

УДК 62-503.51

НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ВНУТРЕННЮЮ ПОВЕРХНОСТЬ ТРУБЫ МЕТОДОМ УПРАВЛЯЕМОГО СЛИВА

Б.В. Скворцов, М.И. Зарецкая

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
Россия, 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34

Рассматриваются известные методы нанесения покрытия на внутреннюю поверхность труб и предлагается новый метод, позволяющий улучшить качество покрытия. Также определены зависимости изменения степени открытия задвижки от высоты столба наносимого материала, позволяющие определить алгоритм управления процессом слива материала в предлагаемом методе нанесения покрытия на внутреннюю поверхность трубы.

Ключевые слова: метод, труба, нанесение покрытия, структурная схема, слив жидкости, стабилизация скорости, математическая модель, управление задвижкой.

Статья посвящена разработке нового метода нанесения покрытия на внутреннюю поверхность трубы, который позволяет автоматизировать процесс, улучшить равномерность толщины наносимого материала по всей длине трубы и снизить количество брака, возникающего при применении известных методов.

Известны методы и устройства нанесения покрытий, осуществляющиеся пульверизацией из движущейся относительно трубы форсунки с последующей сушкой и отжигом эмали в печах [1]. Недостатками этого метода являются проблемы, связанные с неравномерностью распыления материала покрытия с помощью форсунок, а также их быстрое засорение в случае использования вязких жидкостей.

Также известен метод, в котором нанесение материала осуществляется погружением трубы в жидкий материал с последующим стеканием его излишков, сушкой и отжигом [2]. При таком методе нанесения возникает неравномерность толщины покрытия, связанная с нестабильной скоростью стекания материала с поверхности трубы в процессе вынимания ее из емкости.

Предлагаемый метод основан на регулируемом сливе материала покрытия из полости трубы и решает задачу повышения равномерности толщины покрытия по всей ее длине. Основной идеей метода является управляемый слив жидкого материала покрытия из полости трубы. Сущность метода поясняется рис. 1, где изображена структурная схема системы [3].

Толщина и равномерность покрытия зависят от скорости и стабильности движения материала и его температуры в полости трубы. В ОАО «Уральский институт металлов» разработаны таблицы зависимостей толщины покрытия от скорости движения материала для разных видов труб и покрытий [4]. Эта зави-

Борис Владимирович Скворцов (д.т.н., проф.), научный руководитель НИЛ «Аналитические приборы и системы».

Маргарита Игоревна Зарецкая, младший научный сотрудник НИЛ «Аналитические приборы и системы».

симость в общем виде может быть представлена функцией $D = F(V, T)$, где D – толщина покрытия, V – скорость движения материала в полости трубы, T – температура наносимого материала. Таким образом, основной задачей является стабилизация скорости движения материала.

Работа системы заключается в том, что перед началом процесса нанесения покрытия через вентиль 5 в трубу закачивается материал наносимого покрытия, после этого вентиль 5 закрывается и начинается управляемый слив через шланговую задвижку 6. С помощью датчиков уровня 1 и 3 осуществляется измерение текущего значения уровня материала в трубе. По команде с микропроцессорного устройства обработки информации и управления 4 электромеханический привод 7 изменяет пропускную способность шланговой задвижки 6 таким образом, чтобы скорость движения материала оставалась постоянной.

Целью регулирования является поддержание постоянной скорости движения материала покрытия в полости трубы, что, в свою очередь, обеспечивает равномерность пленки покрытия по всей ее длине.

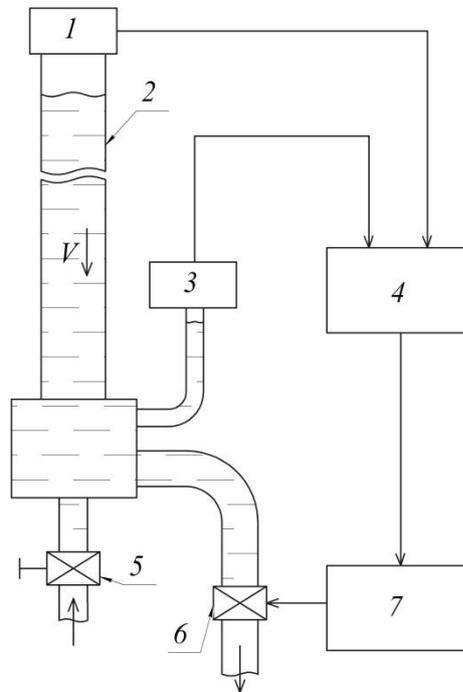


Рис. 1. Структурная схема системы нанесения покрытия на внутреннюю поверхность трубы:

- 1 – акустический датчик уровня материала в трубе; 2 – обрабатываемая труба;
 3 – гидростатический датчик уровня материала в трубе; 4 – микропроцессорное устройство обработки информации и управления; 5 – впускной вентиль; 6 – шланговая задвижка;
 7 – электромеханический привод

Математическое описание процесса слива жидкости из вертикальной трубы определяется уравнением механического движения тела переменной массы под действием внешних сил, которое в итоге выражается формулой [5]

$$\frac{dV}{dH} = \frac{g(C\alpha)^2}{V} - \frac{V(1-(C\alpha)^2)}{H} - \frac{kgH^2(C\alpha)^2}{RV} \left(\frac{0,73K_{\text{Э}}}{R} + \frac{50\eta_{\text{к}}}{VR} \right)^{0,25}, \quad (1)$$

где $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; η_k – кинематическая вязкость [$\text{м}^2/\text{с}$]; $K_{\text{Э}}$ – эквивалентная абсолютная шероховатость (определяется из таблиц); $\alpha \in [0..1]$ – пропускная способность шланговой задвижки, выраженная в процен-

тах открытия пропускного отверстия; $C = \frac{r_0^2}{R^2 + r_0^2}$ – коэффициент поправки на

конструкционные особенности сливной задвижки; r_0 – радиус открытого сливного отверстия; R – радиус покрываемой трубы; k – коэффициент, учитывающий сопротивление движению шликера после сливной задвижки и определяемый экспериментально [$1/\text{м}$].

Уравнение (1) решено методом конечных разностей в программе Mathcad при следующих параметрах трубы и материала покрытия: $K_{\text{Э}} = 10^{-8} \text{ [м]}$, $R = 0,1 \text{ [м]}$, $r_0 = 0,02 \text{ [м]}$, $\eta_k = 10^{-5} \text{ [м}^2/\text{с]}$. Зависимости скорости от высоты при разных пропускных способностях шланговой задвижки по уравнению (1) представлены на рис. 2.

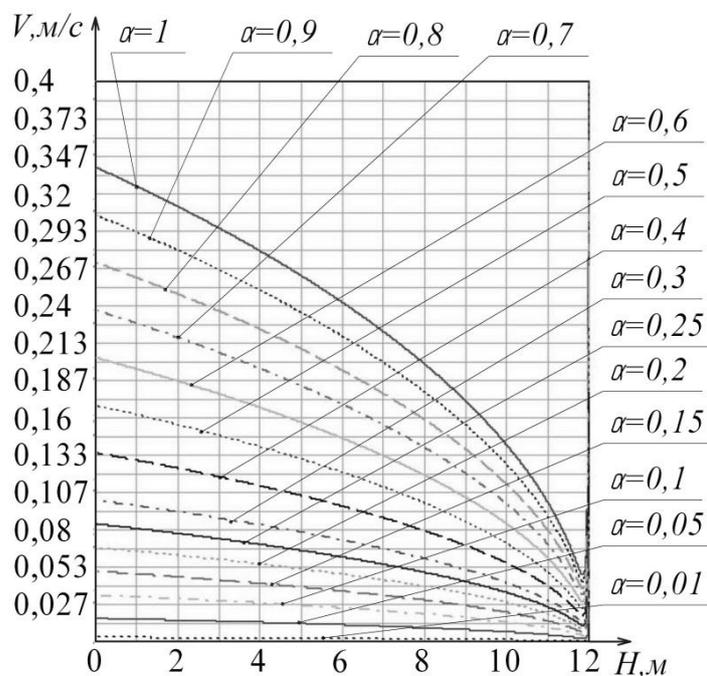


Рис. 2. Графики зависимости скорости от высоты при разных пропускных способностях шланговой задвижки

Реальные технологические режимы нанесения покрытий ограничиваются скоростями от 0,05 до 0,5 [м/с]. Полученные решения хорошо согласуются с известными теоретическими данными о свободном сливе жидкости из резервуаров, в частности при отсутствии сопротивления стенок; скорость определяется по известной формуле Торричелли [6].

Полученная математическая модель позволяет численно определить закон изменения пропускной способности шланговой задвижки в зависимости от высоты столба жидкости, обеспечивающий стабильную скорость движения материала (рис. 3).

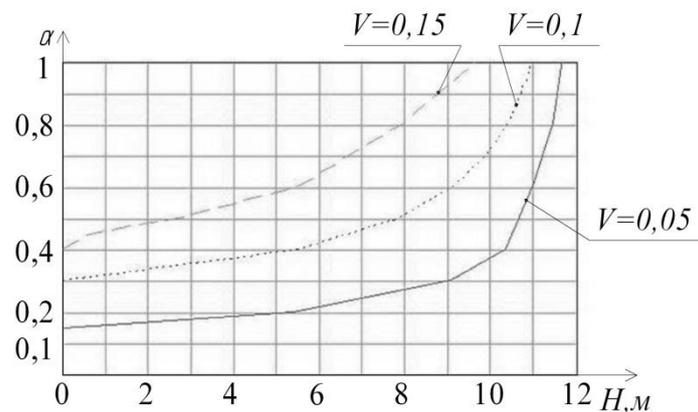


Рис. 3. Закон управления пропускной способностью шланговой задвижки в зависимости от высоты столба жидкости, обеспечивающий стабильную заданную скорость слива V

Полученная математическая модель позволяет определить алгоритм управления пропускной способностью шланговой задвижки. Использование разработанной системы позволяет достичь неравномерности покрытия на внутренней поверхности трубы $\pm 5\%$ по толщине. Помимо улучшения равномерности покрытия внедрение разработанного метода дает повышение производительности и культуры труда, уменьшение числа обслуживающего персонала, значительный экономический эффект.

Разработанный метод лег в основу создания системы управления нанесением покрытия на внутреннюю поверхность труб [7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. РФ 2121523. Способ двустороннего эмалирования труб большого диаметра / В.Ф. Будников, Д.В. Будников, А.А. Шачин; заявитель и патентообладатель Научно-технический центр предприятия «Кубаньгазпром». – № 97112820/02; заявл. 15.07.97; опубл. 10.11.98.
2. Пат. РФ 97112544. Способ двустороннего безгрунтового эмалирования фигурных труб малого диаметра с резьбовыми концами / В.Ф. Будников, Д.В. Будников, А.А. Шачин; заявитель и патентообладатель Научно-технический центр предприятия «Кубаньгазпром». – № 97122544/02; заявл. 21.07.97; опубл. 20.07.99.
3. Пат. 2488450. Способ нанесения покрытия на внутреннюю поверхность трубы / Б.В. Скворцов, С.А. Борминский, М.И. Голикова, А.А. Сератинский, В.И. Риккер; заявитель и патентообладатель Б.В. Скворцов, С.А. Борминский, М.И. Голикова, А.А. Сератинский, В.И. Риккер. – № 2010116734; заявл. 27.04.10; опубл. 10.11.11, бюл. № 21.
4. Казак К.В., Казак А.К., Диденко В.В. Силикатно-эмалевые покрытия труб // Энергетика региона. – 2004. – № 2.
5. Скворцов Б.В., Голикова М.И. Исследование процесса регулирования движения жидкости в системе нанесения покрытия на внутреннюю поверхность труб // Датчики и системы. – 2013. – № 3. – С. 9-13.
6. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов: Учеб. пособие. – М.: Наука, 1974. – 942 с.
7. Скворцов Б.В., Борминский С.А., Голикова М.И., Мальшиева-Стройкова А.Н. Экспериментальные исследования системы автоматического нанесения покрытия на внутреннюю поверхность трубы // Вестник Самарского отделения Поволжского центра Метрологической академии России «Информационные, измерительные и управляющие системы». – 2012. – № 12. – С. 27-32.

Статья поступила в редакцию 3 октября 2013 г.

METHOD OF COATING ON THE INNER SURFACE OF THE PIPE

B.V. Skvortsov, M.I. Zaretskaya

S.P. Korolyov Samara State Aerospace University
34, Moskovskoye sh., Samara, 443086, Russian Federation

The paper deals with the well-known methods for coating the inner surface of the pipe, and we propose a new method to improve the quality of pipe coating. Variation of the degree of opening of the valve height of the column of material applied for determining the control algorithm process draining material in the proposed method for coating the inner surface of the pipe is determined.

Keywords: *method, pipe, covering deposition, block scheme, liquid draining, constant speed control, mathematical model, control damper.*

*Boris V. Skvortsov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Margarita I. Zaretskaya, Younger Scientific Researcher.*