

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА КЛЕЕВОГО СОСТАВА НА ПЛЕНКУ ВАЛКОВЫМ СПОСОБОМ

Е.В. Мацкевич, В.И. Ольшанский,  
Н.М. Дмитракович

УДК 687.174:620.193.94

### РЕФЕРАТ

*ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ВАЛКОВЫЙ СПОСОБ, КЛЕЕВОЙ СОСТАВ, ВЯЗКОСТЬ, ТОЛЩИНА НАНОСИМОГО СЛОЯ, ЗАВИСИМОСТИ, ДУБЛИРОВАНИЕ*

*Объектом исследования является валковый способ нанесения вязкотекучей жидкости на пленку.*

*Цель – определение рациональных режимных параметров нанесения клеевого состава при производстве огнетермостойких материалов методом дублирования.*

*В результате теоретических исследований получены зависимости, позволяющие определить толщину жидкостного слоя, захватываемого клеенамазным валиком, как функцию плотности, кинематической вязкости, скорости. Получена аналитическая зависимость объемного расхода как функции толщины, скорости и ширины полотна. В соответствии с теоретическими исследованиями выбраны рациональные режимные параметры технологического процесса методом итерации и реализован процесс нанесения клеевого состава в реальных практических условиях при производстве материала верха специальной защитной одежды с полимерным покрытием. Полученные зависимости позволяют при известных физико-механических свойствах наносимого полимера определять основные технологические параметры всего процесса.*

### ABSTRACT

*THEORETICAL RESEARCHES, ROLLING WAY, GLUE COMPOSITION, VISCOSITY, LAYER THICKNESS, DEPENDENCES, LAMINATION*

*The research object is the roll method of putting plastic liquid on a film.*

*The purpose is the definition of the rational modes of drawing glue structure by production of heat-resistant materials by a duplication method.*

*As a result of theoretical researches mathematical models of dependence of thickness of a liquid layer and a volume flow as frequency functions, a kinematic viscosity, speed are developed. The received dependences allow at known physical mechanical properties of the applied polymer to determine the key technological parameters of all process. The deviation of the actual value of thickness of the put layer from the calculated does not exceed 5 % that speaks about reliability of the received dependences.*

### ВВЕДЕНИЕ

При производстве многослойных текстильных материалов в лёгкой промышленности широко применяется метод дублирования. Сущность процесса заключается в термомеханическом скреплении тканой основы с плёночным материалом посредством клеевого соединения.

Одним из этапов технологического процесса производства многослойных материалов

является нанесение связующего состава на поверхность одного из материалов, входящих в пакет. При производстве материала верха с полимерным покрытием специальной защитной одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа, состоящего из материала основы и полимерной пленки, применяется валковый способ нанесения клеевого состава. Он является непрерывным, позволяет регулиро-

вать толщину наносимого слоя, величину угловой скорости, величину погружения и технически легко реализуем.

Сущность валкового способа заключается в том, что пленка пропускается через несколько валков, один из которых (купающийся) находится приблизительно на одну треть диаметра в ванне с клеевым составом, а другой (наносной), контактируя с первым, отбирает с него часть клеевого состава и наносит его на пленку, равномерно движущуюся в зазоре между прижимным и наносным валками.

Схема нанесения клеевого состава на плоскую поверхность материала основы непрерывно вращающимися валиками представлена на рисунке 1 [1].

Как показано в работе [1], зависимость толщины наносимого слоя следующая:

$$h_1 \geq \frac{D \cdot 900}{Re^2}, \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр клеенамазного валика, м.

Однако в ходе реального технологического процесса производства дублированных материалов указанным способом имеются отклонения от расчетных значений, связанные с тем, что кри-

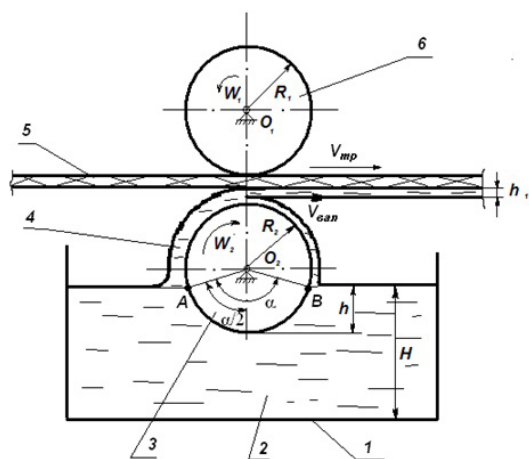


Рисунок 1 – Схема нанесения клеевого состава валиками: 1 – резервуар с клеевым составом; 2 – клеевой состав; 3 – клеенамазной валик; 4 – слой наносимого клеевого состава; 5 – основа; 6 – верхний транспортирующий валик

терий Рейнольдса в работе [1] определялся по классической зависимости:

$$Re = \frac{V \cdot d_{\text{э}}}{\nu}, \quad (2)$$

где эквивалентный диаметр  $d_{\text{э}}$  определяется с большими допущениями.

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Выполнение теоретических исследований валкового способа нанесения вязкотекучей жидкости на пленку и получение зависимостей, достоверно отражающих процессы, происходящие в реальных условиях производства, а также определения рациональных режимных параметров нанесения клеевого состава при производстве огнетермостойких материалов методом дублирования.

### МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Теоретические исследования базируются на классических законах механики жидкости и газов, движении вязкотекучей жидкости при ламинарном режиме.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрим процесс нанесения клеевого состава непрерывно и равномерно вращающимся валиком на плоскую поверхность. Схема взаимодействия представлена на рисунке 2.

Обозначим: угловую скорость вращения валика –  $\omega$ , с<sup>-1</sup>; радиус вращения –  $R$ , м; толщину наносимого клеевого состава –  $\delta$ , м; скорость

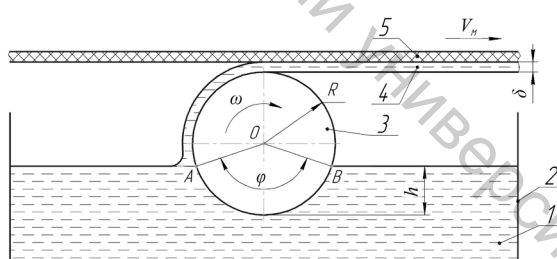


Рисунок 2 – Схема взаимодействия клеенамазного валика с плоским материалом: 1 – клеевой состав; 2 – резервуар с клеевым составом; 3 – клеенамазной валик; 4 – слой наносимого клеевого состава; 5 – плоский материал

движения материала –  $V_M$ , м/с; глубину погружения валика в резервуар –  $h$ , м.

При исследовании процесса применены следующие допущения и условия:

- движение материала и наносимого клеевого слоя является плоскопараллельными;
- движение материала, валика и клеевого слоя является установившимся;
- клеевой состав рассматривается как вязкая ньютоновская жидкость;
- режим движения жидкости, наносимой валиком, является ламинарным.

Будем считать, что момент сил сопротивления вращения валика обусловлен жидкостным трением. Тогда условие равномерного вращения валика запишется как

$$M_{KP} \geq M_C, \quad (3)$$

где  $M_{KP}$  – крутящий момент, приложенный к валику, Н·м;  $M_C$  – момент сил жидкостного трения, обусловленный вязкостью клеевого состава, Н·м.

Момент сил жидкостного трения можно записать как

$$M_C = F_{TP} \cdot R, \quad (4)$$

где  $F_{TP}$  – сила жидкостного трения, обусловленная вязкостью, Н;  $R$  – радиус валика, м.

Сила жидкостного трения, в соответствии с законом жидкостного трения [2] равна:

$$F_{TP} = \mu \cdot S \cdot \frac{dV}{dh}, \quad (5)$$

где  $\mu$  – динамический коэффициент вязкости клеевого состава, Па·с;  $S$  – площадь трения, м<sup>2</sup>;  $dV/dh$  – градиент скорости по глубине, с<sup>-1</sup>.

Площадь трения жидкостных слоев равна:

$$S = l_{AB} \cdot B, \quad (6)$$

где  $l_{AB} = R \cdot \varphi$  – длина дуги контакта валика с клеевым составом, м;  $\varphi$  – угол контакта, рад;  $B$  – ширина валика, м.

С учетом выражения (6) получим:

$$F_{TP} = \mu \cdot R \cdot \varphi \cdot B \cdot \frac{dV}{dh}. \quad (7)$$

Ввиду того, что толщина жидкостного слоя  $dh$  намного меньше геометрических размеров валика, примем, что:

$$\frac{dV}{dh} = \frac{V}{\delta}, \quad (8)$$

где  $\delta$  – толщина слоя, захватываемого валиком, м.

Тогда выражение (7) примет вид:

$$F_{TP} = \mu \cdot R \cdot \varphi \cdot B \cdot \frac{V}{\delta}. \quad (9)$$

Линейная скорость вращения валика равна:

$$V = \omega \cdot R, \quad (10)$$

где  $\omega$  – угловая скорость, с<sup>-1</sup>.

Выражение (9) запишется как

$$F_{TP} = \frac{\mu \cdot R^2 \cdot \varphi \cdot B \cdot \omega}{\delta}. \quad (11)$$

Момент сил жидкостного трения будет равен:

$$M_C = \frac{\mu \cdot R^3 \cdot \varphi \cdot B \cdot \omega}{\delta}. \quad (12)$$

Определим критерий Рейнольдса  $Re$  как отношение кинетической энергии потока к работе сил жидкостного трения [3].

Кинетическая энергия потока  $E$  равна:

$$E = \frac{m \cdot V^2}{2} = \frac{l_{AB} \cdot \delta \cdot B \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot R^2}{2}. \quad (13)$$

Работа сил жидкостного трения

$$A = F_{TP} \cdot l_{AB} \quad (14)$$

или

$$A = \frac{\mu \cdot R^2 \cdot \varphi \cdot B \cdot \omega}{\delta} \cdot l_{AB}. \quad (15)$$

Тогда

$$Re = \frac{E}{A}. \quad (16)$$

Учитывая, что

$$\frac{\mu}{\rho} = \nu, \quad (17)$$

где  $\nu$  – кинетический коэффициент вязкости,  $\text{м}^2/\text{с}$ ,  
получим

$$Re = \frac{\delta^2 \cdot \omega}{2 \cdot \nu \cdot \varphi}. \quad (18)$$

Разделив выражение (12) на (18), получим

$$\frac{M_c}{Re} = \frac{2 \cdot \rho \cdot \nu^2 \cdot R^3 \cdot \varphi^2 \cdot B}{\delta^3}. \quad (19)$$

Критерий Рейнольдса для ламинарного режима течения жидкости при формах поперечного сечения потока, отличных от круга [2], равен:

$$Re \leq 580. \quad (20)$$

Тогда толщина жидкостного слоя, захватываемого клеенамазным валиком, будет равна:

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{1160 \cdot \rho \cdot \nu^2 \cdot R^3 \cdot \varphi^2 \cdot B}{M_c}}, \quad (21)$$

и с учетом (3) получим

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{1160 \cdot \rho \cdot \nu^2 \cdot R^3 \cdot \varphi^2 \cdot B}{M_{KP}}}. \quad (22)$$

Объемный расход  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) определим как

$$Q = V_M \cdot f, \quad (23)$$

где  $V_M$  – скорость материала,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $f = B \cdot \delta$  – площадь поперечного сечения клеевой пленки,  $\text{м}^2$ .

С учетом (22), получим

$$Q = \sqrt[3]{\frac{1160 \cdot \rho \cdot \nu^2 \cdot R^3 \cdot \varphi^2 \cdot B}{M_{KP}}} \cdot V_M \cdot B. \quad (24)$$

Крутящий момент  $M_{KP}$  на валике определяем по формуле

$$M_{KP} = \frac{N}{\omega}, \quad (25)$$

где  $N$  – мощность на валике, Вт.

Угловую скорость определяем из выражения (10):

$$\omega = \frac{V}{R}. \quad (26)$$

Поставив выражение (26) в (25), получаем

$$M_{KP} = \frac{N \cdot R}{V}. \quad (27)$$

С учетом выражения (27) толщина жидкостного слоя, захватываемого клеенамазным валиком, будет равна:

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{1160 \cdot \rho \cdot \nu^2 \cdot R^2 \cdot \varphi^2 \cdot B \cdot V}{N}}. \quad (28)$$

Объемный расход с учетом выражения (27) равен:

$$Q = \sqrt[3]{\frac{1160 \cdot \rho \cdot \nu^2 \cdot R^2 \cdot \varphi^2 \cdot B \cdot V}{N}} \cdot V_M \cdot B. \quad (29)$$

При условии, что

$$V_M = V, \quad (30)$$

$$Q = \sqrt[3]{\frac{1160 \cdot \rho \cdot \nu^2 \cdot R^2 \cdot \varphi^2 \cdot B^3 \cdot V^3}{N}} \quad (31)$$

В результате теоретического исследования получены зависимости, позволяющие определить толщину жидкостного слоя, захватываемого клеенамазным валиком, как функцию плотности, кинематической вязкости, скорости.

Получена аналитическая зависимость объемного расхода как функции толщины, скорости и ширины полотна.

### ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ

Для определения рациональных режимов нанесения клеевого состава проведены исследования зависимости (28) при помощи программного пакета Maple.

Построение графической зависимости толщины  $\delta$  наносимого слоя от изменения угла контакта  $\varphi$ .

Параметры технологического процесса (по данным предприятия ПУП «Гомельобои»):  $\rho = 1160 \text{ кг/м}^3$ ;  $\nu = 1,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $R = 1 \text{ м}$ ;  $B = 1 \text{ м}$ ;  $V = 0,33 \text{ м/с}$ ;  $N = 2000 \text{ Вт}$ .

Угол контакта  $\varphi$  (рад) варьируется в диапазоне:  $\pi / 2 \leq \varphi \leq \pi$ .

Полученная зависимость представлена на рисунке 3.



Построение графической зависимости толщины  $\delta$  наносимого слоя от изменения кинематической вязкости  $\nu$ .

Параметры технологического процесса (по данным предприятия ПУП «Гомельобои»):  $\rho = 1160 \text{ кг/м}^3$ ;  $\varphi = \pi / 2$  рад;  $R = 1 \text{ м}$ ;  $B = 1 \text{ м}$ ;  $V = 0,33 \text{ м/с}$ ;  $N = 2000 \text{ Вт}$ .

Кинематическая вязкость  $\nu$  ( $\text{м}^2/\text{с}$ ), варьируется в диапазоне:  $1 \cdot 10^{-6} \leq \nu \leq 1 \cdot 10^{-5}$ .

Полученная зависимость представлена на рисунке 4.

Для упрощения инженерных расчетов, позволяющих определить толщину клеевой пленки  $\delta$  при различных значениях кинематической вязкости  $\nu$  и степени погружения клеенамазного валика  $\varphi$ , построена номограмма, представленная на рисунке 5.

Параметры технологического процесса (по данным предприятия ПУП «Гомельобои»):  $\rho = 1160 \text{ кг/м}^3$ ;  $\varphi = \pi / 2$  рад;  $R = 1 \text{ м}$ ;  $B = 1 \text{ м}$ ;  $V = 0,33 \text{ м/с}$ ;  $N = 2000 \text{ Вт}$ .

Значение  $\varphi$  (рад) угла контакта варьируется в диапазоне:  $\pi / 2 \leq \varphi \leq \pi$ .

Значение  $\nu$  ( $\text{м}^2/\text{с}$ ) кинематической вязкости варьируется в диапазоне:  $1 \cdot 10^{-6} \leq \nu \leq 1 \cdot 10^{-5}$ .

На основании полученных зависимостей определены рациональные режимы нанесения клеевого состава при осуществлении выпуска партии материала верха с полимерным покрытием.



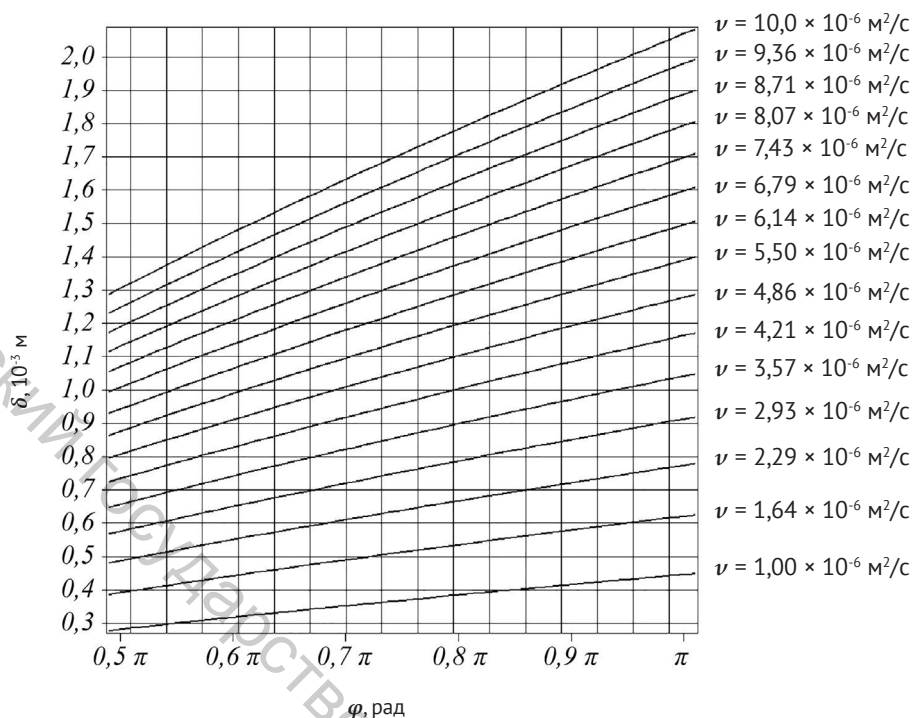


Рисунок 5 – Номограмма изменения толщины  $\delta$  наносимого слоя от изменения кинематической вязкости  $\nu$  и угла контакта  $\varphi$

тием специальной защитной одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа. Выпуск осуществлялся на оборудовании производственного унитарного предприятия «Гомельобои», что подтверждается актом выпуска опытно-промышленной партии.

В соответствии с теоретическими исследованиями реализован процесс нанесения клеевого состава в реальных практических условиях при производстве материала верха специальной защитной одежды с полимерным покрытием с параметрами технологического процесса  $\rho = 1160 \text{ кг/м}^3$ ,  $R = 1 \text{ м}$ ;  $B = 1 \text{ м}$ ;  $V = 0,33 \text{ м/с}$ ;  $N = 2000 \text{ Вт}$ ,  $\varphi = \pi / 2 \text{ рад}$ ,  $\nu = 1,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , расчетное значение толщины наносимого слоя  $\delta = 0,431 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ . Фактическое значение толщины наносимого слоя составило  $\delta = 0,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ . Отклонение от расчетного значения составляет 4,4 %. Хорошая сходимость результатов свидетельствует о достоверности полученных зависимостей.

#### ВЫВОДЫ

Таким образом, на основании гипотезы о ламинарности движения жидких слоев при валковом нанесении получены аналитические зависимости:

- 1) толщины наносимого слоя как функции плотности, кинематической вязкости, скорости;
- 2) объемного расхода как функции толщины, скорости и ширины полотна.

Определены рациональные режимы технологического процесса методом итерации.

Получены графики зависимости толщины от величины угла контакта, кинематической вязкости.

Приведенная номограмма позволяет при известных физико-механических свойствах наносимого полимера определять основные технологические параметры всего процесса.

Отклонение фактического значения толщины наносимого слоя от расчетного не превышает 5 %, что позволяет говорить о достоверности полученных зависимостей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кулаженко, Е.Л., Ольшанский, В.И. (2011), Нанесение клея валичным способом на поверхность рулонных материалов, *Технико-технологические проблемы сервиса*, № 4 (18), 2011, С. 41–44.
2. Калекин, А.А. (2005), *Гидравлика и гидравлические машины*, Москва, 2005, 512 с.
3. Альтшуль, А.Д., Живатовский, А.С., Иванов, Л.П. (1987), *Гидравлика и аэродинамика*, Москва, 1987, 256 с.

## REFERENCES

1. Kulazhenko, E.L., Ol'shanskij, V.I. (2011), Drawing gluing the platen on the surface of rolled materials [Nanesenie kleja valichnym sposobom na poverhnost' rulonnyh materialov], *Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa – Technical and technological problems of service*, № 4 (18), 2011, pp. 41–44.
2. Kalekin, A.A. (2005), *Hydraulics and hydraulic machines* [Gidravlika i gidravlicheskie mashiny], Moscow, 2005, 512 p.
3. Al'tshul', A.D., Zhivatovskij, A.S., Ivanov, L.P. (1987), *Hydraulics and aerodynamics* [Gidravlika i ajerodinamika], Moscow, 1987, 256 p.

Статья поступила в редакцию 06. 02. 2015 г.