

674
8-67

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР**

**Белорусский технологический институт
имени С. М. Кирова**

На правах рукописи

Л.Ф.ДОНЧЕНКО

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЛАКОВОГО ПОКРЫТИЯ
НА ДРЕВЕСИНЕ МЕТОДОМ НАЛИВА**

(Диссертация написана на русском языке)

/ 05.421. - Машины, оборудование и технология лесопильных и деревообрабатывающих производств

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 1972

674
8-67

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР
БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

На правах рукописи

Л.Ф.ДОНЧЕНКО



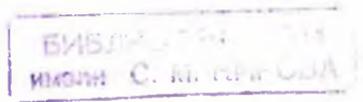
ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЛАКОВОГО ПОКРЫТИЯ
НА ДРЕВЕСИНЕ МЕТОДОМ НАЛИВА

Диссертация написана на русском языке

05.421 "Машины, оборудование и технология лесопильных и деревообрабатывающих производств"

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



М и н с к
1 9 7 2

2749 ар

Работа выполнена на кафедре механической технологии древесины
Белорусского технологического института им.С.М.Кирова.

Научный руководитель -
кандидат технических наук, доцент Л.А.Маякевич

Официальные оппоненты -
доктор технических наук, профессор Н.А.Морозов,
кандидат технических наук, доцент М.М.Козел

Ведущее предприятие -
Гомельское производственное деревообрабатывающее
объединение Минлеспроба БССР, г. Гомель

Автореферат разослан "___" апрель 1972 г.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1972 г.
на заседании Ученого совета Белорусского технологического ин-
ститута им.С.М.Кирова, г.Минск, ул.Свердлова, 13а, корпус IУ,
ауд. 220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ваши отзывы на автореферат в 2-х экземплярах с заверенными
подписями просим присылать по адресу: г.Минск, ул.Свердлова, 13а,
БТИ им.С.М.Кирова, ученому секретарю Совета.

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук, доцент

(И.М.ШЛЕХОВ)

В В Е Д Е Н И Е

XXIV съезд КПСС наметил программу развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 годы, главная задача которой состоит в обеспечении значительного подъема материального и культурного уровня жизни народа на основе высоких темпов развития социалистического производства. В этой связи получит дальнейшее развитие производство товаров народного потребления, в том числе мебели.

Намечается к 1975 году увеличить выпуск мебели до 4,3—4,4 млрд. рублей, значительно повысить ее технический и эстетический уровень, отделку корпусной мебели по I классу покрытия довести до 70% от объема ее производства.

Осуществление этих задач возможно при дальнейшем совершенствовании методов нанесения, сушки и облагораживания лакокрасочных покрытий.

При отделке щитовой мебели широко применяется метод налива. Этот метод обеспечивает высокую производительность, экономичность и позволяет автоматизировать процесс отделки.

Несмотря на широкое применение метода налива, процесс формирования им лаковых покрытий на древесине остается до сего времени мало изученным. Отсутствие обоснованных режимных параметров отрицательно сказывается на качестве покрытий, является одной из причин нерациональных технологических решений.

Немаловажным фактором, сдерживающим повышение эффективности процессов создания покрытий на древесине является недостаточный объем теоретических и экспериментальных исследований по образованию неровностей лакового покрытия на древесине в зависимости от метода нанесения лака, коэффициента его усадки, неровностей подложки, количества лакирований, технологии отделки и других факторов. Между тем, глубина неровностей покрытия влияет на декоративные

свойства и трудоемкость облагораживания его и на выбор оптимальной толщины покрытия.

В настоящей работе ставилась задача исследовать формирование лакового покрытия методом налива.

Экспериментальные исследования проводились в двух направлениях. Первое направление представляло исследование режимов работы лаконоливной машины, необходимых при создании покрытий определенной толщины. Второе направление, базирующееся на первом, включало исследования влияния некоторых факторов (коэффициент усадки, глубина неровностей подложки, число лакирований и др.) на образование неровностей покрытия.

Работа состоит из введения и трех глав.

В первой главе дается краткий обзор и анализ выполненных работ по формированию покрытия на древесине методом налива.

Во второй главе излагаются теоретические предпосылки исследования, дается теоретическое представление о процессе заполнения неровностей подложки лаком и о процессе лаконолива.

В третьей главе дана методика, описание экспериментальной установки и результаты экспериментальных исследований.

В заключении изложены общие выводы и рекомендации, а также предлагаются документы о внедрении результатов исследований в промышленности.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В этой главе рассматривается сущность процессов формирования покрытия и лаконолива машинами, имеющими головки с плотиной и лотком и с донной щелью.

В машинах с плотиной и лотком лак сливается с плотины на лоток, а оттуда на деталь. Толщина слоя лака на поверхности лотка, по сравнению с его длиной и шириной, незначительна. Сечение потока в направлении движения уменьшается. Движение лака установив-

шеся, неравномерное. Расход лака ($q_{\text{л}}^2$) одним см длины лотка определился равным

$$q_{\text{л}}^2 = K_2 \frac{g \delta^3 \sin \alpha}{3 \nu} \quad \text{см}^3/\text{сек}, \quad (1)$$

где K_2 - коэффициент головки;
 g - ускорение силы тяжести см/сек²;
 δ - высота уровня лака над плотиной, см;
 α - угол наклона лотка к горизонтальной плоскости;
 ν - кинематическая вязкость, см²/сек.

При нанесении толстых слоев лака на лаконоливной машине, лак стекает на кромку, что приводит к дополнительным трудозатратам по снятию потеков. Толщина слоя лака, при которой еще нет потеков, зависит от вида лака, его поверхностного натяжения, плотности и может быть определена зависимостью

$$\delta_n = 10^4 \frac{2\sigma}{\rho_n g}, \quad (2)$$

где σ - поверхностное натяжение эрг/см²;
 ρ_n - плотность лака, г/см³;
 g - ускорение силы тяжести, см/сек².

Исследован процесс формирования лакового покрытия. Слой лака, наносимый лаконоливной машиной, оказавшись над неровностями подложки опускается в них. Часть лака справа и слева от неровности перемещается в нее (рис.2). Постепенно вязкость лака нарастает и движение лака прекращается. При многократном нанесении лака уклон дна и глубина неровностей уменьшается. Чем больше толщина слоя лака, глубина неровностей подложки и меньше вязкость лака, тем лучше заполняются неровности. При пленкообразовании постепенно уменьшается толщина покрытия и, как следствие усадки, наличия структурных неровностей и других причин, происходит деформация его поверхности (рис.1).

Для получения покрытия с высокими декоративными свойствами

необходимо произвести облагораживание поверхности, т.е. удалить все неровности. На рис.1 показано покрытие перед облагораживанием.

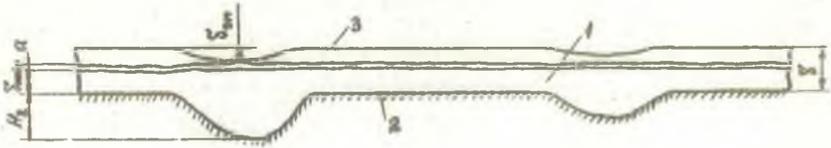


Рис.1. Схема лакового покрытия на древесине перед облагораживанием: 1 - покрытие; 2 - древесина; 3 - кривая микропрофиля поверхности.

Толщину покрытия после облагораживания можно определить из следующего соотношения:

$$\delta_{min} = \delta - \delta_{3n} - a \quad (3)$$

$$\delta_{3n} = H_2 + \delta - \delta_{\epsilon} \quad (4)$$

где.

δ - толщина покрытия;

a - толщина покрытия снимаемая при полировании;

δ_{ϵ} - толщина покрытия в неровности;

δ_{3n} - толщина покрытия снимаемая при шлифовании.

Толщина покрытия снимаемая при шлифовании зависит от максимальной глубины неровностей покрытия, а при полировании - от глубины неровностей оставленных шлифованием.

В наших исследованиях установлены следующие формулы для определения глубины неровностей покрытия:

1. При нанесении слоя лака толщиной больше глубины максимальных неровностей

$$\delta_{1n} > 2H_2; \quad \delta_{2n} > 2\delta_{13} \dots \quad (5)$$

На основании рис.2

$$\delta_{1n} l - 2H_2 l \approx h_{1n} l \quad (6)$$

После сушки толщина покрытия в неровности будет равна

$$\delta_{1e} = (h_{11} + H_2)K = K\gamma\delta_{1n}^A - \alpha KH_2 + H_2K \quad (7)$$

Глубина неровностей покрытия после первого лакирования и сушки определится равной

$$\delta_{21}^A = H_2 + \delta_{1n}^A K - \delta_{1e}^A = [1 - (1 - \alpha)K]H_2 - (\gamma - 1)\delta_{1n}^A K \quad (8)$$

После Π -лакирований и сушки глубина неровностей

$$\begin{aligned} \delta_{3n}^A = & [1 - (1 - \alpha)K]^n H_2 - [1 - (1 - \alpha)K]^{n-1} (\gamma - 1)\delta_{1n}^A K - \\ & - \dots - [1 - (1 - \alpha)K]\delta_{n-1, n}^A K - (\gamma - 1)\delta_{nn}^A K, \end{aligned} \quad (9)$$

- где:
- α - коэффициент зависящий от формы структурных неровностей в поперечном сечении; для параболы $\alpha = 2/3$, а для треугольника $\alpha = 1/2$;
 - H_2 - глубина неровностей подложки перед нанесением лака;
 - γ - коэффициент учитывающий увеличение толщины слоя лака над неровностью за счет стекания в нее (коэффициент стекания лака);
 - $\delta_{1n}^A; \delta_{2n}^A; \dots; \delta_{nn}^A$ - толщина слоя лака при первом, втором... Π -ом лакировании;
 - K - коэффициент усадки лака, равный отношению толщины покрытия к толщине слоя лака, образовавшего это покрытие;
 - n - число лакирований.

Из формулы (9) видно, что глубина неровностей покрытия зависит от коэффициента усадки лака, глубины неровностей подложки, толщины слоя лака, числа лакирований, коэффициента стекания лака. Применение лаков с большим коэффициентом усадки позволяет сократить число лакирований, снизить трудозатраты на отделку.

2. При нанесении толстого слоя лака в неровности оказывается количество лака равное $H_2 + \delta_n^1$. Такая схема формирования характерна для нанесения полиэфирных лаков.

$$\delta_3 = (1 - K)H_2 - (\gamma_n - 1)\delta_n^1 K, \quad (10)$$

где: γ_n^1 - коэффициент стекания лака;
 δ_n^1 - толщина слоя лака.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

I. Исследование режимов работы лаконоливной машины имеющей головку с донной щелью

Опыты по определению влияния давления и вязкости лака на его расход и коэффициенты расхода ширины щели, проводились на экспериментальной лаконоливной машине, имеющей головку с донной щелью V образной формы.

Режим движения лака в головке ламинарный. Истечение лака происходит под действием силы тяжести. Движение лака в головке неравномерное, установившееся.

При выборе значений пределов переменных факторов руководствовались данными практики и качеством завесы, получаемой при истечении лака через щель.

При проведении исследований независимыми переменными факторами были:

- вязкость лака 30-120 сек по ВЗ-4;
- ширина щели 0,7-2,5 мм;
- давление лака в головке 8-18 см вод.ст.

Зависимыми переменными факторами были:

- коэффициент расхода, μ ;
- параметр Рейнольдса, R_c ;
- объемный расход лака одним см длины щели, $q_{\text{л}} \cdot$

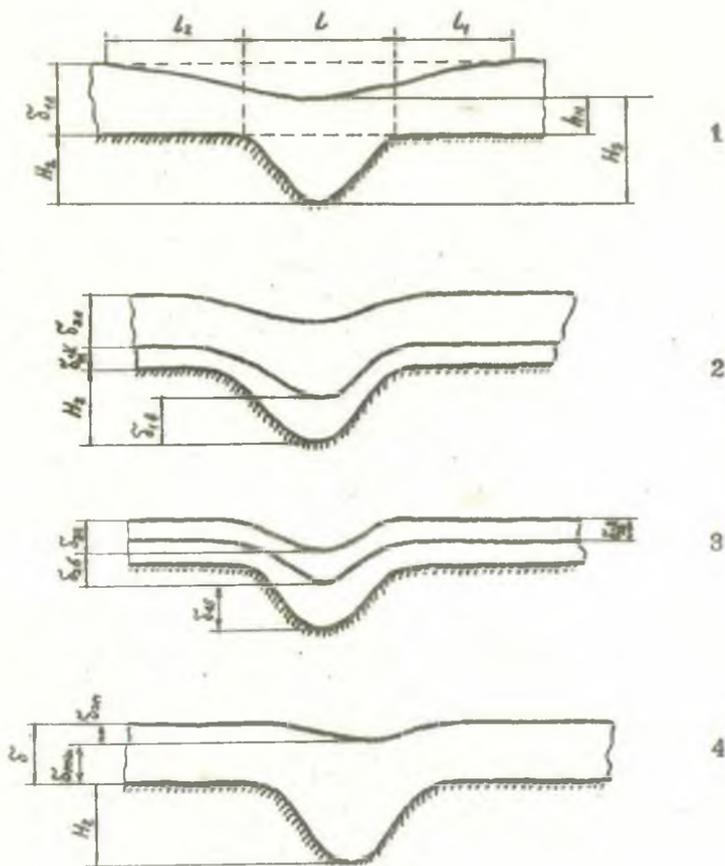


Рис. 2 Схема формирования покрытия: 1 - после первого лакирования; 2 - после второго лакирования; 3 - после второго лакирования и сушки; 4 - после лакирования и сушки.

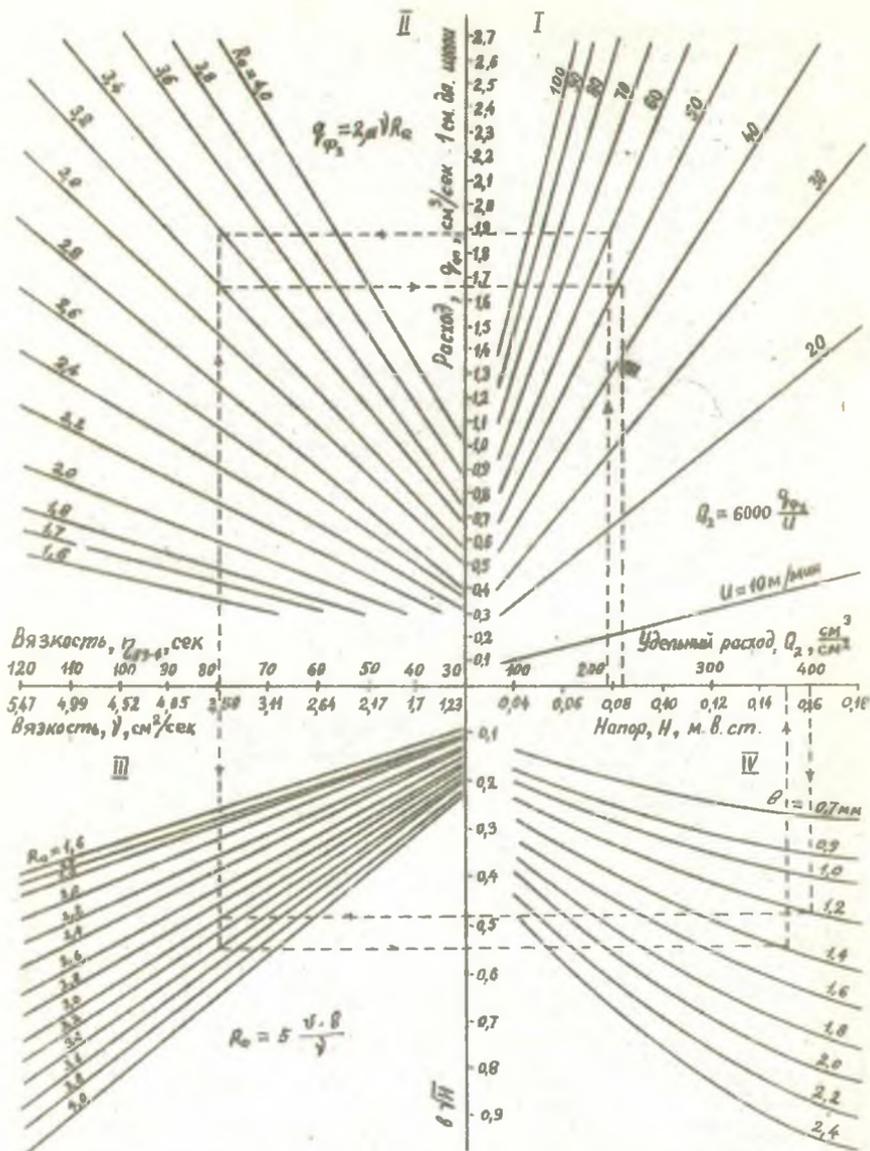


Рис. 3 Номограмма для установления режима работы лаконоливной машины, имеющей головку с донной пелью.

На основании экспериментальных исследований получена зависимость, которая выражается эмпирическим уравнением:

$$\mu = 0,026 R_e - 0,01, \quad (II)$$

где μ - коэффициент расхода;

R_e - параметр Рейнольдса

$$R_e = 5 \frac{\sqrt{2gH} \cdot b}{\nu};$$

H - давление лака в головке, м вод.ст;

b - ширина щели, мм;

ν - кинематическая вязкость, см²/сек;

g - ускорение силы тяжести, м/сек².

Как видно из уравнения (II) коэффициент расхода зависит от напора лака в головке, ширины щели и вязкости лака.

Получена формула для определения расхода лака одним см длины щели

$$q_{p2} = 2 \mu \nu R_e \quad \text{см}^3/\text{сек} \quad (I2)$$

Для установления влияния чисел Рейнольдса на коэффициент расхода, была получена зависимость кинематической вязкости от условной вязкости определяемой вискозиметром ВЗ-4. Она выразилась уравнением

$$\nu = 0,047 \eta_{\text{ВЗ-4}} - 0,18 \quad \text{см}^2/\text{сек} \quad (I3)$$

Для практического использования данных исследования построена номограмма (рис.3).

На номограмме показаны два примера: в первом - по заданным параметрам $u = 60$ м/мин, $\tau_{\text{ВЗ-4}} = 80$ сек, $\rho_n = 0,97$ г/см³ определены ширина щели и напор; во втором - по заданным $\tau_{\text{ВЗ-4}} = 80$ сек, $b = 1,2$ мм $H = 0,16$ м.вод.ст определить какой должна быть скорость транспортера при расходе равном 200 г/м²

Данный графический метод позволяет установить оптимальный режим работы лаконоливной машины. По номограмме можно определить

оптимальное соотношение основных параметров режима: удельный расход и вязкость лака, напор лака и ширину щели в головке, скорость транспортера лаконоливной машины. Это позволяет сократить время настройки машины, снизить расход лака и повысить культуру производства.

2. Исследование формирования лаковых покрытий

Целью данного раздела является экспериментальное исследование влияния глубины структурных неровностей, подложки числа лакирований, коэффициента усадки, вязкости лака и температуры сушки на глубину неровностей нитропокрытий, а также влияния глубины структурных неровностей подложки и толщины слоев лака на глубину неровностей полиэфирных покрытий. Для проведения опытов применялся нитроцеллюлозный лак НЦ-218 и полиэфирный ПЭ-236. С целью перенесения результатов исследования на другие лаки часть образцов отделялась лаками НЦ-222, НЦ-223, ПЭ-220.

Исследуемыми независимыми переменными факторами были:

- а) нитролаки
- количество лакирований 2, 3, 4, 7 на сто мк толщины покрытий;
 - вязкость лака 60-70 сек, 90-100 сек по ВЗ-4;
 - порода древесины (шпон строганный) - дуб, красное дерево;
 - коэффициент усадки 0,21; 0,24;
 - температура сушки 18-23, 45-50°C;
 - глубина структурных поверхностей 50-150 мк;
- б) полиэфирные лаки
- толщина слоя лака 250-600 мк;
 - коэффициент усадки 0,68;
 - вязкость лака 28-65 сек по ВЗ-4;
 - глубина структурных неровностей 100-300 мк.

Для оценки полноты заполнения неровностей лаком введено по-

нятие коэффициента заполнения неровностей подложки, который представляет собой отношение толщины покрытия к толщине покрытия в неровности.

$$A = \frac{\delta}{\delta_0};$$

Из отношения видно, что чем полнее заполняются неровности тем величина коэффициента меньше.

Исследования проводились на экспериментальной установке собранной на базе лаконоливной машины имеющей головку с донной щелью V-образной формы и модернизированные лакоподающую систему и механизм подачи деталей. Ленточный транспортер и насос машины приводились в движение двигателями постоянного тока.

Результаты экспериментальных исследований:

а) И т р о л а к - Влияние числа лакирований, вязкости лака, температуры сушки и коэффициента усадки на коэффициент заполнения неровностей показаны на рис.4, рис.5, рис.6. Анализ графиков показывает, что с увеличением числа лакирований при создании одной и той же толщины покрытия, коэффициент заполнения неровностей уменьшается независимо от породы древесины, вязкости лака, температуры сушки и глубины неровностей подложки. При числе лакирований от 1 до 4 разница в коэффициенте заполнения в 4 раза выше, чем при числе от 4 до 7. Это позволяет сделать вывод о нецелесообразности увеличения числа лакирований больше 4-х на 100 мк толщины покрытия.

При нанесении тонких и относительно толстых слоев лака, ($\eta = 3, 4, 7$) применение лака пониженной вязкости способствует некоторому улучшению (на 2-3%) заполнения неровностей по сравнению с лаками повышенной вязкости. При нанесении толстых слоев лака ($\eta = 2, 1$) вязкость в пределах 60-100 сек практически не оказывает влияния на коэффициент заполнения. Таким образом, на основании анализа полученных результатов исследования, можно заключить, что вязкость лака (в исследуемых пределах) оказывает незначительное

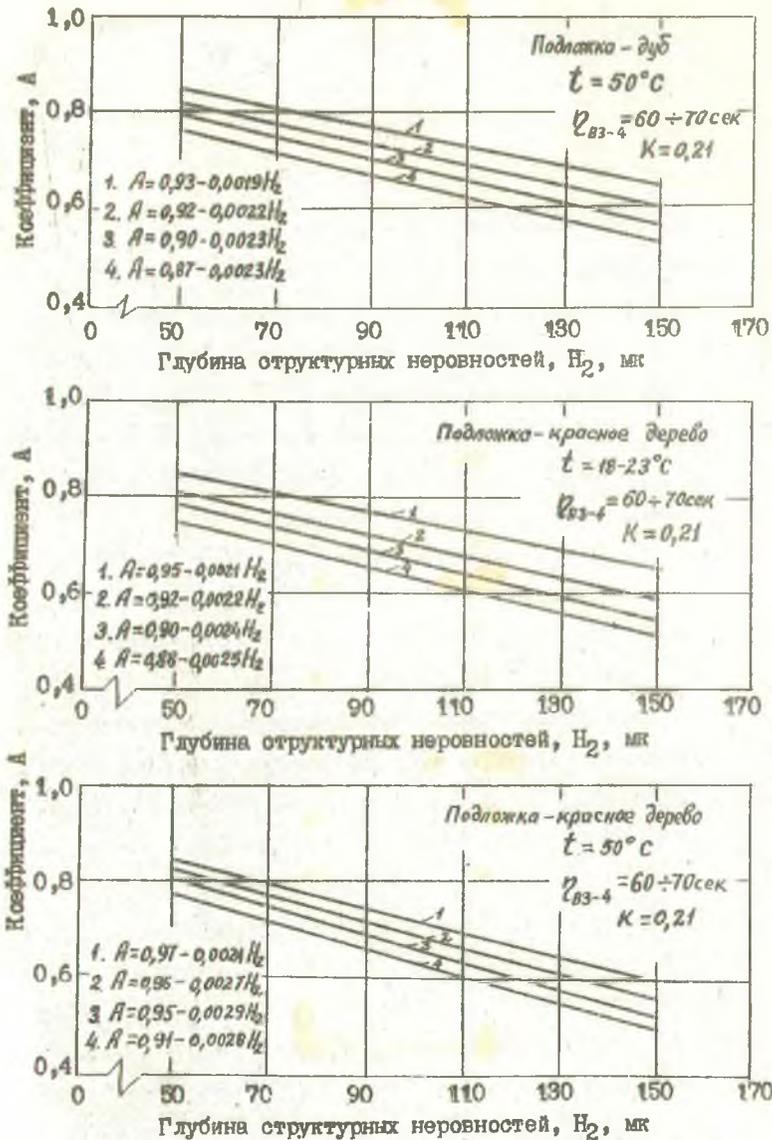


Рис. 4. Влияние глубины структурных неровностей на коэффициент их заполнения в зависимости от числа лакирований: 1, 2, 3, 4 - соответственно число лакирований 2, 3, 4 и 7.

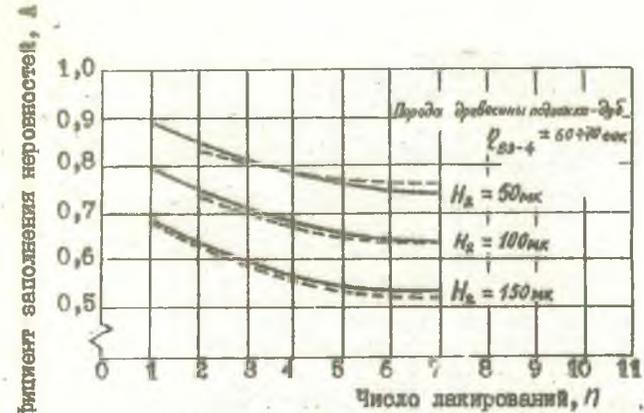


Рис. 5 Влияние числа лакирований на коэффициент заполнения неровностей в зависимости от глубины структурных неровностей и температуры сушки: — сушка в естественных условиях; - - - сушка при температуре 50°C .

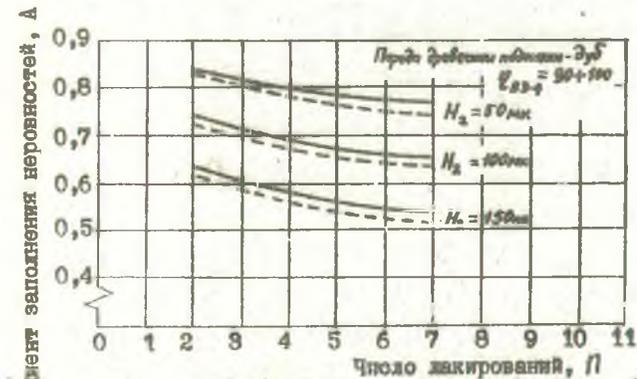


Рис. 6 Влияние числа лакирований на коэффициент заполнения неровностей в зависимости от глубины структурных неровностей и температуры сушки: — сушка в естественных условиях; - - - сушка при температуре 50°C .

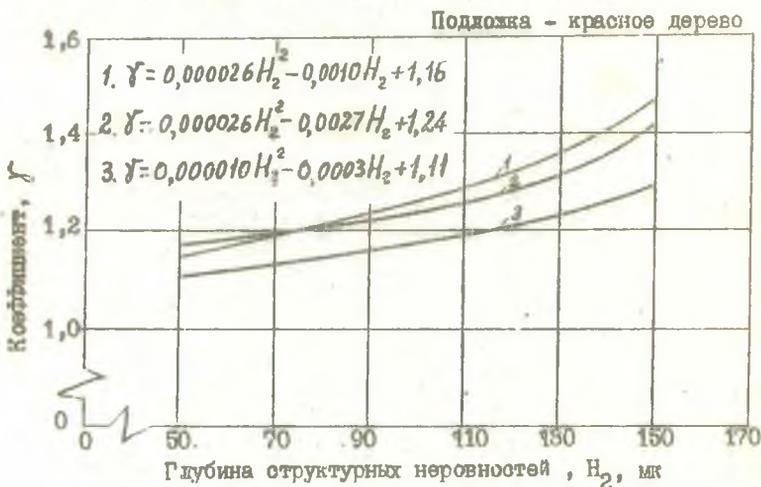
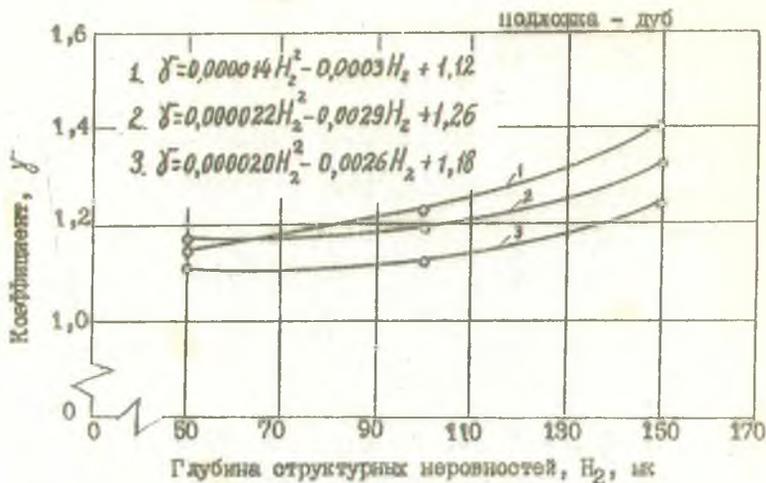


Рис. 7 Влияние глубины неровностей подложки на коэффициент стекания лака: 1 - при числе лакирований 2,3,4; 2 - при числе лакирований равном 7, вязкости лака 90-100сек и температуре сушки 50°C; 3 - при числе лакирований равном 7, вязкости лака 90-100 сек и сушки в естественных условиях.

влияние на заполнение неровностей.

Повышенная температура сушки способствует более полному заполнению неровностей при нанесении рабочего раствора лака высокой вязкости тонким слоем, а также при нанесении рабочего раствора лаковой вязкости толстым слоем.

Как показали опыты, заполнение неровностей на древесине красного дерева при прочих равных условиях, лучше чем на древесине дуба. Очевидно это объясняется различием формы неровностей в поперечном сечении. Площади сечений неровностей дуба больше площадей неровностей красного дерева. Поэтому расход лака и трудоемкость получения покрытия с высокими декоративными свойствами на древесине дуба выше, чем на древесине красного дерева.

2749ар

На графиках показано влияние глубины структурных неровностей на коэффициент их заполнения. Во всех случаях с увеличением глубины структурных неровностей заполнение их улучшается. Это объясняется большим уклоном дна у более глубоких неровностей. Количество лака попадающее в неровность при одинаковой толщине слоя лака тем больше, чем больше уклон дна и чем меньше вязкость лака.

На основании теоретических и экспериментальных исследований были получены формулы для определения коэффициента стегания лака μ (рис.7). Это позволило практически использовать формулу (9) для определения глубины неровностей покрытия.

б) П о л и э ф и р н ы й л а к: Влияние глубины структурных неровностей на коэффициент их заполнения для разной толщины слоя лака выразилось в виде уравнений связи

| | | | |
|------------|-------|-------------------------|--------|
| δ_1 | = 250 | $A = 0,80 - 0,0012 H_2$ | |
| δ_2 | = 380 | $A = 0,86 - 0,0012 H_2$ | (14) |
| δ_3 | = 450 | $A = 0,88 - 0,0011 H_2$ | |
| δ_4 | = 600 | $A = 0,92 - 0,0011 H_2$ | |

Получена зависимость коэффициента заполнения неровностей от толщины слоя лака и глубины структурных неровностей

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ЦИТАЦИИ
И НАУКИ
С. ПЕТЕРБУРГ

$$A = 0,0004 \delta_{1n}^1 + 0,69 - 0,0015 H_2 \quad (15)$$

Данные теоретических исследований и опытов позволили определить коэффициент стекания лака γ_1 , благодаря чему формула (10) получила практическое применение.

Для вывода обобщенной формулы γ были использованы данные экспериментов по отделке нитро- и полиэфирными лаками. Коэффициент стекания лака можно определить с достаточной для практики точностью (10%) из уравнения

$$\gamma = 0,0017H_2 + 1,07 \quad (16)$$

Формула (16) справедлива при толщине слоя лака 140-600 мк и $\delta_{1n} = 140+300$ мк $H_2 = 50+150$ мк - для нитролака, и $\delta_{1n} = 250+600$ мк, $H_2 = 100+300$ мк - для полиэфирного лака. Определение глубины неровностей нитро- и полиэфирных лаковых покрытий должно производиться по формуле (9).

ВЫВОДЫ

1. Исследованиями раскрыта сущность процессов ^мфорирования на древесине нитро- и полиэфирных покрытий методом налива. Вскрыты закономерности заполнения лаками неровностей подложки.

2. Получены зависимости глубины неровностей покрытия от коэффициента усадки лака, количества лакирований, толщины слоев лака, которые выражаются уравнениями (9), (10). Зависимость коэффициента стекания лака от породы древесины, глубины неровностей подложки и толщины слоя лака получена в виде уравнений связи (рис.7).

Можно рекомендовать формулы для определения глубины неровностей нитро- и полиэфирного покрытий (9) и коэффициента стекания лака (16).

3. С увеличением числа лакирований при одной и той же толщине покрытия, глубина неровностей уменьшается; максимальным количеством лакирований на сто мк нитропокрытия является четыре.

4. При создании покрытий нитролаками целесообразно наносить первый слой толщиной $\delta_{1n} \leq 180$ мк (последующие слои толщиной меньше предыдущих, т.е. $\delta_{1n} \dots < \delta_{2n} < \delta_{3n} < \delta_{4n}$) вязкостью менее 70 сек по ВЗ-4. При повышенной температуре сушки экономически целесообразно применение лаков высокой вязкости (> 70 сек).

5. В лаконоаливных машинах, имеющих головку с донной щелью, расход лака одним см длины щели зависит от ширины щели, давления и вязкости лака. В лаконоаливных машинах, имеющих головку с плотной и лотком, расход зависит от высоты уровня лака над плотной, вязкости и угла наклона лотка. На основании теоретических и экспериментальных данных построены номограммы для установления режима работы лаконоаливных машин. С их помощью можно определить

$$Q_1; Q_2; \eta_{вз.ч}; \delta; H; U; \delta'$$

6. При поставке новых машин предприятиям целесообразно прилагать к ним номограммы. Это позволит сократить время на настройку машины и получить покрытия заданной толщины.

7. Предельная толщина слоя лака, при которой не происходит стекания его на кромки щита, зависит от вида лака, плотности и поверхностного натяжения.

8. Формулы (9), (10), (16) (рис.7) могут быть использованы при установлении оптимальной толщины покрытия.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих работах автора:

1. Установление режима работы лаконоаливной машины. Сборник "Механическая технология древесины". Издательство "Высшая школа". Минск, 1968.

2. Отделка нитролаком методом налива. Материалы научно-технической конференции по итогам научных работ 1968 года. Минск, 1969.

3. Формирование покрытий полиэфирными лаками методом налива. Материалы научно-технической конференции по итогам научных работ 1969 года. Минск, 1970.

4. Установление режима работы лаконоливной машины с плотивой и лотком. Сборник "Научно-технический прогресс в деревообрабатывающей промышленности". Минск, 1971.

5. Формирование покрытий методом налива. Сборник "Механическая технология древесины". Вып. I, Изд. "Высшая школа", Минск, I, 1971.

Основные положения диссертации доложены автором и обсуждены на следующих научных конференциях и производственных совещаниях:

1. Научно-технические конференции по итогам научных работ БТИ им. С. М. Кирова, Минск, 1967, 1968, 1969, 1970, 1971 гг.

2. Научно-техническая конференция "Научно-технический прогресс в деревообрабатывающей промышленности". Минск, 1971.

3. Республиканское научно-техническое совещание "Прогрессивные технологические процессы и новые материалы по отделке мебели". Гомель, 1971.

ЛТ 11182. Подписано к печати 27.3.72 г. Зак. №149.
Объем 1,3 п.л. Тираж 120 экз. Отпечатано на
роталпринте БТИ им. С. М. КИРОВА,
г. Минск, ул. Свердлова 13.