

DOI 10.35264/1996-2274-2019-2-177-188

ВЫПУСК КОМПЛЕКТУЮЩИХ ДЛЯ ГИБКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ КАК ВОЗМОЖНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ДИВЕРСИФИКАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ОПК

А.И. Сердюк, дир. Аэрокосмического института, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, д-р техн. наук, профессор, sap@mail.osu.ru

Д.Н. Воронин, нач. отд. АО «ПО «Стрела», г. Оренбург, Voronin.dn@pa-strela.com

Рецензент: А.Н. Поляков

Рассматривается возможное направление диверсификации предприятий оборонно-промышленного комплекса, связанное с выпуском отечественных комплектующих для гибкой автоматизации. Отмечается необходимость использования агрегатно-модульного подхода для повышения рентабельности производства. Констатируется отсутствие отечественных исследований, посвященных поиску значений технических характеристик унифицированных узлов и агрегатов для гибкой автоматизации.

Представлено формализованное описание процессов функционирования гибких производственных систем, позволившее вскрыть необходимый набор входных данных, включая технические характеристики модулей, узлов и агрегатов и форму представления результатов симуляции для верификации программных процедур.

Приведен пример компьютерного приложения для симуляции работы гибкого производственного модуля, позволяющего на основе многократных вычислительных экспериментов сформировать технические характеристики модельного ряда комплектующих. Показан пример закономерностей, получаемых в результате вычислительных экспериментов. Для научных работников и инженеров, связанных с производством комплектующих для гибкой автоматизации в машиностроении.

Ключевые слова: гибкие производственные модули и системы, комплектующие, технические характеристики, симуляция, вычислительные эксперименты.

PRODUCTION OF COMPONENTS FOR FLEXIBLE AUTOMATION AS A POSSIBLE DIRECTION FOR THE DIVERSIFICATION OF DEFENSE ENTERPRISES

A.I. Serdyuk, Director, Aerospace Institute, Orenburg State University, Orenburg, Ph. D., Professor, sap@mail.osu.ru

D.N. Voronin, Head of Department, JSC PA «Strela», Orenburg, Voronin.dn@pa-strela.com

The possible direction of diversification of enterprises of the military-industrial complex associated with the production of domestic components for flexible automation is considered. It is noted the need to use modular approach to improve the profitability of production. It is stated that there is no domestic research devoted to the search for the values of the technological characteristics of unified units and assemblies for flexible automation.

The paper presents a formalized description of the processes of functioning of flexible production systems, which allowed to open the necessary set of input data, including the technological characteristics of modules, components and assemblies and the form of presentation of simulation results for verification of program procedures.

An example of a computer application to simulate the operation of a flexible production module, which allows to form the technological characteristics of a model range of components on the basis of multiple computational experiments, is given. An example of the regularities obtained as a result

of computational experiments is given. For scientists and engineers involved in the production of components for flexible automation in mechanical engineering.

Keywords: flexible production modules and systems, components, technological characteristics, simulation, computational experiments.

Предприятия оборонно-промышленного комплекса (ОПК) традиционно отличаются высоким уровнем применяемых технологий, использованием новейшего технологического оборудования или оборудования, подвергнутого глубокой модернизации, активным внедрением информационных технологий, наличием высококвалифицированного персонала.

В условиях перспективного сокращения объемов гособоронзаказа, согласно поручению Президента РФ, к 2030 г. доля гражданской продукции в ОПК должна составить не менее 50 % [1].

По словам Президента РФ, «при выпуске гражданской продукции нельзя ориентироваться на так называемый ширпотреб. Нужно отвечать потребностям передовых наукоемких отраслей. У ОПК сложное оборудование, и выпускать на нем сковородки недопустимо» [2].

Актуальным направлением диверсификации может стать изготовление как линейки комплектующих для гибкой автоматизации, так и современных гибких производственных модулей (ГПМ) и систем (ГПС) «под ключ».

По оценкам Минпромторга, к 2020 г. спрос на автоматизированное оборудование возрастет до 86 % в общем объеме потребления станков. А после 2030 г. станки без систем ЧПУ покупать почти перестанут [3].

В настоящее время уровень импортозависимости отрасли станкостроения — критический, более 90 % [5]. Наиболее высокий уровень импортозависимости характерен для следующих видов комплектующих: системы ЧПУ для управления пятью и более осями; электродвигатели для станков с ЧПУ, в том числе линейные; датчики, линейки, преобразователи; шарико-винтовые пары; инструментальные магазины для обрабатывающих центров с механизмом автоматической смены инструмента; подшипники [4].

Современным направлением повышения рентабельности производства комплектующих и средств производства является агрегатно-модульный подход, позволяющий производителям локализовать производство на выпуске модульных систем станков, транспортных средств, складских систем, систем управления и прочих изделий.

При этом под модулем понимается первичный элемент ГПС, выполняющий законченную технологическую операцию (обработка, транспортировка, складирование и т.п.) или операцию планирования, управления процессами обработки, контроля, технологической подготовки производства и др., а под агрегатом понимается компонент модуля — унифицированный элемент, который может быть самостоятельно разработан, изготовлен и внедрен, однако присущие ему функции он может выполнять только в составе модуля.

В настоящее время в мире имеются сотни производителей комплектующего оборудования для гибких производственных систем [5], выпуск которого осуществляется на основе агрегатно-модульного подхода. Например, это оборудование фирмы «Мазак» (Mazak), обеспечивающее модульное исполнение ГПС в зависимости от требований производства: от минимального (1 станок, 6 паллет, 1 загрузочная станция) до максимального (16 станков, 200 паллет, 8 загрузочных станций) [6].

Индийская фирма «Прагати» (Pragati) выпускает инструментальные магазины, приводы и манипуляторы для автоматической смены режущих инструментов модульной конструкции (рис. 1) [7].

Вместе с тем для организации промышленного производства унифицированных комплектующих элементов и ГПС в целом необходимо наличие комплекса технических характеристик модулей и агрегатов технологического и сервисного оборудования.

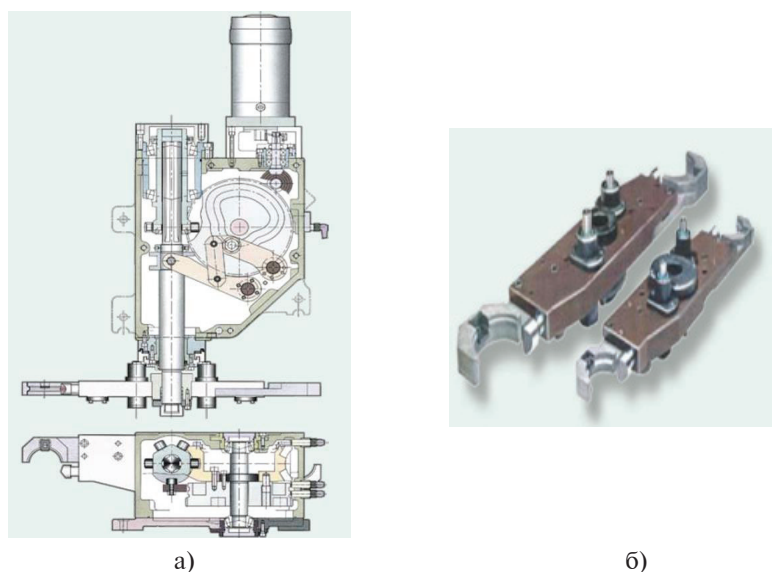


Рис. 1. Привод манипулятора (а) и манипуляторы (б) фирмы «Прагати»

Модульные конструкции унифицированных комплектующих должны соответствовать требованиям технологических процессов предприятий-потребителей, которые могут варьироваться в широких пределах. С другой стороны, унификация и стандартизация элементов модульной системы для гибкой автоматизации позволит предприятию-производителю организовать ее производство по отработанным технологиям, что создает технологическую основу для высокоэффективного изготовления изделий требуемого качества в нужных количествах, в установленные сроки и при минимальной себестоимости.

Вместе с тем практически отсутствуют исследования, посвященные поиску значений технических характеристик унифицированных узлов и агрегатов для гибкой автоматизации, коррелируемых с содержанием выполняемых в ГПС технологических процессов.

Возможным путем поиска необходимых технических решений служит выполнение вычислительных экспериментов с использованием специально разрабатываемых средств симуляции (имитации) работы модулей и агрегатов при различных входных данных.

В Аэрокосмическом институте Оренбургского государственного университета разработано формализованное описание функционирования ГПС, их модулей и агрегатов, что позволило реализовать ряд компьютерных приложений для симуляции работы отдельных ГПМ, ГПС с автоматической транспортно-складской системой (АТСС) и ГПС, оснащенной АТСС и автоматической системой инструментального обеспечения [8]. Рассмотрим более подробно разработанный формализованный аппарат для симуляции функционирования гибких производственных систем (рис. 2).

Процесс функционирования ГПС рассматривается на протяжении цикла автономной (безлюдной) работы системы. Директивой функционирования системы в планируемый k -й цикл безлюдной работы служит сменное задание (СЗ) S_x , задаваемое числом партий запуска (ПЗ) заготовок в обработку, их очередностью и количеством заготовок в ПЗ в виде

$$S_x = k_1 \cup n_1 + \dots + k_1 \cup n_1 + k_i \cup n_i + \dots + k_z \cup n_z, \quad (1)$$

где $k \in (k_1, k_2, \dots, k_L)$ – код наименования изделия из номенклатуры изделий L , закрепленных за данной производственной системой; $i = (1, \dots, L)$; $n_i = (0, n_i^{\min}, \dots, n_i^{\max})$ количество одинаковых изделий в партии запуска, шт.; $n_i^{\min}, n_i^{\max}$ – предельные размеры партий запуска заготовок k_i -го наименования в обработку, шт.; Z – число партий запуска в x -м варианте сменного задания, шт.

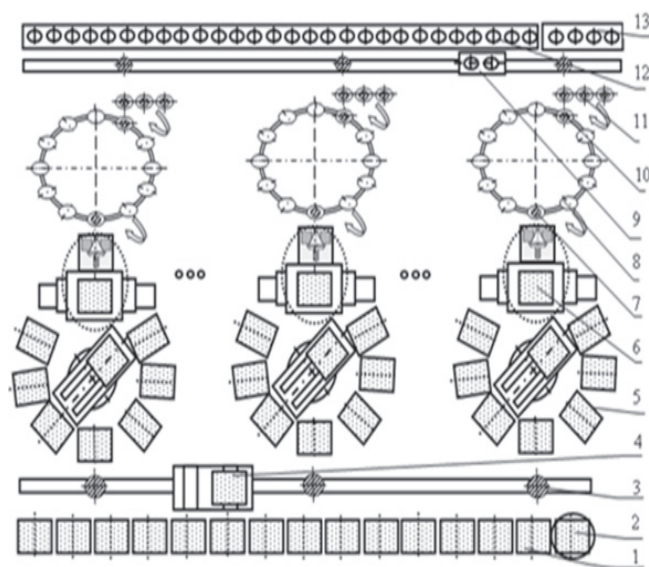


Рис. 2. Структурная схема ГПС:

1 – автоматический склад заготовок; 2 – позиция связи с внешним транспортом заготовок; 3 – позиция остановки транспортного средства при обслуживании станка; 4 – транспортное средство; 5 – пристаночный накопитель палет; 6 – рабочая зона станка; 7 – позиция смены инструментов в рабочей зоне; 8 – инструментальный магазин станка; 9 – позиция замены инструментов в магазине; 10 – перегрузочный накопитель инструментов; 11 – инструментальный робот; 12 – центральный накопитель инструментов; 13 – кассета связи с внешним транспортом

Исходное состояние системы – это данные о начальном размещении заготовок, режущих инструментов (РИ) и транспортных средств (ТС) их доставки к станкам.

Местонахождение заготовок и РИ в накопителях учитывается при расчете длительности транспортных операций, а следовательно, отражается на результатах моделирования. Рассмотреть (промоделировать) все варианты размещения даже для одного сменного задания практически невозможно. Поэтому обычно ограничиваются лишь теми вариантами размещения, которые можно упорядочить по определенным условиям, в качестве которых могут быть использованы:

а) рандомизация размещения с помощью генератора случайных чисел (процедуры random и randomize на языке Delphi);

б) упорядочивание размещения по партиям запуска. Данное условие, в свою очередь, может выполняться: в порядке возрастания/убывания номеров партий запуска; в порядке возрастания/убывания размеров партий запуска; упорядочиванием в накопителе слева направо и справа налево; упорядочиванием от центра склада; в порядке, задаваемом пользователем в диалоговом режиме; по минимальной длительности транспортной операции.

Процесс функционирования системы начинается с идентификации заготовок в накопителях и проверки их соответствия очереди запуска заготовок в обработку, подаваемой на вход производственной системы, вида

$$p_1, p_2, \dots, p_j, \dots = (\underbrace{k_1, k_1, \dots, k_1}_{n_1}, \underbrace{k_2, k_2, \dots, k_2}_{n_2}, \dots, \underbrace{k_i, k_i, \dots, k_i}_{n_i}, \dots, \underbrace{k_z, k_z, \dots, k_z}_{n_z}). \quad (2)$$

В результате идентификации выявляется список станков, имеющих в рабочих зонах заготовки, соответствующие СЗ.

В альтернативном списке станков заготовки в рабочих зонах либо отсутствуют, либо не соответствуют текущему сменному заданию.

Для станков из альтернативного списка выполняется поиск нужных заготовок в пристаночных накопителях, и в случае их отсутствия выдаются заявки на их доставку из автоматического склада, вида $Z_i^{TC} = (C_i, m_i, p_i)$, где $C_i = 0$ или $C_i = 1$ – наличие заявки на обслуживание от i -го станка; m_i – момент времени выдачи заявки от i -го станка; p_i – приоритет (ранг) заявки, регламентирующий очередность ее выполнения ТС.

Из сформированной очереди заявок на обслуживание транспортное средство выполняет заявку согласно действующим в системе правилам (алгоритмам) обслуживания. В АСУ ГПС могут быть реализованы следующие алгоритмы обслуживания станков и их комбинации [9]:

- 1) с первой заявки в очереди (FIFO – First Input – First Output);
- 2) с последней заявки в очереди (LIFO – Last Input – First Output);
- 3) по приоритетам станков;
- 4) по $\min$ трудоемкости заготовок в накопителе (TWK – Total Work);
- 5) по $\min$ остаточному времени в рабочей зоне (LWKR – Least Work Remaining);
- 6) по $\min$ числу заготовок в накопителе (NXQL – Next Queue Length);
- 7) по $\min$ времени транспортной операции (SPT – Shortest processing-time).

Время выполнения i -й транспортной операции t_{TP} транспортным средством без учета погрешностей разгона и торможения можно описать так (рис. 3):

$$t_{TC} = \frac{|S_i - (F_0 + l_0(x-1))| + |S_j - (F_0 + l_0(x-1))|}{V_{TC}} + 2t_{cm}, \quad (3)$$

где S_i – координата станка отправления, S_j – координата станка прибытия ТС: $S_i, S_j \in (S_1, S_2 \dots S_R)$; R – число станков в ГПС, шт.; $(F_0 + l_0(x-1))$ – координата позиции склада с нужной заготовкой; F_0 – координата центра первой позиции склада; l_0 – шаг ячеек склада; x – порядковый номер ячейки склада с нужной заготовкой: $x \in (1, 2 \dots N_c)$; N_c – число ячеек (емкость) склада палет; V_{TC} – маршевая скорость перемещения робокары; t_{cm} – цикл загрузки/выгрузки палеты на робокаре. Полученное выражение справедливо для двухместного робокара, движущегося по реверсивному маршруту.

После доставки заготовки на станке обрабатывается цикл ее загрузки в рабочую зону с временем t_{CM} .

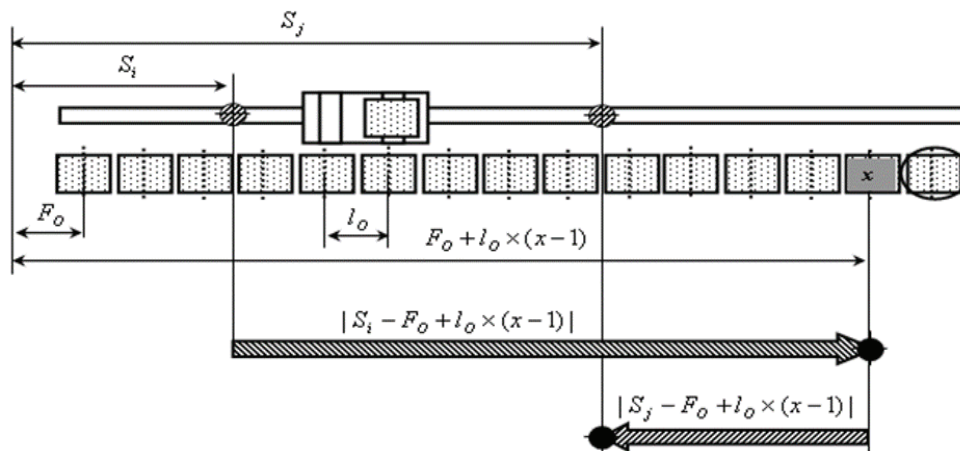


Рис. 3. Схема к расчету длительности транспортной операции S

Далее для станков, имеющих в рабочих зонах заготовки, соответствующие содержанию и очередности сменного задания, осуществляется идентификация режущих инструментов в инструментальных магазинах (ИМ) на предмет их соответствия технологических переходам планируемых к выполнению технологических операций $K_{ij} = (m_1, m_2, \dots, m_y)$ обработки заготовок.

Применительно к режущим инструментам, отсутствующим в магазинах станков для выполнения технологических переходов текущих технологических операций, выдаются заявки на их доставку инструментальными роботами из центрального накопителя инструментов. Заявка на доставку инструмента к станку Z_i^{PI} включает: код требуемого режущего инструмента k_i ; минимальный ресурс инструмента r_i , необходимый для выполнения всех технологических переходов в операции с его участием; планируемый момент времени начала работы инструмента m_i ; общий приоритет (ранг) заявки p_i ; $Z_i^{PI} = (k_i, r_i, m_i, p_i)$

Далее на основании заявок от станков формируется общая очередь на доставку к станкам режущих инструментов из центрального накопителя инструментов, осуществляется выбор очередных заявок и их выполнение инструментальными роботами.

Заявки из списка для выполнения этими роботами выбираются по аналогичным для работы ТС правилам обслуживания. При этом учитывают наличие в магазине станка свободных гнезд или удаляемых инструментов. Условия удаления РИ из ИМ: исчерпан ресурс или поломан; не нужен на обрабатываемой заготовке; не потребуется в рабочей зоне на заданном количестве технологических переходов и др.

Для станков, в рабочих зонах которых имеются заготовки, соответствующие СЗ, и необходимые режущие инструменты, моделируется процесс работы, состоящий в следующих действиях [9].

Шаг 1. Определяется местонахождение очередного РИ для выполнения текущего технологического перехода: в рабочей зоне или в гнезде магазина станка. Если требуемый РИ отсутствует в ИМ и в перегрузочной позиции, то приоритет его доставки к станку увеличивается на единицу: $p_i = p_i + 1$.

Шаг 2. Если РИ находится в гнезде магазина, то рассчитывают время цикла подготовки и смены РИ в рабочей зоне. Составляющие цикла подготовки и смены РИ:

а) отработавший РИ из рабочей зоны (из шпинделя) возвращают в штатное гнездо ИМ, затрачивая «чистое» время $t_{СИ}^2$ смены;

б) ИМ поворачивают для доставки гнезда с требуемым РИ из позиции x в позицию 1 смены (рис. 4) либо по кратчайшему пути, либо по полному — в зависимости от наличия в приводе инструментального магазина механизма реверса и используемого метода идентификации РИ (на оправке, кодовый ключ, электронный датчик). Соответственно, время $t_{ИМ}$ поворота ИМ зависит от наличия механизма реверса в приводе и может описываться как:

$$t_{ИМ} = \begin{cases} L_{ИМ} |x-1| / V_{ИМ}, & \text{если магазин без механизма реверса,} \\ L_{ИМ} |U-x-1| / V_{ИМ}, & \text{если ИМ с механизмом реверса,} \end{cases} \quad (4)$$

где $L_{ИМ}$ — расстояние между осями соседних гнезд инструментального магазина; $V_{ИМ}$ — скорость поворота магазина; U — вместимость ИМ; x — гнездо с требуемым режущим инструментом;

в) после того как нужный инструмент оказывается в позиции смены, обрабатывается цикл его передачи в шпиндель со временем $t_{СИ}^2$, с;

г) рассчитываются текущие простои $P_{СИ}$ станка из-за подготовки и смены РИ:

$$P_{СИ} = t_{СИ}^1 + t_{ИМ} + t_{СИ}^2. \quad (5)$$

Шаг 3. Если требуемый РИ находится в позиции замены 3 (см. рис. 2 – 4), то вначале отрабатывают цикл передачи РИ в выбранное гнездо ИМ, а затем – последовательность действий (см. шаг 2, а – г).

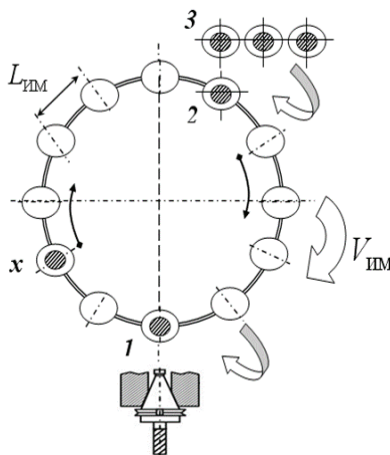


Рис. 4. Схема к расчету длительности цикла подготовки и смены РИ:

$L_{ИМ}$ – расстояние между осями соседних гнезд ИМ; $V_{ИМ}$ – скорость поворота ИМ;
 x – позиция гнезда с требуемым РИ; 1, 2 и 3 – позиции смены РИ

Шаг 4. Выполняется перекодирование положения гнезд магазина, так как в позиции смены ИМ 1 теперь находится гнездо x (см. рис. 4).

Шаг 5. Рассчитывают модельное отработанное станком время t_{Σ}^i путем добавления к имеющемуся значению времени t_{res}^i резания и вспомогательного t_B^i времени выполняемого технологического перехода, мин: $t_{\Sigma}^i = t_{res}^i + t_B^i$.

Шаг 6. Рассчитывают остаточный ресурс $\bar{T}_{РИ}$ РИ, отработавшего в шпинделе, мин:

$$\bar{T}_{РИ} = \bar{T}_{РИ} - t_{res}^i. \quad (6)$$

Если на шаге 1 установлено, что нужный РИ находится в рабочей зоне, то выполняют лишь шаги 5 и 6.

Описанную последовательность алгоритма моделирования итерационно с выбранной дискретностью повторяют до завершения выполнения в ГПС текущего сменного задания.

Цикл автоматической работы ГПС с временем $T_{ц}$ (рис. 5) завершается после того, как последняя заготовка из состава сменного задания доставлена к станку и закончена ее обработка (на рис. 5 это заготовка 1-го наименования на 3-м станке).

Результаты моделирования сохраняют в файле (в виде протокола событий), содержание которого может быть визуализировано в виде локальных циклограмм работы станков с агрегатами смены и замены РИ, инструментальных роботов и транспортных средств [10]. Автоматически построенные циклограммы позволяют, с одной стороны, убедиться в правильности описания функционирования системы и ее элементов, а с другой – вскрыть потери и выявить закономерности их изменения в зависимости от используемых входных данных.

Выполненное формальное описание функционирования ГПС позволило сформировать список входных данных, необходимых для ее автоматизированного построения, включающих сведения об изделиях и технологических процессах их изготовления; проектные и кон-

структурские параметры систем основного технологического оборудования, АТСС, АСИО, алгоритмы АСУ и системы диспетчирования работы ГПС.

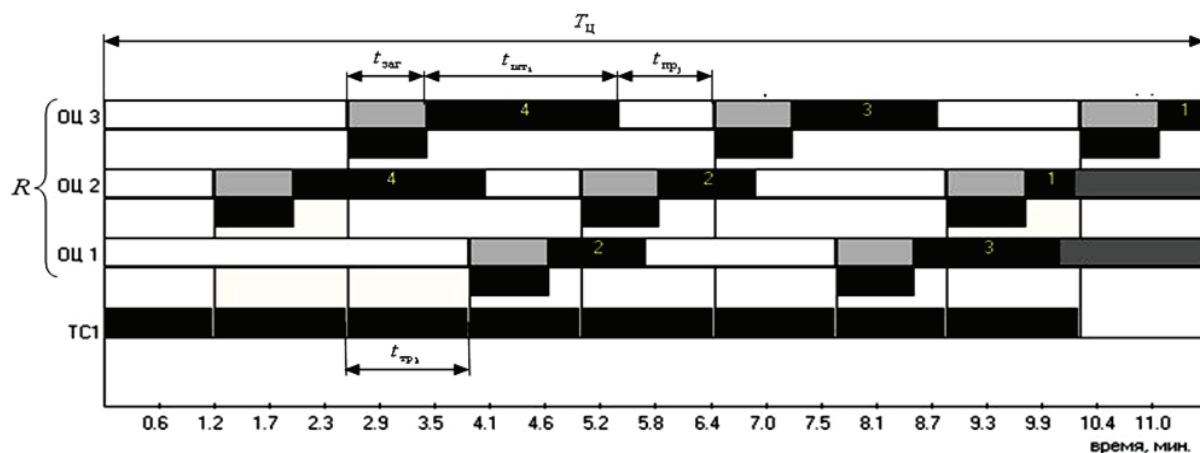


Рис. 5. Расчетная схема и циклограмма работы ГПС

Входные данные содержат сведения об изделиях и технологических процессах их изготовления, проектные и конструкторские параметры систем основного технологического оборудования, автоматизированной транспортно-складской системы, автоматизированной системы инструментального обеспечения, алгоритмы автоматизированной системы управления и подсистемы диспетчирования работы ГПС.

В качестве примера практической реализации разработанного формализованного аппарата рассмотрим компьютерное приложение для симуляции работы ГПС механической обработки.

Исходные данные для работы приложения включают технические характеристики станка (рис. 6), сведения о технологических процессах, включая режимы резания, номенклатуру и стойкость режущих инструментов, состав сменного задания, а также сведения об исходном размещении инструментов в магазине станка.

В приложении предусмотрено два режима работы: а) симуляция текущего сменного задания (СЗ); б) симуляция на выборке вариантов сменных заданий (статистика).

В режиме симуляции текущего СЗ создается текстовый файл с цифровым представлением результатов. Цифровые данные интерпретируются на отдельной экранной форме в виде циклограммы работы станка и его агрегатов, а также в виде сводной круговой диаграммы баланса времени и показателей эффективности работы станка (рис. 7).

Данный режим работы предназначен для верификации входных данных и работы приложения, анализа единичного техпроцесса или сменного задания. Анализ может производиться по одному или нескольким из используемых критериев для разных станков, различных режимов резания, вариантов размещения инструментов в гнездах магазина. Возможны организация и использование базы данных по различным моделям МЦС, имеющимся на предприятии.

Режим статистики применяется для выявления и анализа закономерностей между значениями технических характеристик агрегатов и показателями эффективности работы ГПС на множестве техпроцессов или сменных заданий. Оценка результатов выполняется на основе статистически рассчитанных параметров вероятностного распределения значений выбранного критерия: расхода режущих инструментов $N_{ПИ}$, себестоимости изготовления деталей C_0 , коэффициентов загрузки станка по машинному $k_{маш}$ и оперативному времени обработки $k_{оп}$, производительности P_0 и приросту срока окупаемости ГПС L_0 (рис. 8).

Имитационное моделирование работы многоцелевого станка. Ввод данных

Параметры станка

Цикл смены инструмента в шпинделе, с: 12
 Скорость вращения магазина, м/мин: 20
 Наличие реверса магазина: нет
 Число гнезд в магазине, шт: 20
 Макс диаметр инструмента в магазине без пропуска гнезд, мм: 80
 Стоимость станкочаса, руб/час: 120
 Средняя стоимость инструмента, руб/шт: 200
 Цикл смены заготовки на станке, с: 50

Технологические процессы

Всего техпроцессов 3 техпроцесс: 1

Деталь 2456-21-65 "Плита", сталь 45, 005

N°N°	Содержание перехода	трес.м	твсп.м	Код РИ
1	Растачивание черновое	2.50	2.50	10
2	Фрезерование черновое	2.50	2.50	20
3	Зенкерование	2.50	2.50	30

N°N°	Наименование реж. инструмента	Код РИ	T, мин
1	Фреза концевая d20 P6M5	10	20.0
2	Зенкер d16 P6M5	20	20.0
3	Развертка d17 P6M5	30	20.0
4	Фреза концевая d20 P6M5	40	20.0

Сменное задание

N°N°: 1
 Код техпроцесса: 1
 Число изделий: 1

Исходное заполнение магазина инструментом

N° гнезд	1	2	3	4	5	6	7	8	9
код РИ	10	20	60	30	70	0	0	80	0

1 – шпиндель
 2 – автооператор смены инструмента
 3 – позиция смены инструмента магазина
 4 – магазин инструментов

1. Ввод техпроцессов 2. Заполнить магазин 3. Моделирование 4. Результаты Статистика

Рис. 6. Экранная форма ввода данных

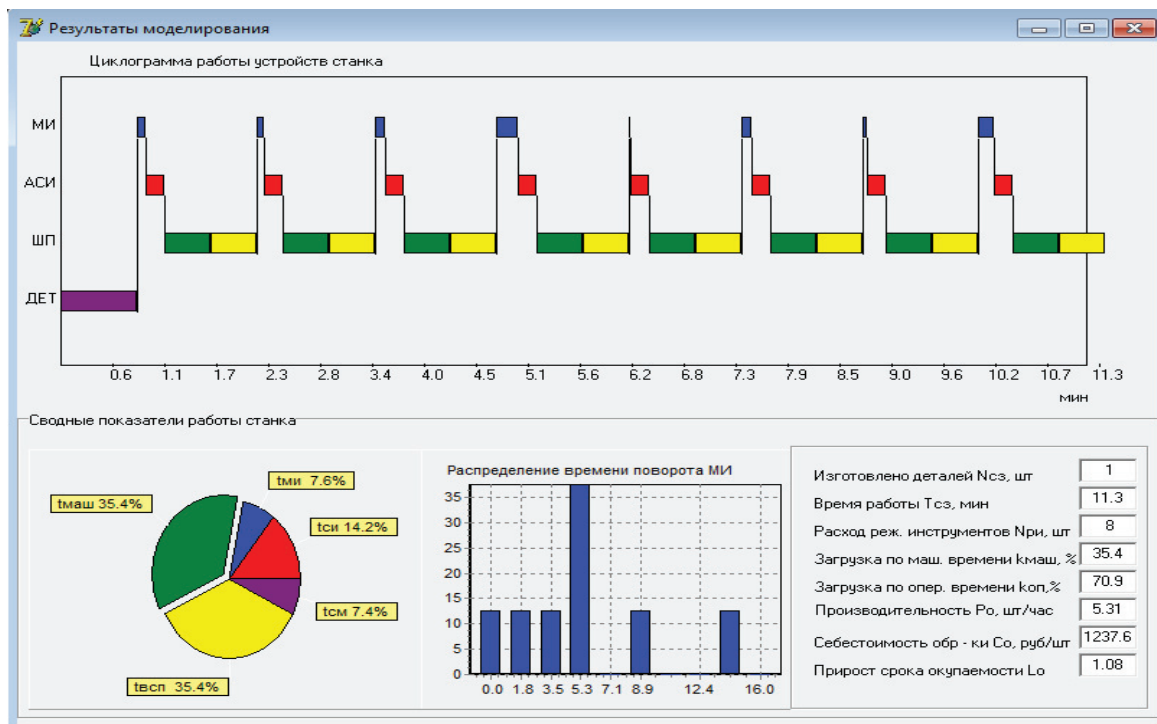


Рис. 7. Форма результатов работы программы в режиме «Сменное задание»

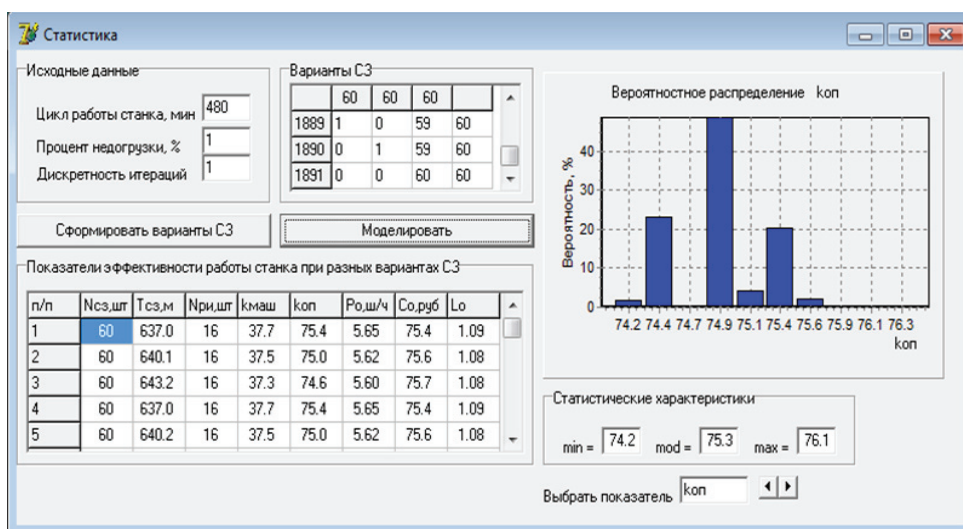


Рис. 8. Форма результатов работы программы в режиме «Статистика»

Ожидается, что многократное повторение вычислительных экспериментов позволит выявить унифицированные значения технических характеристик узлов и агрегатов ГПМ модульной конструкции (рис. 9).

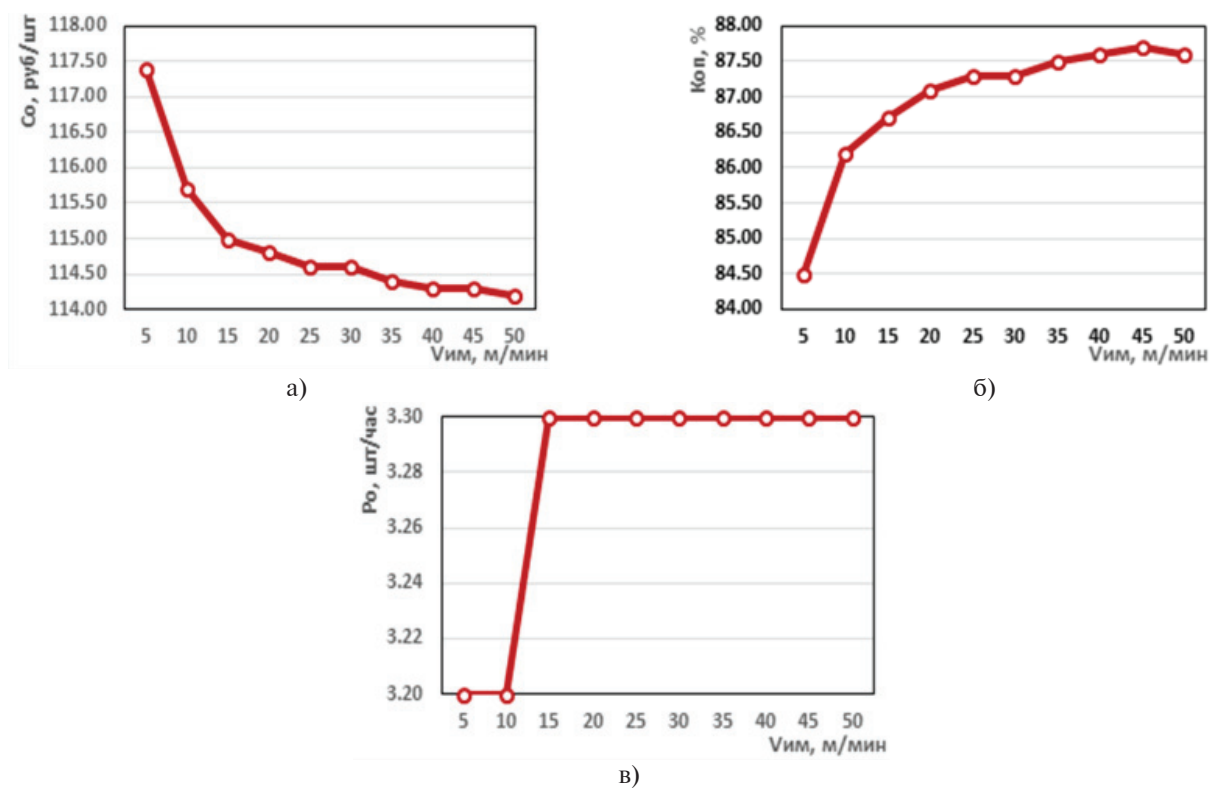


Рис. 9. Примеры закономерностей изменения средних значений C_0 , $k_{оп}$ и P_0 при варьировании скорости поворота магазина многоцелевого станка $V_{им}$

Таким образом, одним из возможных направлений диверсификации предприятий оборонно-промышленного комплекса может стать как изготовление линейки комплектующих для гибкой автоматизации, так и изготовление современных гибких производственных модулей и систем «под ключ».

Реализация агрегатно-модульного подхода в производстве линейки комплектующих позволит повысить рентабельность производства за счет его локализации на выпуске унифицированных изделий.

Поиск рациональных значений технических характеристик унифицированных узлов и агрегатов может выполняться на основе многократных вычислительных экспериментов в компьютерных приложениях, симулирующих функционирование ГПС и ее компонентов.

Разработанное формализованное описание процессов функционирования ГПС позволяет разрабатывать приложения для их симуляции на различных уровнях детализации.

Уже разработанные приложения и инструкции по их использованию могут быть использованы в учебном процессе технических направлений подготовки молодых специалистов и на профильных предприятиях машиностроения.

Список литературы

1. ОПК осваивает гражданскую продукцию. URL: <https://flb.ru/7/834.html> (дата обращения: 30.03.2019).
2. Владимир Путин запретил выпускать сковородки на оборонных заводах. URL: <https://rg.ru/2016/09/08/reg-cfo/putin-zapretil-vypuskat-na-predpriatiiah-opk-skovorodki.html> (дата обращения: 30.03.2019).
3. С. Катырин: потребность российских предприятий в станках будет только расти. URL: <https://udm-info.ru/news/economy/06-10-2017/s-katyrin-potrebnost-rossiyskih-predpriyatij-v-stankah-budet-tolko-rasti> (дата обращения: 30.03.2019).
4. Стратегия развития станкоинструментальной промышленности до 2030 года. URL: <https://clck.ru/CaH6k> (дата обращения: 30.03.2019).
5. Производители оборудования для ГПС. URL: <http://www.produzon.ru/products> (дата обращения: 30.03.2019).
6. Станки МАЗАК. URL: http://мазак.рф/catalog/stanok_6 (дата обращения: 30.03.2019).
7. Модульная система УАСИ фирмы Pragati. URL: <http://www.pragati.ru/company/> (дата обращения: 30.03.2019).
8. Сердюк А.И., Сергеев А.И., Корнипаев М.А., Проскурин Д.А. Формализованное описание работы гибких производственных систем при создании систем компьютерного моделирования // СТИН. 2016. № 7. С. 12–18.
9. Гильфанова Ф.Ф. Многовариантная оценка комбинаций правил обслуживания в АСУ гибких производственных ячеек: дис. ... канд. техн. наук. Оренбург, 2007. 186 с.
10. Сергеев А.И. Методология автоматизации ранних этапов проектирования производственных систем в машиностроении: дис. ... д-ра техн. наук / ФГБОУ ВО «Оренбургский гос. ун-т». Оренбург: ОГУ, 2016. 311 с.

References

1. *OPK osvaivaet grazhdanskuyu produkciyu* [The defense industry develops civilian products]. Available at: <https://flb.ru/7/834.html> (access date: 30.03.2019).
2. *Vladimir Putin zapretil vypuskat' skovorodki na oboronnykh zavodakh* [Vladimir Putin banned the production of pans at defense plants]. Available at: <https://rg.ru/2016/09/08/reg-cfo/putin-zapretil-vypuskat-na-predpriatiiah-opk-skovorodki.html> (access date: 30.03.2019).
3. *S. Katyrin: potrebnost' rossiyskikh predpriyatij v stankakh budet tol'ko rasti* [S. Katyrin: the demand of Russian enterprises for machine tools will only grow]. Available at: <https://udm-info.ru/news/economy/06-10-2017/s-katyrin-potrebnost-rossiyskih-predpriyatij-v-stankah-budet-tolko-rasti> (access date: 30.03.2019).

4. *Strategiya razvitiya stankoinstrumental'noy promyshlennosti do 2030 goda* [Strategy for the development of the machine tool industry until 2030]. Available at: <https://clck.ru/CaH6k> (access date: 30.03.2019).
5. *Proizvoditeli oborudovaniya dlya GPS* [Manufacturers of equipment for GPS]. Available at: <http://www.produzon.ru/products> (access date: 30.03.2019).
6. *Stanki MAZAK* [Machines MAZAK]. Available at: http://мазак.рф/catalog/stanok_6 (access date: 30.03.2019).
7. *Modul'naya sistema UASI firmy Pragati* [Modular system, automatic tool changer (CACI) of «Pragati» Company]. Available at: <http://www.pragati.ru/company> (access date: 30.03.2019).
8. Serdyuk A.I., Sergeev A.I., Korneev M.A., Proskurin D.A. (2016) *Formalizovannoe opisanie raboty gibkikh proizvodstvennykh sistem pri sozdanii sistem komp'yuternogo modelirovaniya* [Formalized description of the operation of flexible production systems when creating computer simulation systems] *STIN* [STIN]. No. 7. P. 12–18.
9. Gilfanova F.F. (2007) *Mnogovariantnaya otsenka kombinatsiy pravil obsluzhivaniya v ASU gibkikh proizvodstvennykh yacheek. Dis. kand. tekhn. nauk* [Multivariate evaluation of combinations of service rules in ACS of flexible production cells. Thesis for Degree of Doctor of Engineering]. Orenburg. P. 186.
10. Sergeev A.I. (2016) *Metodologiya avtomatizatsii rannikh etapov proektirovaniya proizvodstvennykh sistem v mashinostroenii. Dis. d-ra tekhn. nauk* [Methodology of automation of early stages of design of production systems in mechanical engineering. Thesis for Degree of Ph. D.] *FGBOU VO «Orenburgskiy gos. un-t»* [OGU, FSBEI «Orenburg state University»]. Orenburg. P. 311.