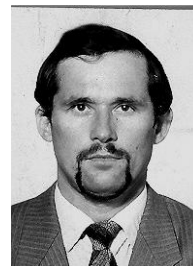


УДК 674.048

Ю.А. Варфоломеев, Л.А. Баданина

Варфоломеев Юрий Александрович родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерных конструкций и архитектуры Архангельского государственного технического университета, заслуженный деятель науки РФ. Имеет около 300 научных трудов в области обеспечения долговечности древесины в строительстве экологически безопасными методами.



Баданина Лариса Александровна родилась в 1968 г., окончила в 1991 г. Ленинградский государственный университет, старший преподаватель кафедры высшей математики Архангельского государственного технического университета. Имеет 6 печатных работ в области математического моделирования процесса консервации древесины.



**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ
ЗАЩИТНОЙ ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ
В АВТОКЛАВАХ**

Решена задача о фильтрации раствора защитного препарата в древесине при переменном внешнем давлении с учетом сжимающегося в порах воздуха; получены зависимости для оптимизации технологических режимов глубокой пропитки древесины в автоклавах.

пропитка древесины защитными препаратами, автоклав, давление, фильтрация, режим, оптимизация.

В последние годы на внутреннем рынке нашей страны из-за роста цен на пиломатериалы зафиксировано увеличение потребительского спроса на деревянные детали, пропитанные экологически безопасными препаратами для защиты от биопоражения. Создано современное отечественное автоклавное оборудование для глубокой пропитки крупногабаритных конструкций и деталей, вводятся в эксплуатацию новые специализированные деревопропиточные заводы [1, 3].

Основной задачей оптимизации автоклавной пропитки деревянных крупноразмерных конструкций и деталей является подбор рациональных технологических режимов, обеспечивающих требуемую глубину проникновения химикатов за минимальный период времени.

Цель исследований – разработать математическую модель процесса пропитки древесины при избыточном давлении в автоклаве для достоверного прогнозирования и оптимизации технологических параметров защитной обработки.

Разработанный ранее метод расчета основан на уравнении фильтрации жидкости в пористом теле. С помощью этого метода нами было рассмотрено проникновение защитного раствора в древесину поперек волокон [2] при следующих условиях (рис. 1, *a*):

1) с одной стороны образца внешнее давление жидкости поддерживается постоянным;

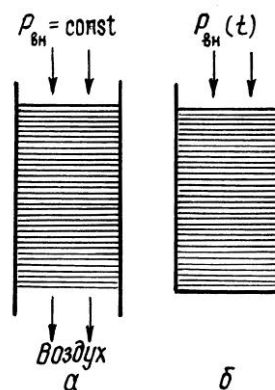
2) под напором жидкости внутренний воздух из пор древесины свободно выходит с противоположной стороны образца.

В настоящей работе решена задача о фильтрации жидкости в древесине при переменном внешнем давлении с учетом сжимающегося в порах воздуха.

Предположим, что процесс фильтрации жидкости в древесине происходит при произвольном и не обязательно постоянном давлении $P_{\text{ат}}$, жидкость движется от наружной поверхности внутрь образца (рис. 1, *б*). Противоположная сторона образца не сообщается с атмосферой и оставшийся в порах древесины воздух сжимается. В начальный момент времени внутри образца находится воздух при атмосферном давлении $P_0 = 1$ атм. В процессе фильтрации жидкость постепенно вытесняет воздух из пор. Оставшийся воздух сжимается, при этом его давление повышается. В расчетах принято, что фронт жидкость–воздух проходит там, где давления жидкости и воздуха равны.

Таким образом, имеем задачу о распределении давлений при наличии движущейся границы раздела двух фаз $\xi(t)$ и скорости движения этой границы. При напоре жидкости происходит фильтрация оставшегося в древесине воздуха. Давление воздуха вблизи фронта жидкость–воздух больше, чем в глубине древесины. Однако коэффициент фильтрации воздуха в древесине во много раз превышает коэффициент фильтрации жидкости. Поэтому скорость фильтрации воздуха на несколько порядков выше. Исходя из предположения, что пока жидкость послойно проникает в древесину, давление воздуха успевает выровняться по всей глубине, считаем, что давление воздуха $P_{\text{возд}}(t)$ зависит от времени t и не зависит от глубины x (расстояния от внутренней поверхности образца). В такой ситуации краевое условие на

Рис. 1. Фильтрация жидкости в древесине при различных условиях пропитки: *a* – внешнее давление жидкости $P_{\text{вн}}$ поддерживается постоянным, оставшийся в порах внутри древесины воздух свободно выходит с противоположной стороны; *б* – внешнее давление жидкости $P_{\text{вн}}(t)$ – переменное, воздух в древесине сжимается



движущейся границе $\xi(t)$ имеет вид $P(\xi(t), t) = P_{\text{аіқә}}(\xi(t), t)$, где $t > 0$, $0 < \xi(t) \leq a$. Согласно закону Бойля – Мариотта, давление оставшегося воздуха $P_{\text{возд}}(t)$ в образце толщиной a в момент времени t .

$$P_{\text{аіқә}}(\xi(t), t) = \frac{a}{a - \xi(t)} P_0.$$

Таким образом, математическая формулировка задачи фильтрации жидкости в древесине с переменным внешним давлением жидкости и учетом сжимающегося воздуха имеет следующий вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{\phi} \frac{\partial P}{\partial x} \right) = \rho_0 \beta_{\text{пл}} \frac{\partial P}{\partial t}, \quad t \geq 0, \quad 0 \leq x \leq \xi(t);$$

$$P(0, t) = P_{\text{аі}}(\xi(t), t), \quad t > 0;$$

$$P(\xi(t), t) = \frac{a}{a - \xi(t)} P_0, \quad t > 0, \quad 0 < \xi(t) \leq a;$$

$$\xi(0) = 0;$$

$$k_{\phi} \frac{\partial P}{\partial x} \Big|_{x=\xi(t)} = -\mu_0 \rho_0 \frac{d\xi}{dt},$$

где ρ_0 – плотность рабочего раствора;

$\beta_{\text{пл}}$ – коэффициент пластичности древесины;

k_{ϕ} – коэффициент фильтрации жидкости;

μ_0 – коэффициент пористости древесины;

$P(x, t)$ – зависимость давления от глубины и времени;

$\xi(t)$ – зависимость глубины проникновения жидкости от времени.

Сформулированная задача допускает произвольные граничные условия. Например, если внешнее давление жидкости в автоклаве переменное, то в граничном условии функция $P_{\text{аі}}(\xi(t), t)$ также не будет постоянной. Нами получено численное решение задачи о фильтрации жидкости с учетом сжимающегося воздуха внутри древесины и при любом внешнем давлении жидкости. В частности, проведен анализ решения при различных условиях:

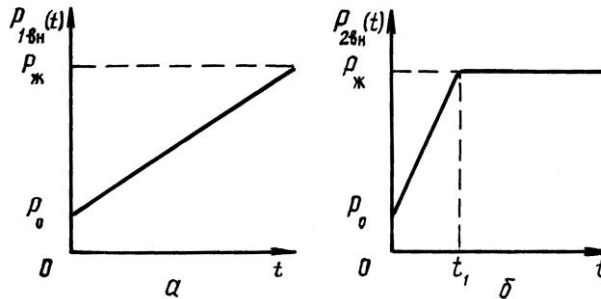
режим 1 – внешнее давление жидкости $P_{\text{аі}}(\xi(t), t)$ равномерно растет (рис. 2, а) в течение всего времени пропитки t' до максимального значения, равного $P_{\text{ж}}$:

$$P_{\text{аі}}(\xi(t), t) = P_0 + \frac{P_{\text{ж}} - P_0}{t'} t;$$

режим 2 – внешнее давление жидкости $P_{\text{аі}}(\xi(t), t)$ сначала линейно растет (рис. 2, б) в течение времени t_1 до тех пор, пока не примет значение, равное $P_{\text{ж}}$, а затем, в течение оставшегося времени, поддерживается на этом уровне:

$$P_{\text{аі}}(\xi(t), t) = \begin{cases} P_0 + \frac{P_{\text{ж}} - P_0}{t_1} t, & t \leq t_1; \\ P_{\text{ж}}, & t > t_1. \end{cases}$$

Рис. 2. Режимы пропитки древесины в зависимости от внешнего давления жидкости: *a* – первый режим; *б* – второй режим



Пропитка древесины по первому режиму не требует наличия насоса большой мощности для подачи антисептического раствора, для второго режима необходим жидкостный насос, позволяющий создавать избыточное давление до 12 атм.

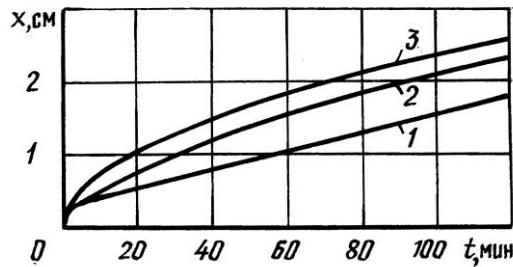
Графики решения задачи при различных краевых условиях приведены на рис. 3. При этом были использованы следующие постоянные величины: $k_{\delta} = 15 \cdot 10^{-4} \frac{\text{а}}{\text{н} \cdot \text{л} \cdot \text{а} \cdot \text{д}}$, $\beta_{\text{в}} = 1,7 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{а} \cdot \text{д}}$, $\mu_0 = 0,6$, $\rho_0 = 1 \frac{\text{а}}{\text{н}^3}$, $P_0 = 1 \text{ атм}$, $a = 5 \text{ см}$, $P_{\text{ж}} = 12 \text{ атм}$.

Анализ этих решений показал, что при пропитке по первому режиму кривая 1 зависимости глубины проникновения жидкости в древесину от времени растет медленнее. Однако, начиная с некоторого t , она близка к линейной, т. е. скорость проникновения жидкости в древесину приблизительно постоянна.

При втором режиме кривая 2 растет быстрее, зависимость глубины пропитки от времени близка к параболе.

Например, по первому режиму за 120 минут пропитывается 2,35 см образца, а по второму режиму для пропитки на эту же глубину требуется 240 мин. По второму режиму за 120 мин жидкость проникает на глубину 1,85 см. Следует отметить, что при пропитке с постоянным внешним давлением и свободно выходящим воздухом (см. рис. 1, *a*) за 120 мин древесина пропитывается на глубину 2,60 см. Из анализа результатов видно, что даже при отсутствии мощного насоса с увеличением продолжительности пропитки можно достичь требуемой глубины пропитки.

Рис. 3. Зависимость глубины x проникновения жидкости в древесину от времени: 1 – первый режим; 2 – второй режим; 3 – точное решение при постоянном внешнем давлении и условии, что оставшийся воздух свободно выходит с противоположной стороны



Разработанная и апробированная математическая модель процесса пропитки древесины в автоклавах позволяет прогнозировать и оптимизировать технологические параметры защитной обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Голенищев А.Н., Варфоломеев Ю.А.* Участок глубокой пропитки древесины защитными средствами в деревообрабатывающем цехе // *Деревообаб. пром-сть.* – 1985. – № 9. – С. 28-29.
2. *Варфоломеев Ю.А., Баданина Л.А., Агапов Д.В.* Решение краевой задачи Стефана для уравнения фильтрации жидкости в древесине: Межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 3. Вестник математического факультета. – Архангельск: ПГУ, 2000. – С. 16–21.
3. Завод автоклавной пропитки древесины в леспромхозе / Ю.А. Варфоломеев, Д.В. Агапов, В.И. Федотов, А.П. Хизов // *Лесн. пром-сть.* – 2000. – № 4. – С. 14.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 03.07.02

Yu. A. Varfolomeev, L.A. Badanina

Investigation of Protective Impregnation Modes in Digesters

The problem of filtration of protective preparation solution in wood has been solved for variable pressure taking into account the air compressed in pores. The dependency for optimizing technological modes of deep wood impregnation in digesters has been obtained.
