

УДК 004.42

DOI: 10.17277/voprosy.2016.02.pp.189-196

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ НАНЕСЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ И ПОСТРОЕНИЯ ЦИКЛОГРАММЫ РАБОТЫ АВТООПЕРАТОРА

**С. И. Пестрецов, А. А. Родина,
С. В. Серегина, Е. Ю. Хорошкова**

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический
университет», г. Тамбов*

Рецензент д-р техн. наук, профессор Д. Ю. Муромцев

Ключевые слова: автоматизированный расчет; выбор основного и вспомогательного технологического оборудования процессов нанесения гальванических покрытий; гальваническая линия; гальванические покрытия; построение циклограмм работы автооператора.

Аннотация: Представлены программные продукты, позволяющие автоматизировать расчеты по выбору основного и вспомогательного технологического оборудования процессов нанесения гальванических покрытий, а также построения циклограмм работы автооператора. Подобные программные продукты призваны обеспечить работу блока компьютерного моделирования и оптимизации конструктивных и режимных параметров процессов нанесения покрытий, входящего в состав блочно-модульной системы автоматизированного проектирования гальванических линий.

Проектирование гальванического производства связано с проведением значительного объема расчетов по выбору основного и вспомогательного технологического оборудования (гальванических ванн, автооператоров, систем вентиляции и очистки и т.д.), определению рациональной компоновки линии и планировки цеха [1].

Пестрецов Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», e-mail: pestretcov.sergey@yandex.ru; Родина Антонина Александровна – старший преподаватель кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; Серегина Светлана Владимировна – магистрант; Хорошкова Елена Юрьевна – магистрант, ТамбГТУ, г. Тамбов.

Особую актуальность данные обстоятельство приобретает при проектировании многопроцессных гальванических линий, когда в их состав входит различное технологическое оборудование, работающее одновременно, либо с переналадкой на требуемый процесс нанесения покрытия.

В многопроцессных гальванических линиях автооператор, обслуживающий гальванические ванны, должен иметь оптимальную траекторию движения вдоль линии для обеспечения требуемого времени выдержки деталей в каждой ванне и снижения энергозатрат на проведение технологического процесса нанесения покрытия. Если для линий с одним автооператором построение траектории движения автооператора и представляет определенную трудность, то для многопроцессных линий, имеющих несколько автооператоров, решение этой задачи становится многовариантным. Каждый автооператор должен иметь свою зону обслуживания ванн и оптимальную траекторию движения. Выполнение данных требований будет определять компоновку линии и ее габариты: расстановку гальванических ванн, межосевое расстояние между ними, размещение в линии сушильного оборудования, стоек загрузки-разгрузки, систем вентиляции и очистки и т.д., что, в конечном итоге, повлияет на планировку цеха.

В целях снижения трудоемкости проектирования гальванических производств предложены программы расчета оборудования и оснастки гальванических производств, а также построения циклограммы работы автооператора.

Основное окно программы расчета оборудования и оснастки гальванических производств содержит ряд вкладок.

Вкладка «Страница № 1» позволяет производить расчет годовых фондов работы оборудования и численности рабочих, исходя из производительности линии по поверхности и массе. При этом показатель единовременной загрузки на подвеску или в барабан имеет два варианта ввода значений: ввод из базы данных или расчет. В случае проведения расчета учитывается конфигурация покрываемого материала: лист, проволока или лента [1].

На вкладке «Страница № 2» производится расчет габаритов ванн, барабанов и колоколов. Размеры ванн рассчитываются в зависимости от производительности линии по поверхности и массе, а при покрытии крупногабаритных деталей – с учетом их максимальных размеров. При выборе габаритов барабанов и колоколов руководствуются следующими положениями: загрузка барабана деталями производится по высоте их укладки на плоской грани, составляющей $1/6$ – $1/7$ диаметра вписанной окружности. При расчете габаритов барабана за исходную величину принимают его длину [1 – 3].

Расчеты продолжительности осаждения гальванического покрытия, напряжения на ванне, времени обработки одной загрузки с учетом времени на загрузку и выгрузку производятся на вкладке «Страница № 3». На продолжительность осаждения влияет ряд показателей, многие из них имеют справочные значения, которые помещены в базу данных, подключенную к программе расчета. Расчет продолжительности процесса нанесения покрытия в колоколах и барабанах производят по средней плотности тока. Продолжительность промывки принимают равной 0,5...2 мин (в зависимости от характера предыдущей операции) [1].

На вкладке «Страница № 4» рассчитывается число барабанов и колоколов, а также основных и вспомогательных ванн и автооператоров. Для технологических операций малой продолжительности (около 1 мин), например, таких, как активирование, осветление, пассивирование и др., необходимое число ванн принимается по одной для каждой операции. Число барабанов и колоколов рассчитывают исходя из годовой программы гальванического цеха.

На вкладке «Страница № 5» производится кинематический расчет автооператора, в результате которого определяются параметры кинематики элементов (передаточные числа, шаги и числа зубьев, делительных окружностей, межосевое расстояние валов и др.), осуществляется подбор редукторов и электродвигателей приводов вертикального и горизонтального перемещений автооператора и их тормозов.

В основном окне программы имеется кнопка «Расчет», при нажатии на которую производится расчет всех показателей с выводом конечных результатов в отдельную форму, которая также разбита на блоки (рис. 1). Переключаясь по кнопкам разделов формы, можно увидеть конечные расчетные показатели каждого раздела. Для возврата на страницу ввода расчетных значений используется кнопка «Назад». Чтобы закрыть программу необходимо нажать кнопку «Выход» в верхнем правом углу. Результаты расчета также можно сохранить в отдельный файл, нажав кнопку «Сохранить в файл».

РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ И ОСНАСТКИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ: РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

| Годовые фонды работ. Производительность линии по поверхности и массе | Годовая и часовая производительности | |
|--|---|-------------|
| Габариты барабанов и колоколов | Пч (часовая производительность, [м ²]) | 0.472441 |
| Продолжительность осаждения металлов | Пчб (часовая производительность с учетом брака, [м ²]) | 0.467717 |
| Напряжение и сила тока | Пгб (годовая производительность с учетом брака, [м ²]) | 1782.001770 |
| Количество колоколов и барабанов | Пчб (часовая производительность с учетом одновременной загрузки, [м ²]) | 1.475147 |
| Количество ванн и автооператоров | | |
| Привод вертикального перемещения манипулятора | | |
| Привод горизонтального перемещения манипулятора | | |
| Тепловой расчет | | |
| Нагревательные и охлаждающие устройства | | |
| Дополнительные расчеты | | |
| Сушильное оборудование. Часть 1 | | |
| Сушильное оборудование. Часть 2 | | |
| Расход воды на промывку | | |
| Концентрации отмываемых веществ | | |
| Бортовые отсосы | | |

Сохранить в файл Назад

Рис. 1. Окно вывода результатов расчета оборудования и оснастки гальванических производств

Для тестирования программы использовались данные технического задания на проектирование автооператорной автоматической линии цинкования, изготовление которой осуществлено на ОАО «Тамбовгальванотехника» им. С. И. Лившица» (г. Тамбов) по заказу одного из машиностроительных предприятий. Расчеты показали полную сходимость с результатами проектных данных по материальным и энергетическим потокам, а также числу основного и вспомогательного оборудования.

Программа построения циклограммы работы автооператора основывается на алгоритмах, описанных в работе [2].

В качестве исходных данных принимаются:

– технологические операции $(0, \dots, n, 0$ – загрузка подвески покрываемыми деталями, n – разгрузка подвески);

– длительность каждой операции T_k ($k = 0, 1, 2, \dots, n$). Для одних операций длительность задана жестко определенным числом, для других задан диапазон допустимых значений от $T_{k \min}$ до $T_{k \max}$. Для лимитирующей операции под T_k понимается длительность операции, деленная на число позиций этой операции;

– время на выполнение заявки (вызова) Δt_a ;

– вызов автооператора y_k ($k = 0, 1, 2, \dots, n$) – момент времени, в который автооператор должен начинать обслуживание k -й операции; y_0 – перенос подвески с покрываемыми деталями на первую операцию производится в начальный момент времени. Совокупность заявок y_k служит основой для составления расписания работы автооператора;

– время такта T_p (интервал между двумя последовательными входами подвесок с покрываемыми деталями в гальваническую линию должен быть минимальным).

Согласно данным алгоритмам [2], необходимо учитывать, что:

– время такта не может быть меньше длительности нормирующей (самой длительной) операции

$$T_p \geq \max[(n + 1)\Delta t_a; \max T_k]; \quad (1)$$

– через время T_1 выполнения первой операции подвеску с покрываемыми деталями необходимо перенести на вторую операцию

$$y_1 = y_0 + T_1 \quad (2)$$

и так далее до тех пор, пока очередное значение не превысит время такта T_p . Это будет означать, что данная операция выполнена в следующем такте, в данном такте необходимо обслужить операцию, загруженную в предыдущем.

Таким образом, необходимо выполнить заявку

$$y_m = y_{m-1} + T_m - T_p. \quad (3)$$

Если две заявки окажутся одинаковыми, то есть у автооператора будет два вызова в один и тот же момент времени, то одна из заявок не будет выполнена. Следовательно, все числа y_k ($k = 0, 1, 2, \dots, n$) должны отличаться друг от друга не меньше, чем на время выполнения заявки Δt_a .

Задача определения минимального времени такта и составления заявок автооператора состоит в нахождении совокупности чисел T_k ($k = 0, 1, 2, \dots, n$), удовлетворяющих условиям

$$T_{k \min} \leq T_k \leq T_{k \max}, \quad (4)$$

при минимальном значении T_p (по условию (1)), при котором числа

$$y_k = \begin{cases} y_{k-1} + T_k, & \text{если } y_{k-1} + T_k < T_p, \\ y_{k-1} + T_k - T_p, & \text{если } y_{k-1} + T_k \geq T_p, \end{cases} \quad (5)$$

удовлетворяют условиям

$$|y_j - y_k| > \Delta t_a; j \neq k, j, k = 0, 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

В качестве шага дискретизации целесообразно принимать минимальную среди всех заданных длительность операции

$$\Delta T_a = \min T_k. \quad (7)$$

Диапазоны допустимых значений длительности операции заменяются наборами целых чисел, начиная с наименьшего заданного значения и кончая наибольшим

$$T_{kl} = T_{k \min} + l - 1, \quad (8)$$

из заданной совокупности возможных целых значений

$$T_{k \min} \leq T_{kl} \leq T_{k \max}, \quad (9)$$

где $l = 1, 2, \dots, m_k$; $m_k = T_{k \max} - T_{k \min} + 1$; $l = 0, 1, 2, \dots, m_k$.

Тестирование программы построения циклограммы работы автооператора осуществлялось на примере, приведенном в работе [2]. Результаты тестирования приведены на рис. 2, что полностью совпадает с циклограммой, приведенной в [2], для однопредметной гальванической линии с одним автооператором.

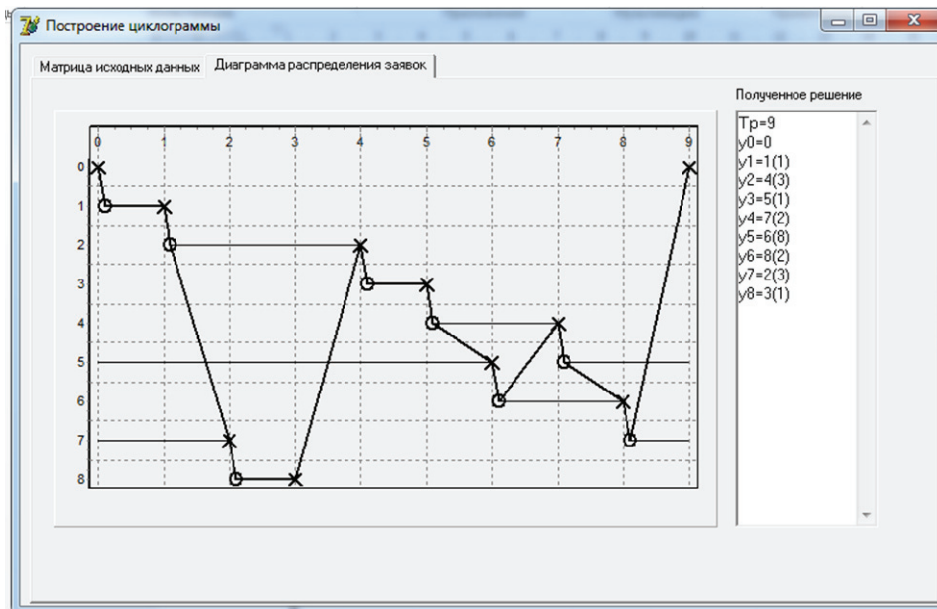


Рис. 2. Циклограмма работы автооператора (решение тестового примера по [2])

Исходя из проведенных ранее расчетов по программе расчета оборудования и оснастки гальванических производств, для линии цинкования необходим один автооператор. ОАО «Гамбовгальванотехника» им. С. И. Лившица» выпускает различные по конструкции и назначению автооператоры. Для рассматриваемой линии цинкования выбран автооператор со следующими техническими характеристиками: скорость подъема-опускания автооператора $v_{\text{верт}} = 0,11 \dots 0,13$ м/с; скорость горизонтального перемещения автооператора $v_{\text{гор}} = 0,26$ м/с; ход автооператора $H = 1750$ мм.

Таким образом, время вертикального перемещения каретки автооператора составит $t_{\text{верт}} = H/v_{\text{верт}} = 1,75/0,11 = 15,9$ с; время горизонтального перемещения автооператора по наибольшему расстоянию между двумя позициями ($h = 2,4$ м) $t_{\text{гор}} = h/v_{\text{гор}} = 2,4/0,26 = 9,3$ с. Общее время выполнения заявки $\Delta t_a = t_{\text{верт}} + t_{\text{гор}} = 15,9 + 9,3 = 25,2$ с $\approx 0,42$ мин.

Длительность операций технологического процесса нанесения цинкового покрытия представлена в табл. 1. Шаг дискретизации примем равным 0,25 мин. В нашем случае, согласно (1): $T_p \geq \max [(15 + 1) 0,42; 15] \geq \max [6; 7; 15]$.

Таблица 1

Длительность операций технологического процесса нанесения цинкового покрытия, мин

| Номер операции | Наименование операции | Длительность T_{kl} | | | | | |
|----------------|---------------------------------|-----------------------|------|----------------------|-----|---|---|
| | | min | max | min | max | | |
| | | | | в нормированном виде | | | |
| 0 | Загрузка-выгрузка | 0 | | – | | | |
| 1 | Электрохимическое обезжиривание | 3 | | 12 | | | |
| 2 | Теплая промывка | 0,5 | 1,0 | 2 | 4 | | |
| 3 | Холодная промывка | | | | | | |
| 4 | Травление | 3 | 5 | 12 | 20 | | |
| 5 | Холодная промывка | 0,25 | 0,5 | 1 | 2 | | |
| 6 | Холодная промывка | | | | | | |
| 7 | Цианистое цинкование | 3 | 5 | 12 | 20 | | |
| 8 | Улавливание | 0,25 | 0,5 | 1 | 2 | | |
| 9 | Холодная промывка | | | | | | |
| 10 | Холодная промывка | | | | | | |
| 11 | Осветление | 0,08 | 0,25 | | | 1 | 1 |
| 12 | Холодная промывка | 0,25 | 0,5 | | | | |
| 13 | Хроматирование | | 1,0 | | | | |
| 14 | Промывка теплая | | 0,5 | | | | |
| 15 | Сушка | 12 | 15 | 48 | 60 | | |

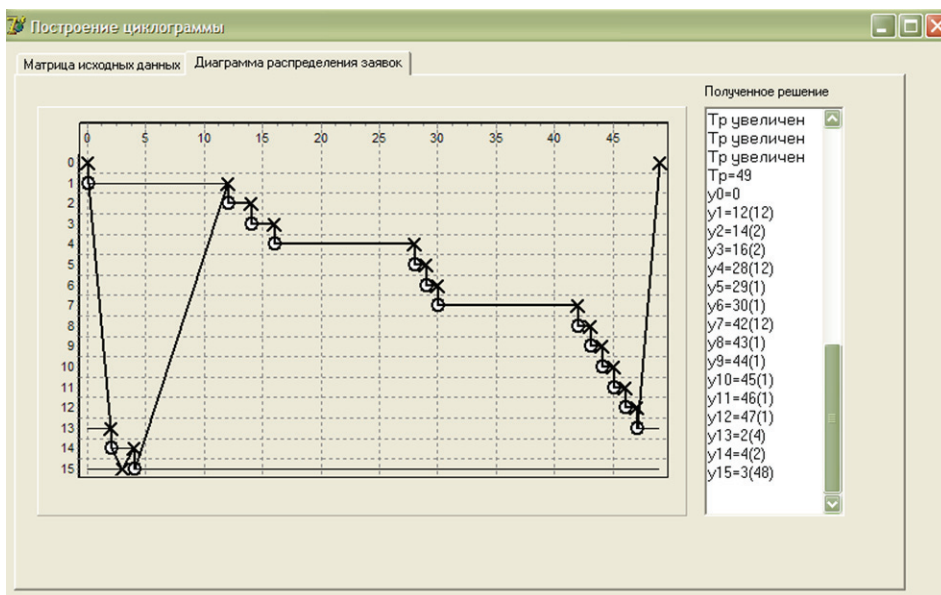


Рис. 3. Циклограмма работы автооператора гальванической линии цинкования

Согласно алгоритму [2], проведем расчет времени выполнения заявок, принимая нижнюю границу времени такта $T_p \min = 6,7$ мин (в нормированном виде 27 мин), максимальное время такта $T_p \max = 15$ мин (в нормированном виде 60 мин) и время такта $T_p = 49$ мин, что больше минимальной продолжительности самой длительной операции 48 мин. При $T_p = 49$ мин (в скобках указаны нормированные значения): $T_p = 60$, $y_0 = 0$, $y_1 = 12(12)$, $y_2 = 14(2)$, $y_3 = 16(2)$, $y_4 = 28(12)$, $y_5 = 29(1)$, $y_6 = 30(1)$, $y_7 = 42(12)$, $y_8 = 43(1)$, $y_9 = 44(1)$, $y_{10} = 45(1)$, $y_{11} = 46(1)$, $y_{12} = 47(1)$, $y_{13} = 2(4)$, $y_{14} = 3(1)$, $y_{15} = 3(48)$. В последнем случае время выполнения заявок совпадает с нормированными значениями (см. табл. 1).

По полученным данным программа построения циклограммы работы автооператора выводит циклограмму работы автооператора гальванической линии цинкования (рис. 3). Разработанные программные продукты обеспечивают работу блока компьютерного моделирования и оптимизации конструктивных и режимных параметров процессов нанесения покрытий, входящего в состав блочно-модульной системы автоматизированного проектирования гальванических линий [4].

Список литературы

1. Виноградов, С. С. Организация гальванических производств / С. С. Виноградов. – М. : Глобус, 2002. – 191 с.
2. Зубченко, В. Л. Гибкие автоматизированные гальванические линии : справочник / В. Л. Зубченко, В. И. Захаров, В. М. Рогов ; под общ. ред. В. Л. Зубченко. – М. : Машиностроение, 1989. – 672 с.
3. Новиков, А. Е. Гибкие автоматизированные гальванические линии : хрестоматия / А. Е. Новиков, А. Б. Даринцева. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. – 221 с.

4. Пестрецов, С. И. Блочно-модульная САПР гальванических линий / С. И. Пестрецов, М. А. Столбовенко // *Вопр. соврем. науки и практики*. Университет им. В. И. Вернадского. – 2013. – № 4(48). – С. 158 – 162.

References

1. Vinogradov S.S. *Organizatsiya gal'vanicheskikh proizvodstv* [Organization of galvanic production], Moscow: Globus, 2002, 191 p. (In Russ.)

2. Zubchenko V.L., Zakharov V.I., Rogov V.M. *Gibkie avtomatizirovannye gal'vanicheskie linii : spravochnik* [Flexible automated electroplating lines: a guide], Moscow: Mashinostroenie, 1989, 672 p. (In Russ.)

3. Novikov A.E., Novikov A.E., Darintseva A.B. *Gibkie avtomatizirovannye gal'vanicheskie linii : khrestomatiya* [Flexible automated electroplating lines: a reader], Ekaterinburg: GOU VPO UGTU–UPI, 2006, 221 p. (In Russ.)

4. Pestretsov S.I., Stolbovenko M.A. [Block-Modular System of Automated Design of Plating Lines], *Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University*, 2013, no. 4(48), pp. 158-162. (In Russ., abstract in Eng.)

Automated Selection of the Process Equipment for Electroplating and Operator's Job Sequence Diagram Construction

**S. I. Pestretsov, A. A. Rodina,
S. V. Seregin, E. Yu. Khoroshkova**

Tambov State Technical University, Tambov

Keywords: automated calculation; choice of main and auxiliary process equipment for electroplating; construction of operator's job sequence diagram; electroplating; galvanic line.

Abstract: The paper describes software products to automate calculations for selection of the main and auxiliary process equipment for electroplating processes, as well as construction of the operator's job sequence diagrams. These software products are designed to ensure the work of computer simulation unit and optimize the design and operational parameters of the coating process, which is part of a modular computer-aided design of electroplating lines.

© С. И. Пестрецов, А. А. Родина,
С. В. Серегина, Е. Ю. Хорошкова, 2016