doi: 10.24411/2409-5419-2018-10228

МНОГОУРОВНЕВАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

ТУЕВ
Василий Иванович[1]

ДМИТРИЕВ
Вячеслав Михайлович[2]

ГАНДЖА
Тарас Викторович[3]

СОЛДАТКИН
Василий Сергеевич[4]

Сведения об авторах:

[1]д.т.н., доцент, директор научно-исследовательского института светодиодных технологий Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия, tvi_retem@main.tusur.ru

[2]д.т.н., профессор, профессор кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия, dmitriewvm@gmail.com

[3]д.т.н., профессор кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия, gandgatv@gmail.com

[4]к.т.н., доцент кафедры радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия, soldatkinvs@main.tusur.ru

АННОТАЦИЯ

Рассмотрен технологический процесс производства современных светодиодных ламп на основе светодиодных излучающих элементов. Выделены его основные этапы и технологические операции. Определены три уровня управления технологическими процессами: операционный, тактический и стратегический. Целью исследования является построение компьютерной модели тактического уровня управления технологическими процессами. Сформулированы задачи исследования технологических процессов, для автоматизации которых могут быть применены компьютерные модели. Основное внимание уделено задаче прототипирования алгоритмов управления технологическими процессами производства светодиодных ламп, так как в настоящее время отсутствуют программно-инструментальные средства автоматизации их решения. На основе построения его функциональной модели в виде диаграммы формата IDEF-0 предложена интерпретация этой методологии в формат метода многоуровневых компонентных цепей, программной реализацией которого является среда многоуровневого компьютерного моделирования. Она позволяет формировать многоуровневые компьютерные модели производственных модулей, реализующих тактический уровень управления технологическими процессами, на взаимосвязанных объектном, логическом и визуальном слоях. На её объектном слое располагаются компьютерные модели управляемого технологического оборудования. Логический слой содержит алгоритм функционирования контроллера, сформированный в формате графического языка управления механизмами X-Robot. На визуальном слое находятся средства визуализации результатов моделирования и органы интерактивного управления значениями параметров модели и ходом выполнения вычислительного эксперимента. Сформирована многоуровневая компьютерная модель обобщенного производственного модуля, составляющего тактический уровень управления технологическим процессов, а также определены структура и вектор решения физико-химического блока, представляющего собой обобщенную модель объектного уровня многоуровневой компьютерной модели. Рассмотрены вопросы и представлены инструментальные средства объединения многоуровневых моделей производственных модулей в производственный конвейер. Сформирована компьютерная модель производственного модуля «Припайка источника питания», которая является моделью объектного уровня многоуровневой модели, и представлен сценарий функционирования его контроллера, формируемый на логическом уровне многоуровневой модели.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: светодиод; роботизированное производство; многослойная компьютерная модель; производственный модуль; производственный контейнер.

Для цитирования: *Туев В.И., Дмитриев В.М., Ганджа Т.В., Солдаткин В.С.* Многоуровневая компьютерная модель технологического процесса производства светодиодных ламп // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 1. С. 86–98. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10228

Введение

Компьютерное моделирование в последнее время находит широкое применение для большого круга задач исследования и проектирования. Компьютерные модели формируются либо в виде систем алгебро-дифференциальных уравнений, либо в виде алгоритмов имитационного моделирования, в которых каждый компонент срабатывает отдельно, передавая результаты работы следующим компонентам. Наилучший эффект достигается при объединении этих видов моделирования в единой компьютерной модели с возможностями своевременной визуализации полученных результатов анализа модели и интерактивного управления значениями её параметров.

С помощью такой компьютерной модели открываются возможности анализа протекания роботизированных технологических процессов. За счет этого автоматизации подлежит решение следующих актуальных задач:

1) синтез алгоритмов управления, на основе которых функционирует управляющее устройство, реализованное на базе универсального контроллера;

2) модельного проектирования, направленного на минимизацию и оптимизацию технологического процесса производства в структурном, параметрическом и технико-экономическом аспектах.

Задачи модельного проектирования технологических процессов в настоящее время успешно решаются такими системами, как GPSS [1], AnyLogic [2], ANSYS [3]. Однако в них отсутствуют средства прототипирования сценариев функционирования управляющих контроллеров.

В рамках данной статьи рассматриваются вопросы формирования многоуровневых компьютерных моделей для автоматизации синтеза алгоритмов управления технологическими процессами производства светодиодных филаментных ламп [4, 5] как на тактическом, так и на стратегическом уровнях управления.

Системный анализ и формализованное представление технологического процесса производства светодиодных ламп

Одной из перспективных тенденций развития полупроводниковой светотехники является светодиодная лампа на основе светодиодных излучающих элементов (LED filament bulb). По форме такая лампа представляет традиционную лампу накаливания, но вместо нити накала используются светодиодные излучающие элементы, а в цоколе размещено устройство питания. Световая отдача таких ламп достигает на промышленных образцах 190 лм/Вт [6].

Светодиодная лампа состоит из стеклянной колбы, внутри которой расположена опорная конструкция со светодиодным излучающим элементом и цоколя, в котором расположено устройство управления (рис. 1).

Светодиодная лампа на основе светодиодных излучающих элементов имеет схожую с лампой накаливания технологию изготовления, однако имеет меньшую температуру нагрева [7–9], что положительно сказывается на экономии электроэнергии и их безопасности использования

Перечень технологических операций технологического процесса изготовления светодиодных ламп на основе светодиодных излучающих элементов [10]:

– изготовление ножек (механизм штамповки ножек);

– монтаж светодиодных излучающих элементов (механизм монтажа ножек);

– заварка (механизм заварки, откачки и наполнения ламп);

– маркировка;

– откачка (механизм заварки, откачки и наполнения ламп);

– промывка (механизм заварки, откачки и наполнения ламп);

– припайка источника питания (механизм припайки источника питания);

– цоколевание (механизм цоколевания ламп);

– обжиг;

– контроль и испытания;

– упаковка (механизм упаковки ламп).

Из технологического процесса производства светодиодных устройств для построения компьютерных моделей роботизированных производственных участков [11] были выделены следующие процессы:

– штамповка ножек;

– монтаж ножек;

– заварка, откачка, наполнение ламп;

– припайка источника питания (ИП);

– цоколевание ламп.



Рис. 1. Конструкция светодиодной лампы

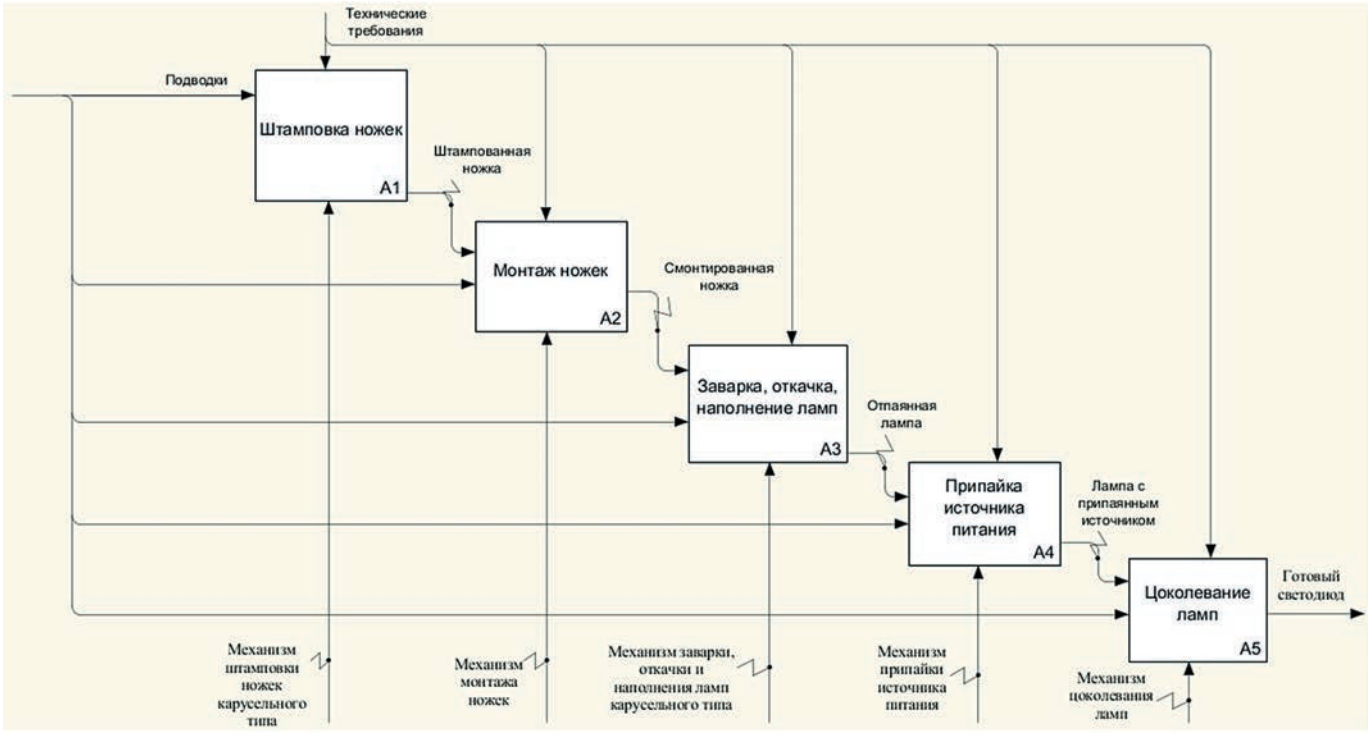


Рис. 2. Диаграмма первого уровня

Данные операции составляют диаграмму IDEF-0 первого уровня иерархии рассматриваемого технологического процесса (рис. 2).

Установленный порядок следования процессов на диаграмме (определение последовательности выполнения процессов). После связывания между собой процессов создается граничная стрелки выхода «Готовый светодиод».

Каждый из представленных на диаграмме процессов, в свою очередь, может быть детализирован. Диаграмма второго уровня, детализация первого процесса «Штамповка ножек» показана на рис. 3.

На данной диаграмме описан процесс «Штамповка ножек», который показывает загрузку тарелок, штенгелей, штабиков, токовых вводов в бункера, которое производится вручную.

В рамках прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по теме: «Разработка прототипов передовых технологических решений роботизированного интеллектуального производства электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств» разрабатывается экспериментальный стенд для отработки основных технологических операций производства светодиодных ламп (штамповка ножек; монтаж ножек; заварка, откачка и наполнение ламп; припайка источника питания; цоколевание ламп) и вспомогательных технологических операций (контроль параметров ламп; тренировка ламп; упаковка ламп и др.)

В состав экспериментального стенда для отработки технологических операций производства светодиодных ламп входят наборы основных и вспомогательных технологических операций:

Для основных технологических операций:

– механизм штамповки ножек;
– механизм монтажа ножек;
– механизм заварки, откачки и наполнения ламп;
– механизм припайки источника питания;
– механизм цоколевания ламп.

Для вспомогательных технологических операций:

– установка контроля параметров ламп;
– установка тренировки ламп;
– механизм упаковки ламп и др.

Имитационная модель роботизированного технологического процесса изготовления светодиодного излучающего элемента и светодиодных ламп должна обеспечивать возможность исследования характеристик технологических процессов изготовления светодиодного излучающего элемента и светодиодных ламп.

Согласно диаграммам методологии IDEF-0 моделирование технологических процессов в рамках среды многоуровневого компьютерного моделирования может проводиться на трех уровнях рассмотрения производственного оборудования:

– на операционном — уровне выполнения элементарных технологических операций либо физико-химических

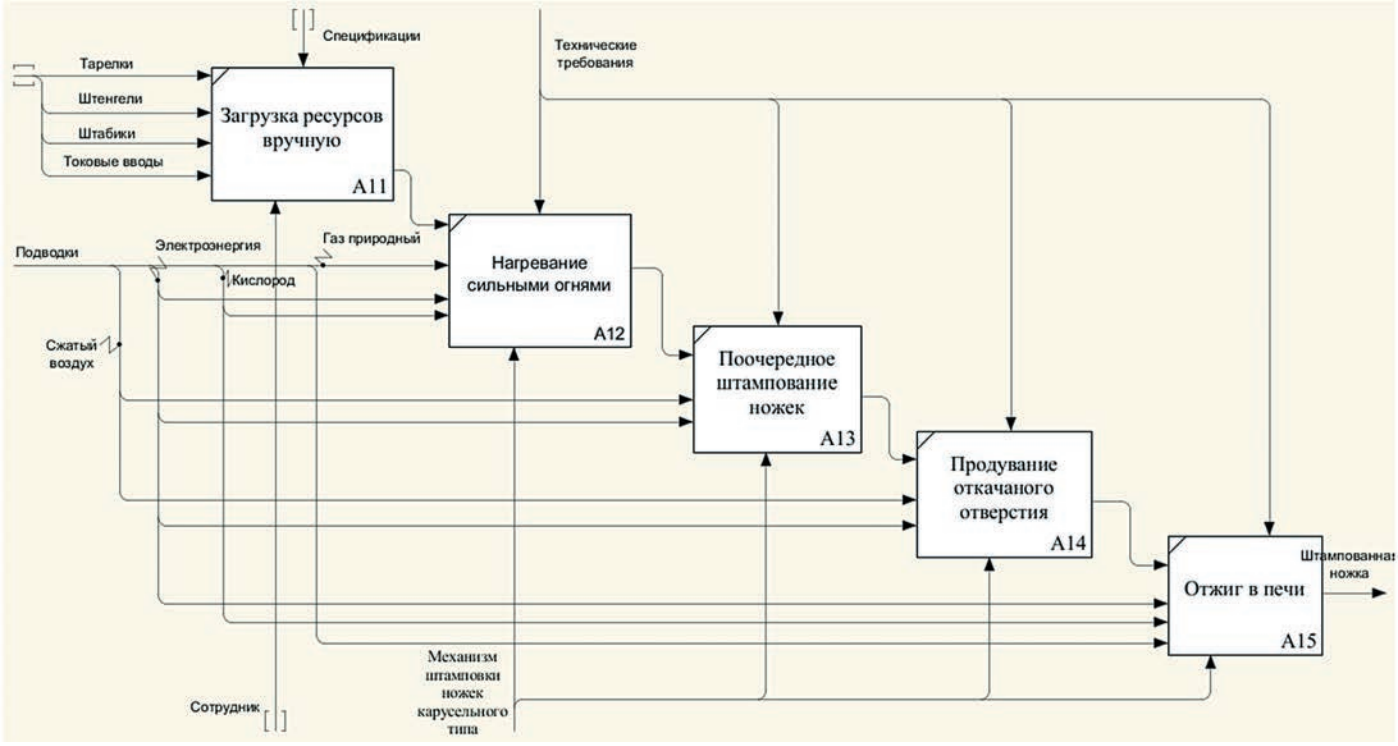


Рис. 3. Диаграмма второго уровня «Штамповка ножек»

эффектов, проводимых или наблюдающихся внутри одного технологического модуля;

– на тактическом — уровне выполнения всех операций и их сопряжения между собой в рамках одного технологического модуля;

– на стратегическом — уровне технологического конвейера, который связывает два или более технологических модуля между собой потоками продукции, энергии и информации.

Для целей анализа временных и материальных ресурсов на выполнение технологических операций, а также формирования и отладки сценариев управления роботизированными технологическими участками имитационная модель формируется в рамках структуры многослойной компьютерной модели [12]. При практической реализации каждому её уровню соответствует слой входного графического редактора:

– объектный слой, на котором формируется технологического оборудования с различной степенью детализации, которая зависит от вида решаемой задачи и уровня рассмотрения производственного оборудования;

– логический слой, где формируется алгоритм решения задачи, в имитационную модель которого входит функциональная модель устройства управления. В зависимости от уровня рассмотрения технологического оборудования он может содержать либо сценарий функционирования управляющего контроллера, представленный в формате графического языка X-Robot [13];

– визуальный слой, содержащий средства отображения результатов вычислительных экспериментов и органы интерактивного управления значениями параметров исследуемых моделей технологического оборудования и функциональных моделей устройств управления.

Программной реализацией расширения МКЦ является среда многоуровневого компьютерного моделирования химико-технологических процессов, которая в настоящее время находит применение для анализа дискретных и дискретно-непрерывных технологических процессов. К их классу относятся производственные процессы производства светодиодных ламп.

Интерпретация методологии IDEF-0 в формат многоуровневой компьютерной модели

В обобщенном виде каждый производственный участок, выполняющий конкретную технологическую операцию, согласно методологии IDEF-0 [14] представляется в виде «черного ящика» (рис. 4), в который помимо входа, подсоединяемого слева от компонента, и выхода, находящегося справа от него, подключены управление — сверху, а также инструменты реализации — снизу от компонента.

В представленной обобщенной модели производственного участка (рис. 4) подлежащая обработке заготовка, материалы и энергия могут подаваться как со склада или некоторого источника, так и с предыдущего производственного участка. Выполнение процесса преобразования заго-



Рис. 4. Обобщенная модель производственного участка в нотациях IDEF0»

товки в продукцию осуществляется роботизированным технологическим оборудованием. Управление протекающим в нем процессе осуществляется сценарием функционирования устройства управления, учитывающим задающие воздействия, поступающие от оператора. Он взаимодействует с пультом управления, на котором осуществляется визуализация значений наблюдаемых переменных технологического оборудования производственного участка, а также содержатся органы интерактивного управления. Продукция производственного участка передается на следующий участок или на склад, если рассматриваемый производственный участок является последним в линейке.

На основе обобщенной модели производственного участка (рис. 5) сформирована его многоуровневая компьютерная модель. На ее трех взаимосвязанных уровнях располагаются:

На объектном уровне многоуровневой модели производственного модуля располагается модель технологического оборудования, описывающая динамику процесса преобразования заготовки, а также учитывающая используемые материальные и энергетические ресурсы. Модель технологического оборудования, представленная физико-химическим блоком (ФХБ), описывающим преобразование мультифизических энергетических и многоком-

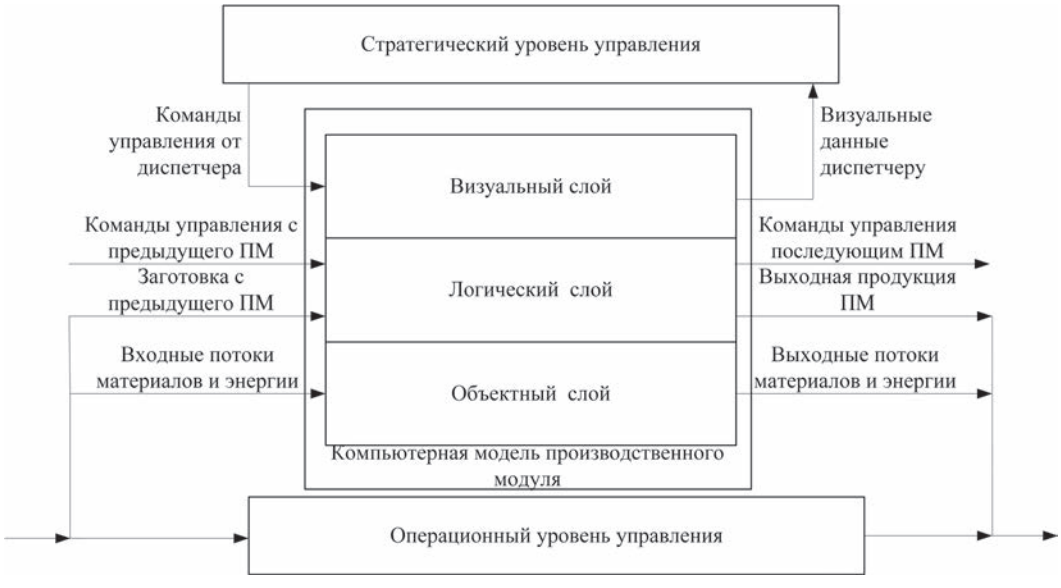


Рис. 5. Многоуровневая модель производственного модуля

понентных вещественных потоков. Вектор решения ФХБ (рис. 6) в зависимости от вида технологического оборудования, в общем случае может включать в себя:

– вектор скоростей передвижения **V** и вращения ω подвижных частей технологического оборудования, а также вектор действующих сил **F** и моментов **M**;

– вектор давлений **P** и вещественных расходов **G**, температур **T** и тепловых потоков **Q** вещественных потоков, находящихся в жидком или газообразном состоянии, а также вектора концентраций содержащихся в них веществ **C**;

– вектор температур $\mathbf{T}_T$ и тепловых потоков $\mathbf{Q}_T$ твердых тел, заготовок и различных органов технологического оборудования;

– вектор напряжений **U** и токов **I** электрических и электромеханических блоков технологического оборудования.

Для представления воздействий на ФХБ к нему могут быть подключены:

– источники скорости и силы, а также источники скорости вращения и моментов сил;

– насосы, являющиеся источниками давления;

– нагреватели (вентиляторы), являющиеся источниками теплового потока;

– источники многокомпонентных вещественных потоков;

– источники напряжения и источники освещения.

Логический уровень включает в себя модель алгоритма управления технологическим оборудованием, формируемый в графическом формате языка управления механизмами X-Robot [13]. Его задачами является прием и обработка значений наблюдаемых переменных модели технологического оборудования, а также выработка на их основе команд управления с учетом задающих воздействий. Команды управления передаются моделям исполнителей, которые осуществляют их преобразование в значения параметров модели технологического оборудования. В графическом сценарии X-Robot [15] каждый исполнитель характеризуется своим уникальным номером и ему ставятся в соответствие 8 команд Ex — Ex0..Ex7. Значения выбранных переменных модели и результатов выполнения определенных шагов сценария являются данными для визуализации и передаются с логического уровня многоуровневой модели на её визуальный уровень.

На визуальном уровне многоуровневой модели производственного модуля располагаются компоненты визуализации характеристик технологического оборудования [16], а также средства интерактивного управления, с которыми взаимодействует пользователь во время работы модели.

Программно-алгоритмической реализацией метода многоуровневого компьютерного моделирования, в формате которого сформирована многоуровневая компьютерная модель производственного модуля (рис. 5), является среда многоуровневого компьютерного моделирования МАРС [17], которая поддерживает технологию создания активных компонентов.

Объединение технологических модулей в производственный конвейер

Каждый отдельный технологический модуль (рис. 5) выполняет одну операцию технологического процесса под управлением контроллера, функционирующего на основе языка X-Robot. Технологические модули, выполняющие поэтапные операции процесса, объединяются в производственный конвейер, управляемый автоматизированной системой управления. Связь между технологическими модулями в виде переноса заготовок и материалов осуществляют роботизированные комплексы, функционирующие под управлением контроллера X-Robot. Процесс изготовления изделий является дискретно-событийным. Его устройство управления может быть представлено сетью Петри, каждая позиция которой представляет собой отдельный технологический модуль, выполняющих определенную операцию технологического процесса. Для построения компьютерной модели конвейера (рис. 7) и управления протекающими в нем процессами также может быть применена многоуровневая компьютерная модель, на уровнях которой представлены:

– на *объектном уровне* располагается модель производственного конвейера, в которой модель каждого конкретного производственного модуля представляет собой



Рис. 6. Обобщенная схема физико-химического блока



Рис. 7. Обобщенная схема физико-химического блока

динамическую задержку заготовки на время, необходимое для выполнения определенной технологической операции;

– *логический уровень* содержит модель алгоритма управления производственным контейнером, представленную в формате сетей Петри [18] и отображающую передвижение заготовок между модулями производственного конвейера;

– *визуальный уровень* отображает загрузку производственных модулей конвейера, а также время, которое каждый из них затрачивает на обработку той или иной заготовки.

Для включения многоуровневой компьютерной модели производственного участка (рис. 5) в многоуровневую модель производственного конвейера она преобразуется к виду активного составного компонента, который в отличие от активного компонента, представляет собой *активный макрокомпонент*. Он является моделью, состоящей из компонентов и представленной в виде компонента на объектном и логическом уровне многоуровневой компьютерной модели производственного конвейера. Он обладает отдельным окном для визуализации результатов и управления параметрами макрокомпонента.

Для формирования активных макрокомпонентов используется компонент «Многоуровневый интерфейс», который имеет свои отображения на объектном (рис. 8, а) и логическом (рис. 8, б) уровнях создаваемого многоуровневого активного макрокомпонента. С помощью узлов n_{in1}, n_{in2}, …, n_{in_Nin}, n_{out1}, n_{out2}, …, n_{out_Nout} устанавливаются входные и выходные связи формируемого макрокомпонента с другими компонентами объектного уровня, а с помощью узлов m_{in1}, m_{in2}, …, m_{in_Nin}, n_{out1}, n_{out2}, …, n_{out_Nout} устанавливаются связи с другими компонентами логического уровня многоуровневой модели, в которой используется данный макрокомпонент.

Многоуровневая компьютерная модель и сценарий функционирования управляющего контроллера роботизированного производственного модуля припайки источника питания

Роботизированный модуль припайки источника питаний предназначен для использования в составе роботизированной линии производства светодиодных филаментных ламп и осуществляет следующие технологические операции (рис. 9):

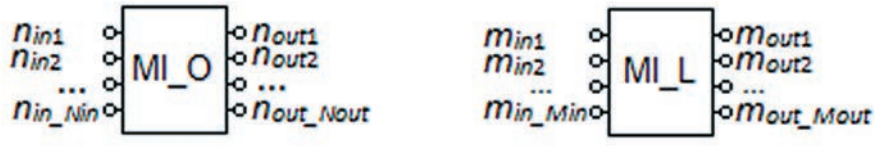


Рис. 8. Обобщенная схема физико-химического блока
а) изображение на объектном уровне б) изображение на логическом уровн

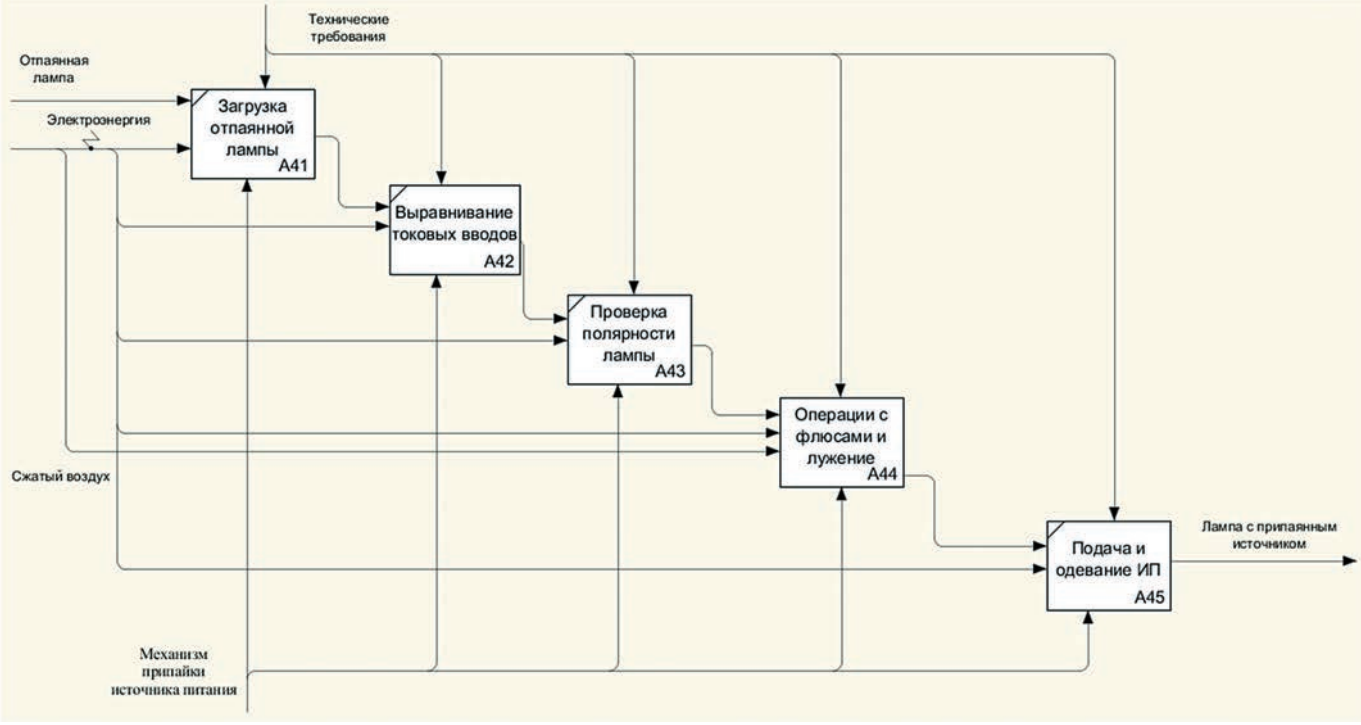


Рис. 9. Диаграмма второго уровня «Припайка источника питания»

– загрузка отпаянной лампы;
– выравнивание токовых выводов;
– проверка полярности токовых выводов;
– операция с флюсами: лужение токовых выводов;
– подача и одевание источника питания;
– припайка источника питания.

В состав формируемого роботизированного модуля входят следующие узлы (рис. 10):

– *робот-манипулятор*, предназначенный для захвата печатных узлов источников питания, их переноса к месту нахождения отпаянной лампы, позиционирования относительно электрических выводов лампы отпаянной с последующим их продеванием в монтажные отверстия, осаживания печатных узлов источников питания на посадочное место в лампе, припайка выводов лампы и удаление их излишков;

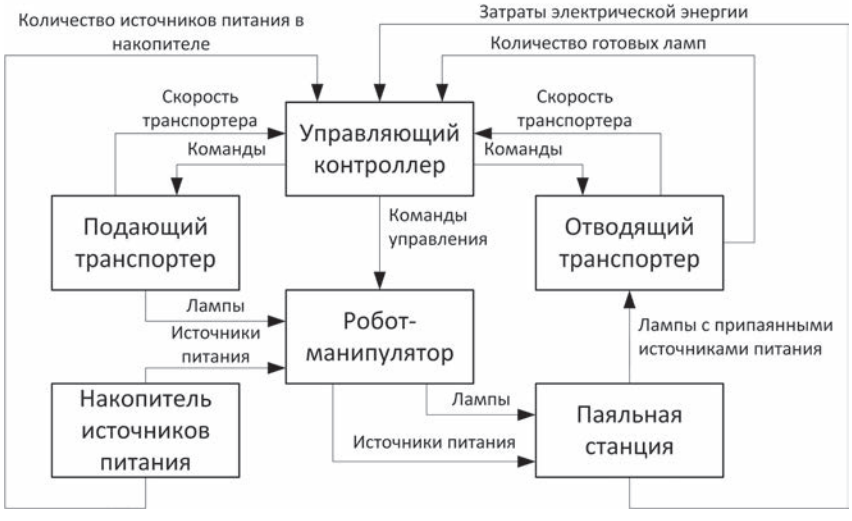


Рис. 10. Структурно-функциональная схема производственного модуля «Припайка источника питания»

– *управляющий контроллер*, осуществляющий целенаправленное управление движениями робота-манипулятора по заложенному сценарию с обратной связью через датчики и систему технического зрения, а также управления скоростью движения транспортера, осуществляющего подачу ламп отпаянных роботу-манипулятору;

– *система технического зрения*, предназначенная для фиксации и анализа видеоизображения поведения робота-манипулятора, позиционирования источников питания относительно электрических выводов ламп отпаянных, получения ряда числовых параметров и характеристик робота-манипулятора, осуществляющего надевание и припайку источника питания, и их передачу управляющему контроллеру;

– *подающий транспортер*, производящий подачу роботу-манипулятору ламп отпаянных в установленном порядке в темпе работы робота-манипулятора. Его скорость должна варьироваться и управляться командами управляющего контроллера, подаваемыми приводу, приводящими в движение подающий транспортер;

– *накопитель печатных плат источников питания,* предназначенный для хранения печатных узлов источников питания. Накопитель должен быть спроектирован таким образом, чтобы робот-манипулятор имел возможность брать из него по одному печатному узлу источника питания в установленном порядке с определенной ориентацией. Управляющий контроллер совместно с системой технического зрения должны осуществлять слежение за количеством оставшихся печатных узлов источников питания и при необходимости подавать сигнал оператору;

– *паяльная установка*, предназначенная для нанесения припоя на отверстие источника питания, в который были продеты электроды лампы отпаянной.

При построении многоуровневой компьютерной модели производственного модуля «Припайка источника питания» на ее объектном уровне должны быть представлены компоненты: «Накопитель источников питания», «Подающий транспортер», «Робот-манипулятор», «Паяльная установка» и «Отводящий транспортер». Между этими компонентами должны быть организованы связи, приведенные на структурно-функциональной схеме стрелками с надписями. По ним между соответствующими компонентами должны передаваться значения обозначенных на связях переменных.

Входными данными для сценария, на основе которого осуществляет свое функционирование управляющий контроллер, являются:

– скорость подающего транспортера (ячеек с лампами в единицу времени);

– скорость отводящего транспортера (ячеек с лампами в единицу времени);

– количество источников питания в накопителе;

– затраты электрической энергии паяльной станции, осуществляющей припайку источников питания к лампе отпаянной;

– количество готовых ламп, которые робот-манипулятор перенес от паяльной станции на отводящий транспортер;

– текущее состояние робота-манипулятора.

Командами, которые должен подавать управляющий контроллер подающему и отводящему транспортерам, являются:

– установка текущей скорости транспортера;

– увеличение/уменьшение скорости транспортера на заданное количество ячеек с лампами в единицу времени.

Командами, подаваемыми управляющим контроллером роботу-манипулятору, являются:

– взять лампу с подающего транспортера;

– осуществить выравнивание токовых выводов у лампы отпаянной;

– взять один источник питания из накопителя;

– позиционировать источник питания согласно полярности токовых выводов лампы;

– надеть источник питания на лампу отпаянную;

– осуществить лужение токовых выводов лампы и их припайку к источнику питания;

– проверить лампу с источником питания на работоспособность;

– положить готовку лампы на отводящий транспортер.

Помимо этого контроллер должен периодически считывать текущее значение количества источников питания, оставшихся в накопителе, затраты электрической энергии на осуществление припайки источника питания, а также количество готовых ламп, переданных роботом-манипулятором отводящему транспортеру.

По отношению к сценарию, на основе которого функционирует управляющий контроллер, исполнителями будут подающий транспортер, отводящий транспортер, робот-манипулятор и паяльная станция. При формировании сценария им назначены следующие номера: подающий транспортер — $1A, отводящий транспортер — $1B, робот-манипулятор — $1C, паяльная станция — $1D, накопитель источников питания — $1E, информационное табло — $1F. На основе диаграммы второго уровня «припайка источника питания» (см. рис. 9) сформирован сценарий функционирования управляющего контроллера (рис. 11).

Подающий ($1A) и отводящий ($1B) транспортеры получают от управляющего контроллера одну команду Ex0 — передвинуть транспортер на одну позицию лампы.

От управляющего контроллера робот-манипулятор ($1C) получает следующие управляющие команды:

– Ex0 — взять лампу отпаянную с подающего транспортера

– Ex1 — взять источник питания из накопителя;

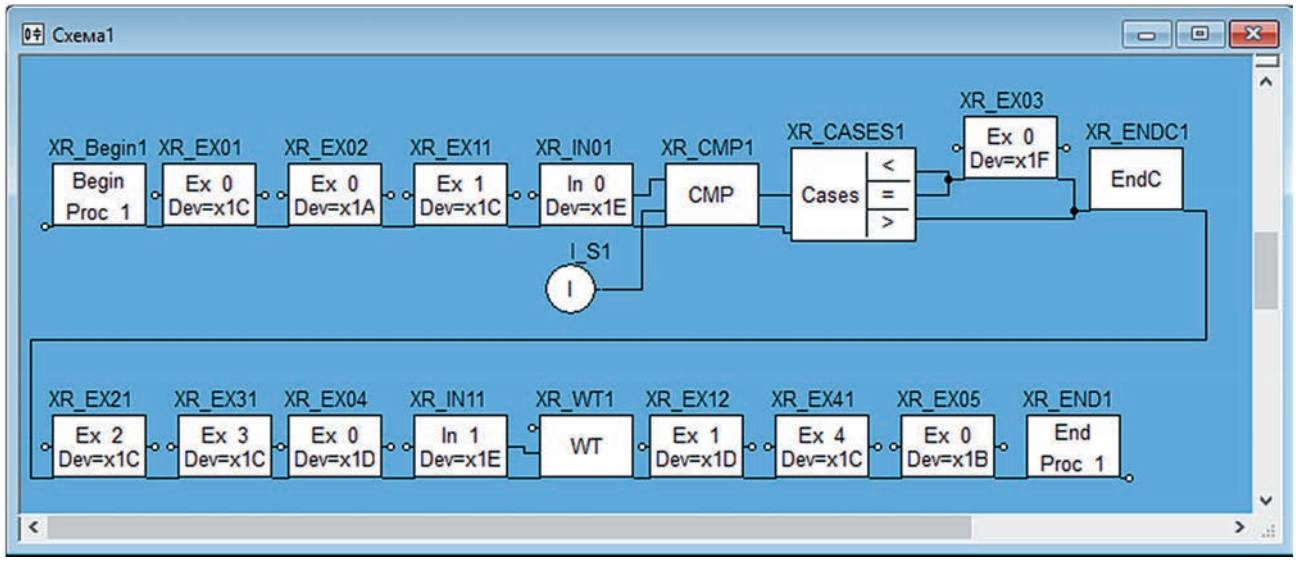


Рис. 11. Сценарий функционирования управляющего контроллера производственного модуля «Припайка источника питания»

– Ex2 — осуществить выравнивание токовых выводов лампы отпаянной и продевание в них источника питания;

– Ex3 — подвод лампы с надетым источником питания к паяльной станции;

– Ex4 — перенос лампы с припаянным источником питания отводящему транспортеру.

Паяльная станция ($1D) получает от управляющего контроллера и выполняет следующие команды:

– Ex0 — подать напряжение на паяльное жало;

– Ex1 — убрать напряжение с паяльного жала.

С помощью команды In0 накопителя источников питания ($1E) осуществляется считывание количества оставшихся источников питания в накопителе. В случае, когда их количество становится равным 0, осуществляется вывод сообщения командой Ex0 на информационное табло ($1F). Проверка на равенство нулю осуществляется компонентом XR_CMP1, после которого указывается секция ветвления XR_CASES1.

Заключение

В данной работе на основе рассмотрения технологического процесса производства светодиодных ламп и метода многоуровневого компьютерного моделирования, основанного на методе компонентных цепей, сформирована многоуровневая компьютерная модель обобщенного производственного модуля. Она предназначена для автоматизированного решения задач анализа и функционального проектирования технологического оборудования производственного участка, а также для формирования и отладки сценариев функционирования управляющих контроллеров. Помимо этого рассмотрен вопрос объединения производственных участков в состав производственных конвейеров, обеспечивающий автоматизированное соединение участков.

В качестве примера многоуровневой компьютерной модели рассмотрена модель роботизированного производственного модуля припайки источников питания, для которой в нотациях графического языка управления механизмами X-Robot сформирован сценарий управления.

Аналогичным образом в среде многоуровневого компьютерного моделирования может быть сформирована многоуровневая компьютерная модель различных производственных участков, на основе которой сформирован сценарий управления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки в рамках проекта RFMEFI57717X9266

Литература

1. *Бражник А. Н.* Имитационное моделирование: возможности GPSS WORLD. СПб.: Реноме, 2006. 439 с.

2. *Карпов Ю. Г.* Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2006. 400 с.

3. *Басов К.А.* ANSYS для конструкторов. М.: ДМК Пресс, 2009. 248 с.

4. *Абрашкина М., Доброзраков И.Е., Кошин И., Рожкова Т.* Филамент светодиодный на смену вольфрамовой спирали // Полупроводниковая светотехника. 2015. № 4. С. 6–10.

5. *Huang L., Shih Y., Shi F.* Cooling strategy for LED filament bulb utilizing thermal radiation cooling and open slots enhancing thermal convection // *Proceedings of the 16th*

InterSociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm), Orlando, FL, USA, 30 May-2 June 2017. IEEE, 2017. Pp. 1030–1033. doi: 10.1109/ITHERM.2017.7992601

6. *Солдаткин В. С. Афонин К. Н., Каменкова В. С., Ганская Е. В., Туев В. И*. Определение температурной зависимости электрических и световых параметров светодиодных элементов в лампе общего назначения // Доклады ТУСУРа. 2017. Т. 20. № 3. С. 148–151.

7. *Liu J., Xu C., Zheng H., Liu S.* Numerical Analysis and Optimization of Thermal Performance of LED Filament Light Bulb // IEEE67th Electronic Components and Technology Conference (ECTC), Orlando, FL, USA, 30 May-2 June 2017. IEEE, 2017. Pp. 2243–2248.

8. *Zheng H., Xu C., Liu J., Chu J., Liu S., Zeng X., Sun R.* A novel cooling method for LED filament bulb using ionic wind // Proceedings of the 16th InterSociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm), Orlando, FL, United States, 30 May 2017–2 June 2017. IEEE, 2017. Pp. 998–1003. doi:10.1109/itherm.2017.7992597

9. *Feng W., Feng B., Zhao F., Shieh B., Lee R.* Simulation and Optimization on Thermal Performance of LED Filament Light Bulb // 12th China International Forum on Solid State Lighting (SSLCHINA), Shenzhen, China, 2–4 Nov. 2015. IEEE, 2015. Pp. 88–92.

10. *Молчанов А. Г., Авдеева В. Н., Безгина Ю. А*. Светодиодная лампа для облучения тепличных растений // Научный журнал КубГАУ. 2017. № 134. С. 263–272.

11. *Денисов В. П., Мельников Ю. Ф*. Технология и оборудование производства электрических источников света. М.: Электроатомиздат, 1983. 384 с.

12. *Дмитриев В. М., Ганджа Т. В*. Принцип формирования многоуровневых компьютерных моделей SCADA-систем для управления сложными технологическими объектами // Информатика и системы управления. 2013. № 2 (36). С. 24–36.

13. *Мальцев Ю. И*. Язык управления механизмами X-Robot // Материалы Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления» (Томск, 30–31 октября 2013 г.). Томск, 2013. № 2. С. 114–118.

14. *Александров Д. В., Костров А. В*. Методы и модели информационного менеджмента. М.: Финансы и статистика, 2007. 336 с.

15. *Дмитриев В. М., Ганджа Т. В., Букреев А. С*. Моделирование сценариев управления динамическими объектами на основе графического языка X-Robot // Доклады ТУСУРа. 2018. Т. 21. № 2. С. 75–82.

16. *Дмитриев В. М., Ганджа Т. В., Ганджа В. В., Мальцев Ю. И.* СВИП — система виртуальных инструментов и приборов. Томск: В-Спектр, 2014. 216 с.

17. *Дмитриев В. М., Шутенков А. В., Зайченко Т. Н., Ганджа Т. В.* МАРС — среда моделирования технических устройств и систем. Томск: В-Спектр, 2011. 278 с.

18. *Григорьева Т. Е.* Дискретно-событийное моделирование в СМ МАРС для курса «Системы массового обслуживания» // Доклады ТУСУРа. 2014. № 1 (31). С. 152–155.

MULTILEVEL COMPUTER MODEL OF TECHNOLOGICAL PROCESS PRODUCTION OF LED LAMPS

VASILIY I. TUEV,
Tomsk, Russia, tvi_retem@main.tusur.ru

VYACHESLAV M. DMITRIEV,
Tomsk, Russia, dmitriewvm@gmail.com

TARAS V. GANDZHA,
Tomsk, Russia, gandgatv@gmail.com

VASILIY S. SOLDATKIN,
Tomsk, Russia, soldatkinvs@main.tusur.ru

KEYWORDS: led; robotic production; multilayer computer model; production module; manufacturing container.

ABSTRACT

The technological process of production of modern LED lamps based on LED emitting elements is considered. Its main stages and technological operations are highlighted. Three levels of process control are defined: operational, tactical and strategic. The aim of the study is to build a computer modes of the tactical level of technological process control. The tasks of research of technological processes are formulated, for the automation of which computer model can be applied. The main attention is paid to the problem of prototyping the process control algorithms for the production of LED lamps, as currently there are no software tools or automating their solution. Based on the construction of its functional model in the form of an IDEF-0 diagram, the interpretation of this methodology into the format of the method of multi-layers component circuit, the software implementation of whit hos a multi-layer computer simulation environment, is proposed. It allows you to create multi-layers computer models od production modules that implement the tactical level of control of technological processes on the interconnected object, logical and visual layers. At its object layer computer models of a controlled technological equipment. The logic level contains the algorithms of the functioning of the controller, formed in the format of the graphical language control of mechanisms. At the visual level, there ate tools for visualization of the simulation result and the interactive control bodies of the values of the model parameters and the course of the computational experiment. A multi-level computer model of a generalized production module, which constitutes the tactical level of control of technological processes, is formed, and the structure and solution vector of the physical-chemical unit, which is a generalized model level of the multi-layer computer model, ate determined. The question ate considered and the instrumental means of uniting multi-layers models of production modules into a production conveyor are presented. A computer model of the production module "Soldering of the power supply", which is a model of the object layer of a multilayer model, is formed, and a scenario of the functioning of its controller, formed at the logic layer of a multilayer model, is presented.

REFERENCES

1. Brajnik A.M. *Imitazionnoe modelirovanie: vozmojnosti GPPS WORLD.* [Simulation modeling: the prossibities of GPSS WORLD] St. Petersburg: Renome, 2006. 439 p. (In Russian)

2. Karpov Yu.G. *Imitatsionnoye modelirovaniye sistem. Vvedeniye v modelirovaniye s AnyLogic 5* [Simulation modeling systems. Introduction to modeling with AnyLogic 5]. St. Petersburg: BKhV-St. Petersburg, 2006. 400 p. (In Russian)

3. Basov K.A. A*nsys dlja konstruktorov* [ANSYS for designers]. Moscow: DMK Press, 2009. 248 p. (In Russian)

4. Abrashkina M., Dobroznakov I.E., Koshin I., Rojkova T. Filament svetodiodnyj na snemu vol'framovoy spirali [LED filament for tungstened spiral change]. *Poluprovodnikovaja svetotehnika* [Solid-State Lighting]. 2015. No. 4. Pp. 6–10 (In Russian)

5. Huang L., Shih Y., Shi F. Cooling strategy for LED filament bulb utilizing thermal radiation cooling and open slots enhancing thermal convection. *Proceedings of the 16th InterSociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)*, Orlando, FL, USA, 30 May-2 June 2017. IEEE, 2017. Pp. 1030–1033. doi: 10.1109/ITHERM.2017.7992601

6. Soldatkin V.S., Afonin K.N., Kamenkova V.S., Ganskaya E.V., Tuev V.I. Determination of the temperature dependence of the electrical and light parameters of LED elements in a general-purpose lamp. *Proceedings of TUSUR*. 2017. Vol. 20. No. 3. Pp. 148–151. (In Russian)

7. Liu J., Xu C., Zheng H., Liu S. Numerical Analysis and Optimization of Thermal Performance of LED Filament Light Bulb. *IEEE67th Electronic Components and Technology Conference (ECTC), Orlando, FL, USA, 30 May-2 June 2017*. IEEE, 2017. Pp. 2243–2248.
8. Zheng H., Xu C., Liu J., Chu J., Liu S., Zeng X., Sun R. A novel cooling method for LED filament bulb using ionic wind // Proceedings of the 16th InterSociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm), Orlando, FL, United States, 30 May 2017–2 June 2017. IEEE, 2017. Pp. 998–1003. doi:10.1109/itherm.2017.7992597
9. Feng W., Feng B., Zhao F., Shieh B., Lee R. Simulation and Optimization on Thermal Performance of LED Filament Light Bulb // 12th China International Forum on Solid State Lighting (SSLCHINA), Shenzhen, China, 2–4 Nov. 2015. IEEE, 2015. Pp. 88–92.
10. Molchanov A.G., Avdeeva V.N., Bezgina Yu.A. LED lamp for irradiating greenhouse plants]. *Scientific Journal of KubSAU*. 2017. No. 134. Pp. 263–272.
11. Denisov V.P., Mel'nikov YU.F. *Tekhnologiya i oborudovaniye proizvodstva elektricheskikh istochnikov sveta* [Technology and equipment for the production of electric light sources]. Moscow: Elektroatomizdat, 1983. 384 p. (In Russian)
12. Dmitriev V.M., Gandzha T.V. Printsip formirovaniya mnogourov-nevykh komp'yuternykh modeley SCADA-sistem dlya upravleniya slozhnymi tekhnologicheskimi ob"yektami [The principle of formation of multi-level computer models of SCADA-systems for managing complex technological objects]. *Informatika i sistemy upravleniya* [Informatics and control systems]. 2013. No. 2 (36). Pp. 24–36. (In Russian)
13. Mal'tsev Yu.I. Yazyk upravleniya mekhanizmami X-Robot [The language of control mechanisms X-Robot]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Elektronnyye sredstva i sistemy upravleniya".* [Proceedings of International scientific and practical conference "Electric tools and control systems", Tomsk, 30–31 October 2013]. 2013. No. 2. Pp. 114–118. (In Russian)
14. Aleksandrov D.V., Kostrov A.V. *Metody i modeli informatsionnogo menedzhmenta* [Methods and models of information management]. Moscow: Finansy i statistika, 2007. 336 p. (In Russian)
15. Dmitriev V.M., Gandzha T.V., Bukreev A.S. Simulation of scripts for managing dynamic objects based on the X-Robot graphical language. *Proceedings of TUSUR*. 2018. Vol. 21. No. 2. Pp. 75–82. (In Russian)
16. Dmitriev V.M., Gandzha T.V., Gandzha V.V., Maltsev Yu.I. *SVIP – sistema virtual'nykh instrumentov i priborov* [SVIP – a system of virtual instruments and devices]. Tomsk: V-Spektr, 2014. 216 p. (In Russian)
17. Dmitriev V.M., Shutenkov A.V., Zaichenko T.N., Gandzha T.V. *MARS – sreda modelirovaniya tekhnicheskikh ustroystv i sistem* [MARS – environment for modeling technical devices and systems]. Tomsk: V-Spektr, 2011. 278 p. (In Russian)
18. Grigorieva T.E. Discrete-event modeling in SM MARS for the course "Systems of mass service". *Proceedings of TUSUR*. 2014. No. 1(31). Pp. 152–155. (In Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Tuev V.I., PhD, Docent, Director of the LED Technology Research Institute of Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics;
Dmitriev V. M., PhD, Full Professor, Professor at the Department of Department of Computer Systems in Management and Design of Tomsk State University of Control Systems and Radio electronics;
Gandzha T. V., PhD, professor at the Department of Department of Computer Systems in Management and Design of Tomsk State University of Control Systems and Radio electronics;
Soldatkin V. S., PhD, assistant professor at Department of Radioelectronic Technologies and Environmental Monitoring of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics.

For citation: Tuev V.I., Dmitriev V.M., Gandzha T.V., Soldatkin V.S. Multilevel computer model of technological process production of led lamps. *H&ES Research*. 2019. Vol. 11. No. 1. Pp. 86–98. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10228 (In Russian)