

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИНИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

С. А. Санников, В. Г. Мокрозуб, М. С. Калистратов

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»,
mokrozubv@yandex.ru, ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия*

Ключевые слова: автоматизированное проектирование; линии для гальванической обработки деталей; процедурная модель; функциональная диаграмма.

Аннотация: Дано описание процедурной модели проектирования гальванических линий, которая включает в себя следующие стадии проектирования: определение типов, числа и размеров ванн на каждом этапе технологического процесса; компоновка аппаратов и трассировки трубопроводов; разработка конструкции отдельной ванны. Для каждой стадии определены входные, управляющие и выходные информационные потоки, включая обратные связи. Модель предназначена для создания интеллектуальных систем автоматизированного проектирования.

Введение

Линии для нанесения гальванических, химических и анодных покрытий используются для придания обрабатываемым изделиям защитных, декоративных, электропроводных и других свойств. Их особенность – огромное разнообразие технологических карт, рецептов для придания изделию тех или иных свойств. Обработка производится с применением однотипного оборудования, выстроенного в технологическую цепочку – линию, которая включает основное и вспомогательное оборудование, выпрямительные и фильтровальные установки, холодильные машины, запорную и регулирующую арматуру, трубопроводы.

В соответствии с ГОСТ 2.103–2013 основными этапами разработки конструкторской документации являются:

- разработка проектной конструкторской документации (техническое предложение, эскизный проект, технический проект);
- разработка рабочей конструкторской документации.

На каждом из этапов осуществляется детализация проекта.

Проектирование линии проходит две взаимосвязанные инженерно-технические стадии [1]:

- технологическую;
- конструкционную.

Цель технологического проектирования состоит в выборе (разработке) оптимальной технологической карты получения покрытий, удовлетворяющих требованиям технического задания, разработке оптимальной компоновки линии

(сокращение потерь, связанных с перемещением обслуживающего персонала или манипулятора), определении оптимальных технологических и конструкционных параметров технологических ванн и др. В качестве критерия оптимизации, как правило, используют капитальные и эксплуатационные затраты.

На стадии конструкционного проектирования решаются задачи оптимального размещения оборудования, выбора и разработки конструкции технологических ванн, разработки монтажно-технологической документации и пр.

Вопросам разработки систем автоматизированного проектирования (САПР) химико-технологических систем (ХТС), к которым можно отнести и гальванические линии, посвящено большое число публикаций. В статьях [2, 3] дано описание разработки САПР ХТС для химико-фармацевтической промышленности, в [4 – 7] рассмотрена автоматизация различных этапов проектирования многоассортиментных химических производств, в [8] дан подробный анализ состояния автоматизированного проектирования многоассортиментных химических производств. Авторы публикаций [9, 10] описывают подходы к проектированию оборудования отдельных стадий гальванических линий, в работах [11, 12] рассматриваются управление и оптимизация гальванических процессов.

Несмотря на достаточно большое число публикаций, посвященных автоматизации проектирования гальванических линий и смежных областей, в литературных источниках отсутствует описание процесса проектирования гальванических линий как системы, охватывающей стадии технологического и конструкционного проектирования.

Цель данного исследования – разработка процедурной модели проектирования линии для нанесения гальванического, химического и анодного покрытий, охватывающей стадии технологического и конструкционного проектирования.

Представлена функциональная диаграмма стадий технологического и конструкционного проектирования линии. При этом на стадии технологического проектирования решается задача определения технологической карты обработки деталей, типов ванн на каждом этапе (формирование структуры линии), числа и размеров технологических ванн, на стадии конструкционного проектирования – размещения ванн в линии (одно-, двухрядные линии) в производственном помещении, трассировки трубопроводов и конструирования отдельных единиц основного и вспомогательного оборудования. Рассмотрена процедурная модель проектирования линии.

Функциональная диаграмма проектирования линий для нанесения гальванических, химических и анодных покрытий

Для представления этапов процесса проектирования линий и информационных потоков, присутствующих при проектировании, воспользуемся методологией функционального моделирования и графической нотации IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling).

Контекстная диаграмма верхнего уровня, отображающая связи процесса проектирования с окружающей средой, представлена на рис. 1.

Функция блока А0 – проектирование технологического объекта. Исходные данные для проектирования – техническое задание, включающее перечень обрабатываемых деталей, объемы и технологические карты (при наличии) обработки каждой детали и сборочной единицы (ДСЕ). Результат – элементы технического проекта, включающие тип и размеры каждой единицы оборудования линии (спецификации), компоновочные чертежи оборудования, чертежи трассировки трубопроводов, конструкторско-технологическую документацию на оборудование, которое предстоит изготовить. Механизмы – технологи-электрохимики, конструкторы, технологи машиностроения – «лица, принимающие решения» в вопросах выбора.

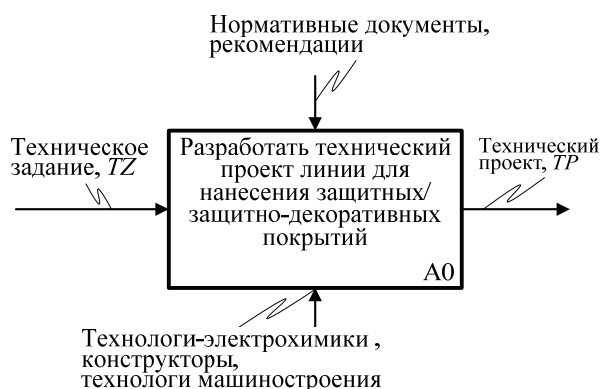


Рис. 1. Контекстная диаграмма верхнего уровня A0 проектирования гальванической линии

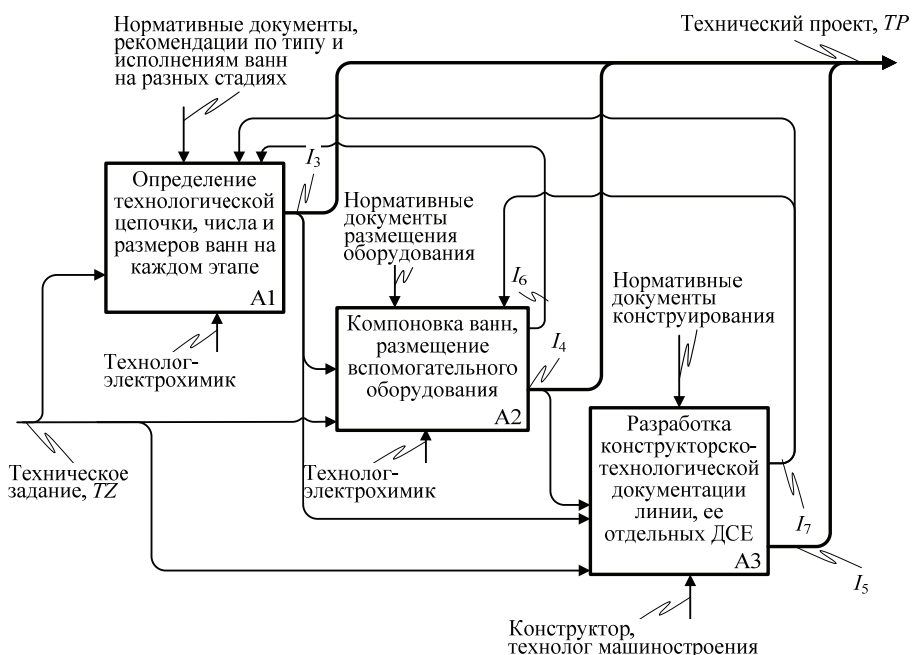


Рис. 2. A0 – разработка технического проекта линии для нанесения защитно-декоративных покрытий

На рисунке 2 представлена функциональная диаграмма A0 – разработка технического проекта линии для нанесения защитно-декоративных покрытий, где используются следующие информационные потоки:

TZ – техническое задание на проектирование, $TZ = I_1 \cup I_2$;

I_1 – перечень обрабатываемых ДСЕ, объемы их выпуска и время, за которое надо выпустить данные объемы;

I_2 – технологическая карта (последовательность операций обработки для каждого ДСЕ, состав и количество химических реагентов, добавок, их свойства, продолжительность каждой технологической операции и др.);

I_3 – размер единичной загрузки, используемый технологический спутник, тип, число и рабочее окно ванн на каждой стадии (спецификация основного и вспомогательного оборудования);

I_4 – координаты аппаратов в производственном помещении, координаты вспомогательного оборудования и соединительных трубопроводов (компоновочные чертежи и чертежи трасс);

I_5 – структура, размеры элементов и порядок изготовления ванн (спецификация, чертеж общего вида, чертежи деталей, маршрутно-операционные карты);

I_6 – перечень проблемных ванн для стадии размещения и трассировки, причины, по которым для этих аппаратов не удастся выполнить этап размещения и трассировки;

I_7 – перечень проблемных стадий для изготовления ванн с теми характеристиками, которые определены на предыдущих этапах.

TP – технический проект, $TP = I_3 \cup I_4 \cup I_5$.

Функциональная диаграмма A1 – определение технологической цепочки, числа и размеров ванн на каждом этапе, представлена на рис. 3, где I_{31} – типы ванн на каждом этапе; I_{32} – число и размеры ванн; I_{33} – проблемные стадии рабочего окна и числа ванн; $I_3 = I_{31} \cup I_{32}$.

Функциональная диаграмма A2 – размещение аппаратов и трассировка трубопроводов, представлена на рис. 4. Предполагается, что оборудование размещается в несколько рядов. В этом случае задача размещения оборудования может быть разбита на две подзадачи:

- размещение ванн по рядам;
- размещение ванн в ряду.

Информационные потоки:

I_{41} – перечень ванн, размещаемых в каждом ряду;

I_{42} – координаты ванн в каждом ряду;

I_{43} – координаты трубопроводов;

$I_4 = I_{42} \cup I_{43}$ – компоновочные чертежи и чертежи трасс.

I_{44} – проблемные ванны при размещении в заданном ряду;

I_{45} – проблемные ванны при трассировке трубопроводов.

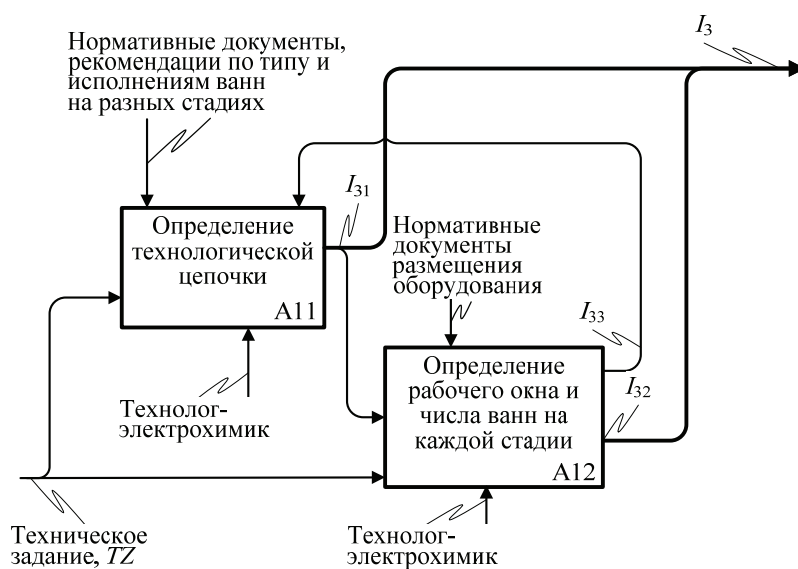


Рис. 3. A1 – Определение технологической цепочки, числа и размеров ванн на каждом этапе

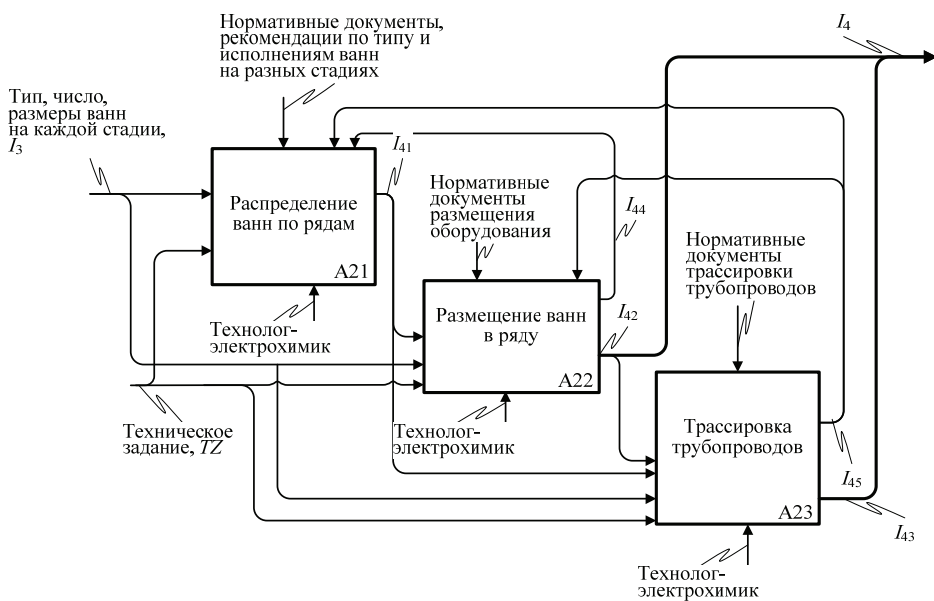


Рис. 4. А2 – Размещение аппаратов и трассировка трубопроводов



Рис. 5. А3 – Разработка конструкторско-технологической документации отдельных единиц оборудования

Функциональная диаграмма А3 – разработка конструкторско-технологической документации отдельных единиц оборудования, представлена на рис. 5.

Информационные потоки:

I_{51} – результаты технологического расчета и оптимизации технологических и конструктивных параметров аппарата;

I_{52} – конструкторская документация;

I_{53} – проблемные характеристики аппарата при конструировании;

I_{54} – проблемные стадии разработки технологии изготовления ванн;

I_{55} – технологическая документация;

$I_5 = I_{52} \cup I_{53}$ – технический проект аппарата (конструкторско-технологическая документация).

Процедурная модель проектирования линий, предназначенных для гальванической, химической и анодной обработки деталей

Процедурная модель FM предназначена для преобразования информационного потока, определенного техническим заданием TZ в информационный поток технического проекта TP с использованием информационной модели проектируемого объекта M :

$$FM : TZ \xrightarrow{M} TP ;$$

$$TZ = I_1 \cup I_2 ;$$

$$TP = I_3 \cup I_4 \cup I_5 .$$

Процедурную модель представим в виде системы выражений:

$$FM = \langle F_1, F_2, F_3 \rangle ;$$

$$M = \langle M_1, M_2, M_3 \rangle ;$$

$$F_1 : TZ \cup I_6 \cup I_7 \xrightarrow{M_1} I_3 ;$$

$$F_2 : TZ \cup I_3 \cup I_7 \xrightarrow{M_2} I_6 ;$$

$$F_3 : TZ \cup I_3 \cup I_4 \xrightarrow{M_3} I_5 \cup I_7 ,$$

где F_1, F_2, F_3 – процедуры соответственно определения технологической цепочки, числа и размеров ванн на каждой стадии; размещения ванн и трассировки трубопроводов; разработки конструкторско-технологической документации отдельных единиц оборудования; M_1, M_2, M_3 – информационные модели соответственно технологической цепочки, числа и размеров ванн на каждой стадии; размещения ванн и трассировки трубопроводов; отдельной ванны технологической цепочки;

$$F_1 = \langle F_{11}, F_{12} \rangle ;$$

$$M_1 = \langle M_{11}, M_{12} \rangle ;$$

$$F_{11} : TZ \cup I_{33} \xrightarrow{M_{11}} I_{31} ;$$

$$F_{12} : TZ \cup I_{31} \xrightarrow{M_{12}} I_{32} \cup I_{33} ,$$

где F_{11}, F_{12} – процедуры соответственно определения технологической цепочки; числа и размеров ванн на каждой стадии; M_{11}, M_{12} – информационные модели соответственно технологической цепочки и ванн на каждой стадии (позволяет определить число аппаратов и рабочее окно загрузки);

$$F_2 = \langle F_{21}, F_{22}, F_{23} \rangle ;$$

$$M_2 = \langle M_{21}, M_{22}, M_{23} \rangle ;$$

$$F_{21} : TZ \cup I_3 \cup I_{44} \cup I_{45} \xrightarrow{M_{21}} I_{41} ;$$

$$F_{22} : TZ \cup I_{41} \cup I_3 \cup I_{45} \xrightarrow{M_{22}} I_{42} \cup I_{44} ;$$

$$F_{23} : TZ \cup I_{41} \cup I_{42} \xrightarrow{M_{23}} I_{43} \cup I_{45} ,$$

где F_{21}, F_{22}, F_{23} – процедуры соответственно распределения ванн по рядам; размещения ванн в ряду; трассировки трубопроводов; M_{21}, M_{22}, M_{23} – информационные модели соответственно распределения ванн по рядам; размещения ванн в ряду; трассировки трубопроводов;

$$F_3 = \langle F_{31}, F_{32}, F_{33} \rangle ;$$

$$M_3 = \langle M_{31}, M_{32}, M_{33} \rangle ;$$

$$F_{31} : TZ \cup I_{32} \cup I_{53} \cup I_{54} \xrightarrow{M_{31}} I_{51} ;$$

$$F_{32} : TZ \cup I_{32} \cup I_4 \cup I_{51} \cup I_{54} \xrightarrow{M_{32}} I_{52} \cup I_{53} ;$$

$$F_{33} : I_{52} \xrightarrow{M_{33}} I_{55} \cup I_{54} ,$$

где F_{31}, F_{32}, F_{33} – процедуры соответственно технологического расчета ванны и оптимизации ее конструктивных и технологических параметров; разработки конструкции ванны; разработки технологии изготовления ванны; M_{31}, M_{32}, M_{33} – информационные модели соответственно технологического расчета ванны и оптимизации ее конструктивных и технологических параметров; конструкции ванны; технологии изготовления ванны.

В таблице 1 обобщены приведенные состав и функции процедурной модели.

Таблица 1

**Процедурная модель процесса проектирования линии
для гальванической, химической и анодной обработки деталей**

Процедура	Действие
1	2
$FM, FM = \langle F_1, F_2, F_3 \rangle$	$FM : TZ \xrightarrow{M} TP ,$ $M = \langle M_1, M_2, M_3 \rangle$
$F_1, F_1 = \langle F_{11}, F_{12} \rangle$	$F_1 : TZ \cup I_6 \cup I_7 \xrightarrow{M_1} I_3 ,$ $M_1 = \langle M_{11}, M_{12} \rangle$
F_{11}	$F_{11} : TZ \cup I_{33} \xrightarrow{M_{11}} I_{31}$
F_{12}	$F_{12} : TZ \cup I_{31} \xrightarrow{M_{12}} I_{32} \cup I_{33}$
$F_2, F_2 = \langle F_{21}, F_{22}, F_{23} \rangle$	$F_2 : TZ \cup I_3 \cup I_7 \xrightarrow{M_2} I_4 \cup I_6 ,$ $M_2 = \langle M_{21}, M_{22}, M_{23} \rangle$
F_{21}	$F_{21} : TZ \cup I_3 \cup I_{44} \cup I_{45} \xrightarrow{M_{21}} I_{41}$

1	2
F_{22}	$F_{22} : TZ \cup I_{41} \cup I_3 \cup I_{45} \xrightarrow{M_{22}} I_{42} \cup I_{44}$
F_{23}	$F_{23} : TZ \cup I_{41} \cup I_{42} \xrightarrow{M_{23}} I_{43} \cup I_{45}$
$F_3, F_3 = \langle F_{31}, F_{32}, F_{33} \rangle$	$F_3 : TZ \cup I_3 \cup I_4 \xrightarrow{M_3} I_5 \cup I_7,$ $M_3 = \langle M_{31}, M_{32}, M_{33} \rangle$
F_{31}	$F_{31} : TZ \cup I_{32} \cup I_{53} \cup I_{54} \xrightarrow{M_{31}} I_{51}$
F_{32}	$F_{32} : TZ \cup I_{32} \cup I_4 \cup I_{51} \cup I_{54} \xrightarrow{M_{32}} I_{52} \cup I_{53}$
F_{33}	$F_{33} : I_{52} \xrightarrow{M_{33}} I_{55} \cup I_{54}$

Заключение

Дано описание процедурной модели проектирования гальванических линий. Для каждой стадии определены входные, управляющие и выходные информационные потоки, включая обратные связи. Модель предназначена для разработки интеллектуальной системы автоматизированного проектирования, в которой последовательность этапов проектирования и необходимость возврата на предыдущие этапы определяется автоматически или с минимальным участием человека.

Дальнейшее развитие процедурной модели предполагает разработку информационных моделей каждой стадии проектирования, позволяющих преобразовать входной информационный поток стадии в выходной.

Список литературы

1. Кафаров, В. В. Проектирование и расчет оптимальных систем технологических трубопроводов / В. В. Кафаров, В. П. Мешалкин. – М. : Химия, 1991. – 368 с.
2. Автоматизированное создание технологических схем для химико-фармацевтической промышленности / А. В. Матасов, С. Э. Батин, А. И. Козлов, В. А. Мозгунов, Н. В. Миньшутина // Информационные ресурсы России. – 2010. – № 4. – С. 14 – 17.
3. Батин, С. Э. Алгоритм подбора оборудования для технологических схем производства твердых лекарственных препаратов / С. Э. Батин, А. В. Матасов // Успехи в химии и химической технологии. – 2010. – Т. 24, № 1 (106). – С. 8 – 10.
4. Карпушкин, С. В. Выбор основной аппаратуры для оснащения технологических систем многоассортиментных химических производств / С. В. Карпушкин, В. И. Зацепина, Е. П. Зацепин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 552 – 557.
5. Borisenko, A. V. Hierarchy of Processing Equipment Configuration Design Problems for Multiproduct Chemical Plants / A. V. Borisenko, S. V. Karpushkin // Journal of Computer and Systems Sciences International. – May 2014. – Vol. 53, Is. 3. – P. 410 – 419. doi: 10.1134/S1064230714030046
6. Mokeddem, D. Optimal Solutions of Multiproduct Batch Chemical Process Using Multiobjective Genetic Algorithm with Expert Decision System / D. Mokeddem, A. Khellaf // Journal of Automated Methods and Management in Chemistry. – 2009. – Vol. 2009(1). – P. 927426. doi: 10.1155/2009/927426

7. Егоров, С. Я. Автоматизированный выбор, размещение и визуализация трубопроводной арматуры химических производств / С. Я. Егоров, С. Ю. Бойков, К. В. Немтинов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 457 – 461.

8. Egorov, A. F. The Current State of Analysis, Synthesis, and Optimal Functioning of Multiproduct Digital Chemical Plants: Analytical Review / A. F. Egorov, T. V. Savitskaya, P. G. Mikhailova // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2021. – Vol. 55, No. 2. – P. 225 – 252. doi: 10.1134/S0040579521010061

9. Аносова, О. И. Проектирование гальванических линий с использованием информационных технологий / О. И. Аносова, К. В. Немтинов, А. А. Родина, В. А. Немтинов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3, № 7-3 (18-3). – С. 310 – 313.

10. Разработка конструкции установки химического никелирования, функционирующей в составе гальванической линии / А. Б. Борисенко, В. В. Храпцов, В. А. Немтинов, А. В. Крылов, М. А. Матрохин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2021. – Т. 27, № 2. – С. 275 – 284. doi: 10.17277/vestnik.2021.02.pp.275-284

11. Пчелинцева, И. Ю. Система автоматизированного управления процессом нанесения гальванического покрытия в ванне с токонепроводящим экраном / И. Ю. Пчелинцева, Ю. В. Литовка // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2022. – Т. 23, № 4. – С. 188 – 196. doi : 10.17587/mau.23.188-196

12. Пчелинцева, И. Ю. Математическая модель и численная схема расчета электрических полей в гальванических ваннах с плоским токонепроводящим экраном // И. Ю. Пчелинцева, Ю. И. Литовка // Дифференциальные уравнения и процессы управления. – 2021. – № 3. – С. 85 – 97.

System Analysis of the Design Process of Lines for Electrochemical and Chemical Processing of Parts

S. A. Sannikov, V. G. Mokrozub, M. S. Kalistratov

*Department of Computer-Integrated Systems in Mechanical Engineering,
mokrozubv@yandex.ru, TSTU, Tambov, Russia*

Keywords: computer-aided design; lines for galvanic processing of parts; procedural model; functional diagram.

Abstract: The paper describes a procedural model for designing galvanic lines, which includes the following design stages: identification of the types, number and dimensions of baths at each stage of the technological process; arrangement of devices and piping routing; development of the design of a separate bath. For each stage, input, control and output information flows, including feedbacks, are defined. The model is designed to create intelligent computer-aided design systems.

References

1. Kafarov V.V., Meshalkin V.P. *Proyektirovaniye i raschet optimal'nykh sistem tekhnologicheskikh truboprovodov* [Design and calculation of optimal systems of technological pipelines], Moscow: Khimiya, 1991, 368 p. (In Russ.).

2. Matasov A.V., Batin S.E., Kozlov A.I., Mozgunov V.A., Men'shutina N.V. [Automated creation of technological schemes for the chemical and pharmaceutical industry], *Informatsionnyye resursy Rossii* [Information Resources of Russia], 2010, no. 4, pp. 14-17. (In Russ., abstract in Eng.).
3. Batin S.E., Matasov A.V. [Equipment selection algorithm for technological schemes for the production of solid drugs], *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Advances in chemistry and chemical technology], 2010, vol. 24, no. 1(106), pp. 8-10. (In Russ., abstract in Eng.).
4. Karpushkin S.V., Zatsepina V.I., Zatsepin Ye.P. [Choice of the main equipment for equipping technological systems of multi-assortment chemical productions], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2012, vol. 18, no. 3, pp. 552-557. (In Russ., abstract in Eng.).
5. Borisenko A.B., Karpushkin S.V. Hierarchy of Processing Equipment Configuration Design Problems for Multiproduct Chemical Plants, *Journal of Computer and Systems Sciences International*, May 2014, vol. 53, Is. 3, pp. 410-419. doi: 10.1134/S1064230714030046
6. Mokeddem D., Khellaf A. Optimal Solutions of Multiproduct Batch Chemical Process Using Multiobjective Genetic Algorithm with Expert Decision System, *Journal of Automated Methods and Management in Chemistry*, 2009, vol. 2009, art. ID 927426, 9 p. doi: 10.1155/2009/927426
7. Egorov S.Ya., Boikov S.Yu., Nemtinov K.V. [Automated selection, placement and visualization of pipeline fittings for chemical production], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2011, vol. 17, no. 2, pp. 457-461. (In Russ., abstract in Eng.).
8. Egorov A.F., Savitskaya T.V., Mikhailova P.G. The Current State of Analysis, Synthesis, and Optimal Functioning of Multiproduct Digital Chemical Plants: Analytical Review, *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2021, vol. 55, no. 2, pp. 225-252. doi: 10.1134/S0040579521010061
9. Anosova O.I., Nemtinov K.V., Rodina A.A., Nemtinov V.A. Design of galvanic lines using information technologies, *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, vol. 3, no. 7-3 (18-3), pp. 310-313. (In Russ.).
10. Borisenko A.B., Khramtsov V.V., Nemtinov V.A., Krylov A.V., Matrokhin M.A. [Development of the design of a chemical nickel plating plant operating as part of a galvanizing line], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2021, vol. 27, no. 2, pp. 275-284. doi: 10.17277/vestnik.2021.02.pp.275-284 (In Russ., abstract in Eng.).
11. Pchelintseva I.Yu., Litovka Yu.V. [Automated control system for the process of electroplating in a bath with a non-conductive of electric current screen], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye* [Mechatronics, automation, control], 2022, vol. 23, no. 4, pp. 188-196. doi:10.17587/mau.23.188-196 (In Russ., abstract in Eng.).
12. Pchelintseva I.Yu., Litovka Yu.V. [Mathematical model and numerical scheme for calculating electric fields in galvanic baths with a flat non-conductive screen], *Differentsial'nyye uravneniya i protsessy upravleniya* [Differential equations and control processes], 2021, no. 3, pp. 85-97. (In Russ., abstract in Eng.).

Systemanalyse des Linienentwurfsprozesses für die elektrochemische und chemische Bearbeitung von Teilen

Zusammenfassung: Es ist ein Verfahrensmodell für die Planung von Galvanikanlagen beschrieben, das folgende Planungsphasen umfasst: Bestimmung der Art, Anzahl und Abmessungen von Bädern in jeder Phase des technologischen

Prozesses; Geräteanordnung und Leitungsführung; Entwicklung des Designs eines einzelnen Bades. Für jede Stufe sind Eingangs-, Steuer- und Ausgangsinformationsflüsse einschließlich Rückmeldungen definiert. Das Modell ist entwickelt, um intelligente computergestützte Konstruktionssysteme zu erstellen.

Analyse systématique du processus de conception de lignes pour l'usinage électrochimique et chimique des pièces

Résumé: Est donnée la description du modèle procédural de la conception des lignes galvaniques, qui comprend les étapes de la conception suivantes: détermination du type, du nombre et de la taille des baignoires à chaque étape du processus technologique; disposition des appareils et du traçage des canalisations; élaboration de la conception d'un bain. Pour chaque étape sont définis les flux d'informations d'entrée, de contrôle et de sortie, y compris les retours. Est conçu le modèle pour créer des systèmes intelligents de la conception assistée par ordinateur.

Авторы: *Санников Сергей Анатольевич* – аспирант кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Мокрозуб Владимир Григорьевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Калистратов Максим Сергеевич* – магистрант; ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия.
