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho V_x V_y) &= \\ -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}(\mu_s \frac{\partial V_x}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_s \frac{\partial V_x}{\partial y}), & \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho V_y) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho V_y V_y) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x V_y) &= \\ -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}(\mu_s \frac{\partial V_y}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_s \frac{\partial V_y}{\partial y}), & \\ \frac{P_{abc}}{\rho} &= (c_p - c_v)T, \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho c_p T_0) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x c_p T_0) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho V_y c_p T_0) &= \\ \frac{\partial}{\partial x}(k_s \frac{\partial T_0}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k_s \frac{\partial T_0}{\partial y}) + W_v + E_k + \Phi + \frac{\partial p}{\partial t}, & \end{aligned} \quad (1)$$

$$T = T_0 - \frac{V^2}{2c_p}, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x k) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho V_y k) &= \\ \frac{\partial}{\partial x}(\mu_t \frac{\partial k}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_t \frac{\partial k}{\partial y}) + \mu_t \Phi - \rho \epsilon, & \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x \epsilon) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho V_y \epsilon) &= \\ \frac{\partial}{\partial x}(\frac{\mu_t \partial \epsilon}{\sigma_\epsilon \partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\frac{\mu_t \partial \epsilon}{\sigma_\epsilon \partial y}) + c_{1\epsilon} \mu_t \frac{\epsilon}{k} \Phi - c_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}, & \end{aligned}$$

где ρ – плотность воздуха; V_x, V_y – проекции вектора скорости воздуха; P_{abc} – абсолютное давление воздуха; p – избыточное давление; T – температура; T_0 – температура торможения; c_p, c_v – удельные теплоемкости воздуха соответственно при постоянном давлении и объеме; μ – физическая (ламинарная) вязкость; μ_t – турбулентная (вихревая) вязкость; μ_s – эффективная вязкость; k – коэффициент теплопроводности; k_t – турбулентная теплопроводность; k_s – эффективная теплопроводность; E_k – кинетическая энергия; ϵ – скорость диссипации кинетической энергии турбулентности; $c_{1\epsilon}, c_{2\epsilon}, \sigma_\epsilon$ – эмпирические константы New k-ε модели; Pr_t – турбулентное число Прандтля.

Полученные поля скорости ПА представлены на рис. 3. Очевидно, что часть ПА направляется мимо штабелей материала в пространство между ложным потолком и штабелями и между полом и вагонетками. «Паразитные» потоки снижают скорость прохождения воздуха через пиломатериалы, которые впоследствии придется досушивать и затрачивать дополнительную энергию.

В качестве вывода можно отметить, что результатами нарушения технологических требований при выполнении формирования сушильных штабелей являются увеличение продолжительности процесса сушки пилопродукции, неравномерность конечной влажности готовой продукции, технологический брак, повышенный расход электроэнергии и теплоносителя. Все эти факторы негативно сказываются на экономическом росте лесопромышленных предприятий.

Для решения проблемы непроизводительных потоков необходимо усовершенствовать конфигурацию камеры, а также проводить процесс сушки в соответствии с инструкциями и выполнять ряд требований, в том числе: заполнять сушильное пространство камеры пилопродукцией одинаковой толщины, формировать штабеля из пакетов по ширине и высоте сушильной камеры таким образом, чтобы обеспечить минимальное расстояние между продольными стенами камер и торцами штабелей.

Наиболее сложной проблемой является совершенствование аэродинамики сушильной камеры с целью снижения неравномерного энергоподвода, например, с помощью специальных направляющих устройств, для чего необходимо проводить дополнительные как расчетные, так и экспериментальные исследования.

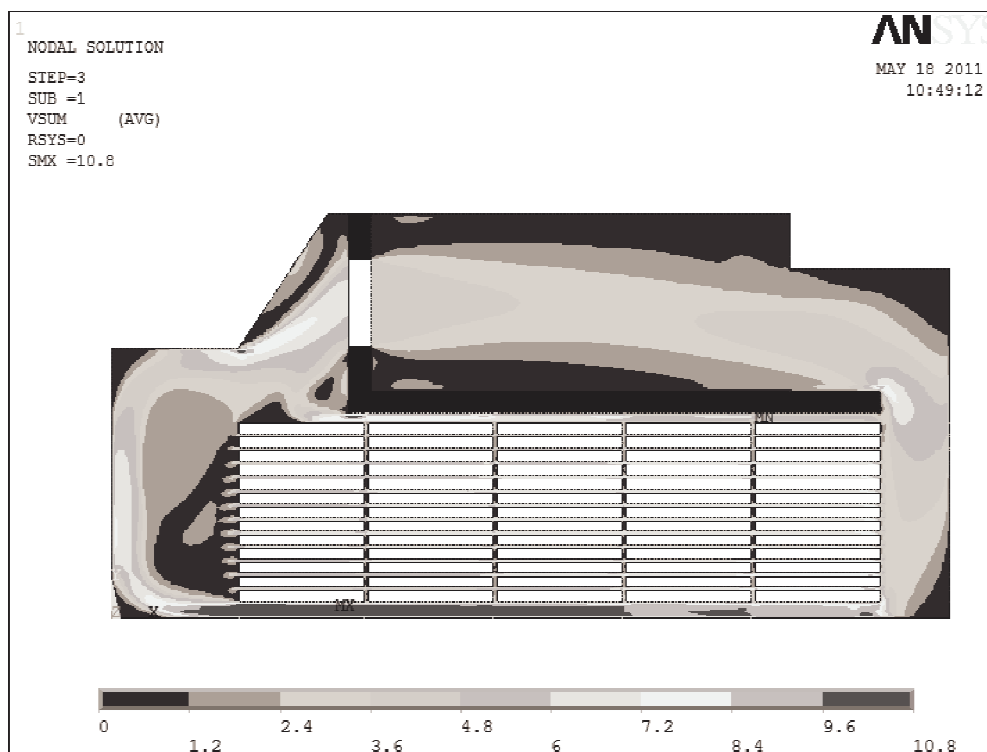


Рис. 3. Поля скорости рабочего агента в сушильной камере ЦНИИМОД-49 с заложеным штабелем.

Литература

1. Пейч Н.Н., Царев Б.С. Сушка древесины. М., Выс. школа, 1971.
2. Федяев А.А. Энергосбережение при сушке пиломатериалов за счет кинетической оптимизации // Вестн. КрасГАУ, 2008.
3. Богданов Е.С., Козлов В.А., Кунтыш В.Б., Мелехов В.И. Справочник по сушке древесины. М., Лесн. пром-сть, 1990.
4. Шабаров В.В. Применение системы ANSYS к решению гидродинамических задач. Н. Новгород, 2006.

References

1. Peych N.N., Tsarev B.S. Timber drying. M.:Vyssh. shkola, 1971.
2. Fedyaev A.A. Energy saving in the process of timber drying due to kinetic optimization // Vestn. KrasGAU, 2008.
3. Bogdanov E.S., Kozlov V.A., Kuntyshev V.B., Melekhov V.I. Reference-book on timber drying. M.: Lesnaya promyshlennost', 1990.
4. Shabarov V.V. ANSYS system application to solve hydrogasodynamic problems. N. Novgorod, 2006.

УДК 630*378.33

Методы снижения гидродинамического сопротивления движению сортиментных плотов при их буксировке

А.Ю. Мануковский¹, Д.А. Макаров¹, К.С. Подойницын¹

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: shtopordm@mail.ru
Статья поступила 13.01.2012, принята 28.08.2012

Проблема возникновения значительных гидродинамических сопротивлений при буксировке сортиментных плотов стоит давно. В статье нами представлены наиболее перспективные методы снижения гидродинамического сопротивления движению сортиментных плотов. Целью работы является повышения эффективности плотового лесосплава путем снижения гидродинамического сопротивления движению плота при его буксировке речными буксирами. Ограниченность осуществления сплава леса в плотях периодом высокой воды (половодье и паводки) задают жесткие рамки времени. Повышение скоростных характеристик плотов даст возможность уменьшить время транспортировки плота. Уменьшение сопротивлений движению плота позволит увеличить предельно допустимую скорость его буксировки, что положительно отразится на эффективности сплава леса. Анализируя конструкции современных плотов, а также методы снижения гидродинамических сопро-