

$$\min_{t_1, t_2, \dots, t_n} \sqrt{\frac{1}{b-a} \int_a^b \left[ \sum_{i=1}^n f_i(t-t_i) - M \right]^2 dt}.$$

### Литература

1. Цирлин А.М. Вариационные методы расчета химических аппаратов.-М.: «Машиностроение», 1978
2. Nelder J.A, Mead R. A simplex method for function minimization. *Computer J.* 7:308-313, 1965
3. Hedar A.R, Fukushima M. Simplex coding genetic algorithm for the global optimization of nonlinear functions, *Graduate School of Informatics, Kyoto University, Kyoto 606-8501, Japan*, 2002
4. Овсепян В.С., Дерцян А.С. Об одной модификации последовательного симплексного метода. Сборник трудов международной II конференции Горисского университета, Горис, 2011

### **Полимеризация порошковых красок с использованием ИК-излучателей с наноструктурированным керамическим покрытием**

Шкарин Н.Ю.<sup>1</sup>, д.т.н. Рахимов Р.Х.<sup>2</sup>, к.ф.-м.н. в.н.с. Казенин Д.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Университет машиностроения

<sup>2</sup> Институт материаловедения НПО «Физика-Солнца» АН РУз

8(488)267-16-69, n\_shkarin@mail.ru

Аннотация. Порошковые полимерные покрытия – одно из наиболее стремительно развивающихся направлений в покраске и антикоррозийной защите промышленных изделий, оборудования, деталей машин и агрегатов. Поэтому поиск новых энергосберегающих технологий в технологии порошковой окраски становится особенно актуален.

Ключевые слова: порошковые краски, ИК-излучатели, ИК-полимеризация, энергосбережение.

Машины и агрегаты автомобильного транспорта обычно эксплуатируются в сложных условиях. Из-за контакта с топливосмазочными материалами, химическими веществами, водой, негативного влияния переменных температурных режимов и ряда других факторов поверхности тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин подвергаются воздействию агрессивных загрязнений.

Такие загрязнения уменьшают устойчивость защитно-декоративных покрытий, повышают скорость коррозионных процессов и в конечном итоге служат одной из причин, приводящей к снижению надежности машин и агрегатов.

По сравнению с традиционными лакокрасочными материалами порошковые краски обеспечивают практически безотходную технологию производства покрытий, также физико-механические свойства покрытий из порошковых красок по многим факторам превосходят покрытия из жидких лакокрасочных материалов [1].

Печи с инфракрасным нагревом хорошо показали себя при работе в автоматизированных линиях при окраске изделий простой формы.

Преимущество перед конвекционными печами обеспечивается за счёт непосредственной передачи энергии от нагревательного элемента к покрытию посредством селективного ИК-излучения, без участия промежуточного теплоносителя (воздух в конвекционных печах). За счёт снижения тепловых потерь и наличия селективных спектральных характеристик ИК-излучателей эффективность передачи тепла увеличивается в 3 и более раз.

### Технология полимеризации

Использование ИК-излучателей с наноструктурированным керамическим покрытием (НСКП) значительно ускоряет процесс покраски, существенно снижает время полимеризации красок при значительно меньших удельных расходах электроэнергии, при повышении качественных характеристик готовых изделий, значительно повышает их устойчивость к экстремальным погодным условиям и воздействию ультрафиолета.

Процесс полимеризации, состоит в последовательном многократном присоединении молекул мономеров друг к другу. Эта реакция имеет свободно-радикальный характер. Сущность радикальной полимеризации состоит в возникновении свободных радикалов, которые растут до образования макромолекулы в результате последовательного присоединения к ним молекул мономера, превращаясь после каждого акта присоединения снова в свободный радикал.

Обычно при полимеризации стандартными методами и обычными ИК-излучателями скорость образования свободных радикалов протекает сравнительно медленно и, кроме того, часто сопровождается нежелательными побочными процессами. На практике полимеризацию обычно проводят в присутствии специально добавленных веществ - инициаторов, легко распадающихся на свободные радикалы в условиях полимеризации. При соударении возбужденной молекулы со второй молекулой мономера, возбужденной квантом с другой энергией, может произойти дезактивация возбужденных частиц с рассеянием избыточной энергии в виде обычного тепла. Следовательно, не все поглощенные кванты вызывают иницирование.

Скорость фотополимеризации в малой степени зависит от температуры и пропорциональна квадратному корню из интенсивности облучения. Повышение температуры значительно больше влияет на иницирование, чем на рост и обрыв цепи. При облучении полимеров ИК-преобразователями спектра с функциональной керамикой химические реакции, приводимые к росту цепи полимеров, ускоряются без значительного нагрева. Достигается это применением специальных функциональных керамик, излучения которых активизируют процессы полимеризации.

Керамический материал, настраиваемый на спектр излучения, при котором оптимально проходит полимеризация, содержит два композита, один из которых вырабатывает импульсное излучение высокой плотности в ИК диапазоне, а второй – пропускает ИК-излучение широкого спектра (без трансформаций, до 40 мкм). Изменяя соотношение этих составляющих возможно получать большее или меньшее количество импульсов (за определенную единицу времени процесса роста макромолекул в конкретном материале), которые приводят к образованию свободных радикалов. Таким образом, изменяя соотношение составляющих в самом излучающем керамическом материале, возможно влиять на длину образующейся цепи полимера. Это позволяет более гибко управлять процессами полимеризации высокомолекулярных соединений. Становится возможным задавать конечным изделиям специальные необходимые механические и структурные свойства.

Для полимеризации красок разработан специальный керамический преобразователь спектра. Полимеризация проходит в два этапа. В течение первых 5-30 секунд (в зависимости от массогабаритных параметров изделия) проходит полная фиксация полимеров на поверхности изделий (порошок спекается). Затем в течение 3-5 минут проходит полный цикл полимеризации, при этом нет необходимости помещать окрашенное изделие в специальную камеру. Достаточно облучать изделие сразу при выходе из зоны нанесения краски. Все параметры сформированного слоя краски соответствуют нормам стойкости к механическим воздействиям для данных красок (адгезия, линейное растяжение, прямой удар, растяжение на изгиб, твердость и т.д.), а параметры коррозионной стойкости превосходят параметры образцов, полимеризованных обычным способом (влагостойкость, устойчивость к соляному туману, экстремальным погодным условиям и ультрафиолету). Полученное повышенное качество полимеризованной специальным ИК-излучением краски объясняется тем, что в процессе полимеризации спектр лучевой энергии сбалансирован ранее описанным методом (при изго-

товлении керамики), количество образующихся радикалов и скорость роста цепочек полимеров за период полимеризации оказываются оптимальными для обычных и порошковых полимерных красок.

Контрольные образцы с покрытием подвергались многократному превышению времени лучевого воздействия (до 1 часа), при этом никаких изменений качественных параметров не наблюдалось, изменение первичных цветов и оттенков красок отсутствовало.

Одной из важных особенностей использования ИК-излучателей нового типа является существенно более низкие требования к подготовке поверхности к покраске. Проведенные эксперименты показали, что нанесение на поверхность металла слоя растительного и минерального масла не снижает качество полимерного покрытия и не увеличивает время полимеризации. Было проведено измерение адгезии полимерного покрытия методом решетчатых надрезов для типов трёх образцов: 1) неподготовленная (необезжиренная) поверхность, 2) поверхность с нанесенным тампоном слоем растительного масла, 3) поверхность с нанесенным тампоном слоем растительного масла. Для всех образцов края надрезов полностью гладкие, нет признаков отслаивания ни в одном квадрате решётки, что соответствует 1 баллу по ГОСТ 15140-78.

В связи с тем что длина волны ИК-излучателей с НСКП подобрана таким образом, чтобы энергия квантов ИК-излучения соответствовала энергии активации процессов полимеризации, не требуется полного нагрева подложки до температуры полимеризации краски, что делает возможным нанесение краски на подложки с низким порогом температурной деформации (например полимерные пленки, без нарушения структуры пленки и изменения цветов покрытия). Обычные широкополосные ИК-излучатели не могут использоваться для полимеризации краски на термолабильных пленках вследствие их термодеструкции (оплавления).

#### **Заключение**

Предложена энергосберегающая технология полимеризации порошковых красок. В работе показано, что ИК-излучатели с НСКП обладают дополнительными преимуществами по сравнению с обычными широкополосными ИК-излучателями (ТЭНы, кварцевые трубки с нихромовой спиралью без покрытия, галогеновыми лампами):

1. потребление электрической энергии снижается на 30-80% в зависимости от типа окрашиваемых изделий;
2. существенно снижаются требования к подготовке поверхности;
3. время полимеризации снижается в 1.5-2 раза в зависимости от типа краски и толщины покрытия;
4. вследствие сравнительно низкой средней температуры процесса полимеризации отпадает необходимость в теплоизоляции камеры;
5. длительный срок службы ИК-излучателей (длительность работы ограничена только механическими повреждениями кварцевых труб);
6. значительно улучшаются качественные характеристики готовых изделий;
7. порошковая краска не слетает с деталей из-за отсутствия тепловых завес и циркуляции воздуха в печи;
8. возможность одновременной окраски деталей с разными цветами;
9. простота и экономичность в эксплуатации, отсутствие быстроизнашиваемых узлов;
10. взрыво- и пожаробезопасность;
11. полная безопасность при использовании органических красок.

Использование ИК-излучателей с наноструктурированным керамическим покрытием позволяет существенно снизить затраты на подготовку поверхности материалов и снижение энергопотребления за счет сокращения времени и температуры полимеризации без снижения качества покрытия. Существенно снижается материалоемкость камер полимеризации за счет упрощения конструкции и снижения требования к теплоизоляции оборудования.

**Литература**

1. Бодров А.С. Автореферат диссертации «Технология ремонтного окрашивания сельскохозяйственных машин порошковыми красками» на соискание учёной степени кандидата технических наук, Москва 2007.

**Прямой метод и алгоритм построения сплайнов третьего порядка в задачах управления работой приводов движения**

д.т.н. проф. Гданский Н. И., доц. к.т.н. Карпов А.В., асп. Бугаенко А.А.  
 Университет машиностроения, РГСУ  
 8(905)7658738, al-kr@mail.ru

*Аннотация.* При использовании предсказания в управлении вращательным движением возникает необходимость построения дважды гладкой траектории, проходящей через ранее измеренные ее узловые точки. В качестве кусочно-полиномиальной кривой, обеспечивающей требуемую гладкость, рассмотрены интерполяционные кубические сплайны, которые на промежутках между узлами представляют собой кубические параболы, непрерывно соединяющиеся в узлах с гладкостью степени 2. При наложении дополнительных краевых условий данные сплайны минимизируют ее суммарную кривизну.

*Ключевые слова:* интерполяционные сплайны, задачи управления, алгоритмы прогнозирования, кинематические характеристики, сплайны Эрмита.

**Введение**

Основным путем повышения эффективности оборудования является автоматизация основных и вспомогательных производственных операций. Выполнение последних, как правило, сопровождается недетерминированным изменением внешней нагрузки на приводах. В работе [1] на наборе эталонных кривых произведен сравнительный анализ эффективности методов интерполирования траектории перемещения в задаче управления приводами с прогнозированием внешней нагрузки. Результаты показали, что наилучшим методом интерполирования в задачах управления приводом движения является интерполирование сплайнами Фергюссона. Рациональным шагом является проведение дополнительного исследования на предмет возможности модификации метода с целью снижения вычислительных затрат и увеличения точности.

В цифровых системах управления вращательным движением при моделировании внешней нагрузки  $M = M(t, \varphi(t))$ , действующей на рабочий вал привода вращательного движения, в виде набора постоянных коэффициентов  $\bar{M}^k$ , имеющих смысл усредненных значений частных производных по времени  $t$  и углу поворота вала  $\varphi$ , мгновенную величину  $M(t, \varphi(t))$  в общем случае можно представить в виде скалярного произведения  $M(t, \varphi(t)) = (\bar{M}^k, \bar{\varphi}^k(t))$ , в котором вектор  $\bar{\varphi}^k(t)$  называемый *вектором кинематических характеристик*, соответствующим модели  $\bar{M}^k$ , зависит только от  $t$  и производных  $\varphi$  по  $t$ , имеющих порядок от первого до  $k$  – порядка модели  $\bar{M}^k$ .

При таком способе представления внешней нагрузки для расчета управляющего воздействия в данной системе используется работа  $A$ , которую должен совершать двигатель на заданном периоде импульсного управления  $T$ . Необходимая величина работы на отрезке изменения времени  $[t_i, t_{i+1}]$  как функция времени будет рассчитываться по формуле:

$$A_i(t) = \int_{t_i}^{t_{i+1}} (\bar{M}^k, \bar{\varphi}^k(t)) \varphi'(t) dt. \quad (1)$$

Как следует из общего вида формул, получаемых после раскрытия интеграла (1), в них