

$$T(x, \tau) = f[W(x, \tau)],$$

которая аппроксимируется по зонам капиллярно-пористого тела кусочно-линейной зависимостью

$$T(x, \tau) = T_{0i} + b_i \bar{W}(x, \tau).$$

Влияние массопереноса в этом случае учитывается введением эквивалентных теплофизических коэффициентов

$$a_{\text{ЭКВ}} = \frac{\lambda}{c_{\text{ЭКВ}} \rho}; \quad c_{\text{ЭКВ}} = c \frac{R_B + \varepsilon}{R_B}.$$

Здесь  $R_B = cb/\Gamma$  — число Ребиндера;  $c, \lambda, a$  — теплоемкость, теплопроводность и температуропроводность материала;  $\varepsilon = d\bar{W}_{\text{исп}}/d\bar{W}_{\text{общ}}$ , где  $\bar{W}$  — среднее объемное влагосодержание материала;  $\Gamma = 0; 1; 2$  — выбирается в зависимости от формы капиллярно-пористого тела (пластина, цилиндр, шар).

Рассмотренные приближенные математические модели могут быть использованы для расчета параметров процесса тепломассопереноса при производстве древесностружечных плит плоского и экструзионного прессования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. — 536 с.
2. Обливин А.Н., Воскресенский А.К., Семенов Ю.П. Тепло- и массоперенос в производстве древесностружечных плит. — М.: Лесн. пром-сть, 1978. — 192 с.
3. Плановский А.Н. Массообмен в системах с твердой фазой. — Теоретические основы химической технологии, 1972, № 6, с. 832—841.
4. Конвалов В.И., Романков П.Г., Соколов В.Н. Теорет. основы хим. технологии, 1975, т. 9, № 2, с. 203.

УДК 674.815—41

В.М.САЦУРА, канд. техн. наук,  
А.В.НОВОСЕЛЬСКИЙ, канд. техн. наук (БТИ)

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР В КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТОМ ТЕЛЕ С ВНУТРЕННИМИ ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛА ПРИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПЕРВОГО РОДА

Увеличение выпуска конструкций жилых домов усадебного типа, производство деревянных панельных домов и комплектов деталей для сельского строительства, предусматриваемое решениями майского Пленума ЦК КПСС (1982 г.), ставит перед деревообрабатывающей промышленностью задачу увеличения производства и расширения ассортимента прогрессивных строительных материалов. Большое значение придается развитию малоэтажного деревянного домостроения. Намечена конкретная программа развития производственной базы индустриального строительства в сельской местности путем строительства новых и расширений действующих предприятий по производству современных панельных домов. В значительной степени решение задачи зависит от того, насколько домостроительные предприятия будут обеспечены

высокоэффективными материалами, в частности древесными плитами строительного назначения, в том числе теплозвукоизоляционными древесностружечными плитами повышенной толщины.

Исследованиями Проблемной лаборатории комплексного использования древесного сырья Белорусского ордена Трудового Красного Знамени технологического института им. С.М.Кирова доказана практическая возможность расширения ассортимента древесностружечных плит за счет применения в качестве связующих жестких пенопластов, в частности пенополиуретанов (ППУ).

Хорошая адгезия к различным материалам, высокие теплозвукоизоляционные свойства, незначительное водопоглощение и способность вспениваться и отверждаться при любой температуре, а также возможность придания огнестойкости пенопластам выгодно отличают ППУ от других связующих. Такое связующее, вспениваясь между частицами древесины после формирования стружечного ковра, заполняет структурные пустоты между ними, прочно связывает частицы между собой и образует при определенных условиях достаточно однородную структуру плиты.

Способность ППУ вспениваться и образовывать за счет многократного увеличения первоначального объема связь между частицами древесины даже при отсутствии контакта между ними позволяет по новой технологии получать плиты плотностью  $100 \text{ кг/м}^3$  и выше.

Изменяя содержание в композиции вспенивающего связующего и степень его вспенивания, а также уплотняя в нужных пределах стружечный ковер, можно получать плиты с заданными характеристиками (плотность, прочность, звуко- и теплоизоляционные свойства и др.).

Использование в качестве связующих пенопластов на основе вязкотекучих композиций (например пенополиуретанов), вспенивание которых происходит при помощи газообразователей или веществ, выделяющихся при химической реакции, а отверждение без дополнительного нагревания, создает ряд преимуществ новой технологии производства древесностружечных плит. В основном благодаря этой технологии резко снижаются энергозатраты на сушку древесных частиц и обогрев пресса. В данном случае можно применять практически любые древесные отходы влажностью 8–16 %, поддерживать температуру плит пресса в пределах  $40\text{--}70^\circ\text{C}$ . При этом выдержка стружечных плит в прессе практически не зависит от их толщины и составляет 6–10 мин, что особенно рационально при изготовлении плит повышенной толщины, пригодных для изготовления внутренних перегородок, наружных панелей и других элементов малоэтажных деревянных домов.

Если существующая технология горячего прессования древесностружечных плит на карбамидных связующих определена необходимостью прогрева сформированной плиты по толщине и сопровождается сложными процессами тепло- и массообмена, то технология производства плит на вспенивающихся пенопластах значительно упрощается. В данном случае не требуется специальный прогрев глубинных слоев формируемой древесностружечной плиты. Процесс вспенивания и отверждения жестких пенопластов в структуре сформированной плиты сопровождается выделением тепла. В результате экзотермической реакции температура внутри пакета достигает  $40\text{--}70^\circ\text{C}$ . Естественно, что для сохранения баланса скоростей вспенивания и отверждения внутри пакета и на его поверхностях целесообразно температуру плит пресса поддерживать в

пределах 40–70 °С. Невысокая температура и сравнительно небольшая длительность процесса формирования таких плит, а также отсутствие при этом свободной влаги исключают процесс парообразования и образование фильтрационных потоков в парогазовой смеси.

В общем теплообменный процесс, протекающий при производстве древесностружечных плит с использованием пенопластов, влияющий на технологический регламент их получения и качество, определяется распределением температур в капиллярно-пористом теле формируемой плиты. Показатель температуры зависит от содержания компонентов реакционной смеси и ее каталитической активности, плотности плиты и теплоемкости наполнителя и т.п. В данном случае мы имеем процесс получения древесностружечных плит с внутренними источниками тепла при граничных условиях I рода.

Теоретически рассмотрим распределение температур в капиллярно-пористом теле с внутренними источниками тепла при граничных условиях I рода.

Для капиллярно-пористых материалов с фильтрационным переносом температурное поле для тел простейшей формы описывается уравнением [ 1 ]

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a_3 \left[ \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\Gamma}{x} \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x} \right] \quad (1)$$

с граничными условиями I рода

$$t(\tau, 0) = T(\tau); \quad \Gamma = 0 \text{ (для пластины)}$$

При наличии внутренних источников тепла уравнение теплопроводности имеет вид

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a_3 \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2} + \frac{q(\tau)}{\gamma c_p} \quad (2)$$

где  $\gamma$ ,  $c_p$  – среднеинтегральные характеристики капиллярно-пористого тела (плотность и теплоемкость соответственно).

В связи с тем что толщина древесностружечной плиты значительно меньше ее длины, осредним градиент температуры по толщине плиты

$$\frac{\partial \bar{t}}{\partial \tau} = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} \frac{\partial t}{\partial \tau} dx = \bar{F}(\tau). \quad (3)$$

Подставим  $\bar{F}(\tau)$  в уравнение (2)

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = - \frac{q(\tau)}{\gamma c_p a_3} + \frac{\bar{F}(\tau)}{d_3} \quad (4)$$

Разрешим уравнение (4) относительно  $t$ , учитывая граничные условия

$$t = - \left( \frac{q}{\gamma c_p d_3} - \frac{\bar{F}(\tau)}{d_3} \right) \frac{x^2}{2} + T(\tau). \quad (5)$$

Определим  $\bar{F}(\tau)$ . С учетом (3) проинтегрируем (5) по  $\tau$ , а затем проинтегрируем от 0 до  $\delta$ .

Учитывая, что

$$\frac{\partial q}{\partial \tau} = \frac{dq}{dt} \frac{dt}{d\tau},$$

получим дифференциальное уравнение первого порядка относительно

$$\frac{\partial \bar{F}}{\partial \tau} - \frac{6a_3}{\delta^2} \bar{F}(\tau) = \frac{1}{\gamma c_p} \frac{\partial q}{\partial \tau} - \frac{6a_3}{\delta^2} \frac{\partial T(\tau)}{\partial \tau} \quad (6)$$

Решая его, определим

$$\bar{F}(\tau) = \exp\left(-\frac{6a_3}{\delta^2} \tau\right) \int_0^\tau \left[ \frac{1}{\gamma c_p} \frac{\partial q}{\partial \tau} - \frac{6a_3}{\delta^2} \frac{\partial T}{\partial \tau} \right] \exp\left(-\frac{6a_3}{\delta^2} \tau\right) d\tilde{\tau} \quad (7)$$

Вычисляя интеграл в уравнении (7) по частям и подставляя в уравнение (5), получим выражение, характеризующее распределение температур в капиллярно-пористой структуре древесностружечной плиты с внутренним источником тепла:

$$T(\delta, \tau) = \frac{\delta^2}{2\gamma c_p} \left[ q(\tau) \frac{a_3 - 1}{a_3} - q(0) \exp\left(-\frac{6a_3 \tau}{\delta^2}\right) - 3a_3 \left[ T(\tau) - T(0) \exp\left(-\frac{6a_3 \tau}{\delta^2}\right) + 3a_3 \exp\left(-\frac{6a_3 \tau}{\delta^2}\right) \int_0^\tau \frac{1}{\gamma c_p} q(\tilde{\tau}) + \frac{6a_3}{\delta^2} T(\tilde{\tau}) \right] \times \right. \\ \left. \times \exp\left(-\frac{6a_3 \tau}{\delta^2}\right) d\tilde{\tau} + T(\tau) \right]$$

Погрешность данного решения зависит от толщины плиты и может быть оценена в каждом конкретном случае отдельно.

Полученное решение позволяет установить распределение температуры по сечению формируемых древесностружечных плит с внутренним источником тепла, а в последующем определить нужный технологический регламент на изготовление качественных древесностружечных плит.

УДК 678.664-405.8

Н.Н.ЦЫБУЛЬКО, А.И.МАНДРИКОВА,  
И.А.ГУРСКАЯ

### ОГНЕСТОЙКИЕ ЖЕСТКИЕ ПЕНОПОЛИУРЕТАНЫ, ПРИГОДНЫЕ ДЛЯ ЗАПОЛНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Применение в строительстве жестких пенополиуретанов (ППУ) при изготовлении легких ограждающих конструкций, а также в качестве связующих при изготовлении древесностружечных плит позволяет сравнительно просто изготавливать легкие трехслойные панели, резко увеличить производительность, снизить энергозатраты и улучшить физико-механические свойства древесностружечных плит [1]. Для успешного использования ППУ в строительстве и в производстве древесностружечных плит необходимо снизить его горючесть и тем самым уменьшить степень пожароопасности строительных объектов.