

УДК 658.5.012.1

DOI 10.54758/16801245\_2021\_21\_4\_52

## ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГПС В РЕАЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

<sup>1</sup>АХМЕДОВ МАГОММЕД АЙДЫН оглу

<sup>2</sup>АХМЕДОВА СВЕТЛАНА МАГЕРРАМ кызы

Сумгаитский государственный университет, 1- профессор, 2-ст.преподаватель

[Axmedova60@mail.ru](mailto:Axmedova60@mail.ru)

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, анимация, ГПС, производственное правило, сети Петри

*Рассматриваются вопросы внедрения результатов имитационного моделирования гибкой производственной системы в реальных производственных системах. Рассмотрены выполненные работы авторами при исследовании ГПС методами имитационного моделирования до этапа испытания и внедрения в реальных производственных условиях: обоснованы целесообразность применения имитационного моделирования при исследовании на этапе системотехнического проектирования и выбор для этого программного комплекса RAO-studio; этапы имитационных экспериментов, воспроизведение результатов имитации методами анимации и управление динамических процессов с использованием временной сети Петри; показано, что компьютерные эксперименты имитационной модели проводятся в идеальной среде, без учета внешних и внутренних возмущений; предложен алгоритм управления ГПС с использованием результатов имитационных экспериментов и с учетом возмущений, на основе производственных правил.*

В результате анализа этапов развития производственных систем, с точки зрения «степени неопределенности» и «разновидностей» состава элементной базы, можно сделать вывод о том, что их эволюционный процесс развивается из относительно простых к категории достаточно сложных производственных систем, а именно: автоматические линии → гибкие производственные модули → гибкие производственные системы → компьютеризированные интегрированные производства → виртуальные производства и др. Ясно, что с расширением разновидностей элементной базы, также повышаются эффективность и функциональные возможности производственной системы в целом. [1]

Опыт проектирования производственных систем до этапа гибких производственных систем (ГПС) показал, что их исследование на этапе системотехнического проектирования (техническое задание, эскизное и техническое проектирование) с точки зрения целесообразности их создания с применением аналитических моделирующих аппаратов, таких как конечные автоматы, параллельно-функционирующие асинхронные процессы, производственные правила, фреймовые и логические модели, автоматические сети Петри и др., обеспечивается получение достаточной информации для дальнейшего продолжения этапов процесса проектирования.

ГПС по сравнению с предыдущими этапами автоматизации производственных систем создается с использованием различного назначения мехатронных устройств, которые облегчают физический труд человека и повышают его функциональные возможности во вредных для человеческого организма условиях. В состав ГПС также входят основные и дополнительные оборудования, автоматически управляемые транспортные системы, станки с ЧПУ, рабочих ячеек, системы управления на базе компьютерной техники и др.

Перечисленные элементы ГПС имеют между собой сложные связи и должны функционировать во взаимодействии всех компонентов в виде динамических мехатронных систем с общими рабочими зонами, соблюдением принципов асинхронности и параллелизма. Поэтому, ГПС относятся к категории сложных производственных систем и для их исследования выше перечисленные моделирующие аппараты не позволяют получить желаемый результат и требуется применение новых эффективных подходов. Одним из таких подходов является применение методов имитационного моделирования.

В статье обсуждается последовательное использование метода имитационного моделирования для исследования ГПС и использование результатов имитации на этапах испытания и внедрения в реальном объекте.

**Постановка задачи.** Требуется рассмотрение вопросов практического применения методов имитационного моделирования, в целях оценки целесообразности проектирования и создания конкретного объекта в виде ГПС, на этапе системотехнического проектирования и использование результатов имитации на этапах испытания и внедрения в реальном объекте.

Для решения поставленной задачи авторами выполнены нижеперечисленные исследовательские и практические работы, результаты которых обсуждались на международных научно-практических конференциях и опубликованы на страницах ведущих научно-технических журналов.

Последовательно рассмотрим выполненные авторами научные и практические работы.

В работе [2] обосновано исследование и оценка целесообразности проектирования ГПС с использованием методов имитационного моделирования на этапе системотехнического проектирования. Показано, что ГПС относится к категории сложных систем и состоит из множества динамических мехатронных устройств, которые функционируют во взаимодействии для достижения конечной цели в реальном масштабе времени. Следовательно, идеи проектировщиков на начальном этапе проектирования в большинстве случаев не оправдывают себя при испытании натурально реализованных физических моделей. Сказанное еще более усугубляется при внедрении ГПС в реальных производствах. Отмечено, что эффективным подходом является исследование проектируемого объекта компьютерными экспериментами с использованием методов имитационного моделирования. Для решения поставленной задачи предложено использование программного комплекса RAO-complex, предназначенного для разработки и отладки имитационных моделей на языке РДО. С использованием инструментов среды RAO-complex предложена и разработана архитектура инструмента автоматизированного моделирования.

В работах [3÷6] с учетом требований RAO-studio на примере конкретного объекта «ГПС резка рулонных алюминиевых металлических листов на листы требуемого размера и листов на карточки, и очистка их поверхности»(далее в тексте ГПС) последовательно решены следующие задачи: разработка концептуальной модели участка, принятого в качестве объекта исследования; разработка структурно-кинематической схемы ГПС; разработка архитектуры инструмента автоматизированного моделирования; разработка имитационной модели ГПС на языке РДО с использованием закладок RAO-studio; разработка алгоритма управления ГПС в виде временной сети Петри с использованием закладок RAO-studio; разработка обобщенной структуры системы управления ГПС в действующем производстве.

Анализ полученных результатов исследования ГПС методами имитационного моделирования позволяет сделать следующие основные выводы.

1. Выбор для решения поставленной задачи программного комплекса RAO-studio, предназначенного для разработки и отладки имитационных моделей на языке РДО, который позволяет воспроизводить на компьютере динамику проектируемого объекта, принятие решений сложной системой управления, решение задачи системного анализа и синтеза,

полностью оправдывал себя и может быть использован для моделирования и исследования ГПС относительно сложных структур и назначения.

2. Результаты компьютерных экспериментов с использованием методов имитационного моделирования и воспроизведение результатов имитации анимацией, позволяет заказчику и исполнителю на начальном этапе проектирования пересмотреть некоторые пункты технического задания. Кроме этого демонстрацией результатов имитации предполагаемого объекта на начальном этапе проектирования обеспечивается вотум доверия исполнителю со стороны заказчика.

3. С учетом принципа декомпозиции (разбиение описания объекта на составные части с целью их отдельного исследования с учетом согласования принимаемых решений), ГПС, состоящая из четырех гибких производственных модулей (ГПМ), каждый из которых имитационным моделированием исследуется независимо друг от друга. Следовательно, проектные процедуры каждого ГПМ, с учетом требований принципа декомпозиции, выполняются отдельно и в контексте объединяются в виде ГПС и исследуются в комплексе.

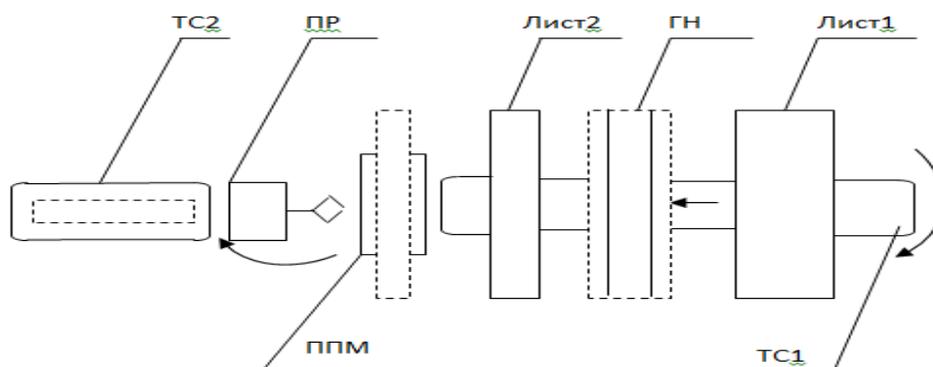
4. После окончательной отладки имитационной модели воспроизведением динамики анимацией, эксперт или высококвалифицированный специалист в данной области, определяет узкие места в ГПМ и предъявляет рекомендации по их устранению. Одновременно с учетом степени загрузки компонентов ГПМ, функционально законченном в каждом цикле, принимается решение об эффективном выборе элементов ГПМ.

5. Исследование ГПС имитационным моделированием осуществляется без учета внутренних и внешних возмущений во время компьютерных экспериментов. Управление функционированием ГПМ в реальном времени осуществляется временной сетью Петри, в которой также не учитываются различного характера возмущения.

Как видно из анализа результатов, все процессы происходящие во время компьютерных экспериментов имитационной модели, осуществляются в идеальной среде без учета внешних (изменение: температуры, давления воздуха, электрических параметров, влажность и др., среды где функционирует ГПМ) и внутренних (аварийные, не предусмотренные производственные простои и др.), возмущений, которые существенно повлияют на производительность ГПС и её безопасному функционированию в целом. Следовательно, для обеспечения эффективного функционирования ГПС в реальных производственных условиях требуется учитывать устранение этих возмущений в системе управления всего комплекса.

В работе на примере ГПМ резки стандартного плоского металлического листа (1) на лист (2) требуемого размера (в зависимости от требований производства) и передачи листа 2 к рабочей зоне следующего ГПМ, рассматривается обеспечение функционирования ГПМ в реальном объекте.

Структурно-кинематическая схема ГПМ (рис.1) состоит из следующих мехатронных устройств: гильотинная ножница (ГН), транспортная система (ТС1,2), подъемно-позиционирующий манипулятор (ППМ) и промышленный робот (ПР).



**Рис.1.** Структурно-кинематическая схема ГПМ

С использованием временной сети Петри ГПМ функционирует следующим образом: Лист1 по ТС1 поступает к рабочей зоне ГН; осуществляется резка Лист1 на Лист2, который по ТС1 перемещается к позиции ППМ; ПР схватывает Лист2, поворачивается на  $180^0$  и перемещает Лист2 к рабочей зоне ТС2.

Для функционирования ГПМ в реальном объекте разработан алгоритм управления на основе производственных правил. В целях формирования производственных правил экспертами после визуального осмотра результата имитации определяются позиции, где должны устанавливаться сенсоры для идентификации текущих ситуаций. В ГПМ, информации поступающие из различных сенсоров и сигналы для управления мехатронных устройств называются глобальной базой данных. На основе информации, поступающих в различных ситуациях, формируются продукции, которые создают базу знаний и алгоритм управления ГПМ.

В данном случае глобальная база данных создается в виде :

$X_1$  – ТС1 включена;  $X_2$  – ГН включена ; $X_3$  - ППМ включен ; $X_4$ – рука манипулятора в исходном положении;  $X_5$  - рука манипулятора в конечном положении ; $X_6$  – на ТС1 имеется Лист1;  $X_7$ – в рабочей зоне ГН находится Лист1;  $X_8$  – в рабочей зоне ППМ находится Лист2;  $X_9$ – рабочая зона ТС2 свободна;  $X_{10}$ – захват ПР отключен;  $X_{11}$  – рабочая зона ППМ свободна;  $U_1$  - включение ТС1;  $U_2$  – включение ГН ;  $U_3$  – включение ППМ;  $U_4$  – включение руки ПР вперед;  $U_5$  – включение поворота руки ПР;  $U_6$ – включение захвата ПР

На основе информации глобальной базы данных формулируется база знаний в виде производственных правил с использованием логических операций И, ИЛИ, НЕ ( $\neg$ ) и импликаций в виде «ЕСЛИ..., ТО...».

(P1) ЕСЛИ на ТС1 имеется Лист1  
И рабочая зона ГН свободна  
И рабочая зона ППМ свободна  
И ГН отключена  
ТО обеспечивается условие включения ТС1

$$(P1) \quad (X_6 \& X_{11} \& \neg X_2 \& \neg X_3) \Rightarrow U_1$$

(P2) ЕСЛИ ГН отключена  
И имеется Лист1 в рабочей зоне ГН  
И рабочая зона ППМ свободна  
ТО обеспечивается условие включения ГН

$$(P2) \quad (\neg X_2 \& X_7 \& \neg X_3) \Rightarrow U_2$$

(P3) ЕСЛИ отключен ППМ  
И имеется Лист2 в рабочей зоне ППМ  
И рука ПР в исходном положении  
ТО обеспечивается условие включения ППМ

$$(P3) \quad (\neg X_3 \& X_8 \& X_4) \Rightarrow U_3$$

(P4) ЕСЛИ имеется Лист2 в рабочей зоне ППМ  
И ППМ включен  
И захват ПР отключен  
И рука ПР в исходном положении  
ТО обеспечивается условие включения руки ПР

$$(P4) \quad (X_8 \& X_3 \& X_{10} \& X_4) \Rightarrow U_4$$

(P5) ЕСЛИ захват ПР включен  
И рука манипулятора в исходном положении  
И рабочая зона ТС2 свободна  
И ГН отключена  
ТО обеспечивается условие включения поворота руки

$$(P5) \quad (\neg X_{10} \& X_4 \& X_9) \Rightarrow U_5$$

- (P6) ЕСЛИ рука манипулятора в исходном положении  
И имеется Лист2 в рабочей зоне ППМ  
И ППМ включен  
И ГН отключена  
ТО обеспечивается условие включения захвата ПР  
**(P6) (X<sub>4</sub> & X<sub>8</sub> & X<sub>3</sub>) => U<sub>6</sub>**

Аналогичным образом формируются управляющие сигналы отключения мехатронных устройств.

Таким образом, идентификацией 12-ти текущих ситуаций и формированием управляющих воздействий в циклическом режиме функционирует ГПМ.

При испытании и внедрении ГПС в реальных объектах требуется также учитывать функционирование ГПМ общими рабочими зонами в комплексе ГПС.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов В.В., Ясиновский С.И. Имитационное моделирование системы – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, – 2009, – 584 с.
2. Ахмедов М.А., Ахмедова С.М. Разработка архитектуры инструмента автоматизированного проектирования имитационной модели гибкого производственного модуля // Системы управления и информационные технологии.–Москва-Воронеж, –2015, –№4.1(62). –с.104-107
3. Ахмедов М.А., Ахмедова С.М. Разработка алгоритма имитационного моделирования гибкой производственной системы с использованием программного комплекса RAO-STUDIO на языке РДО / 62-я Международная научная конференция Астраханского государственного технического университета, –Астрахань, –2018, –23-27 апреля. –с.145.
4. Ахмедова С.М., Магомедли Х.М. Исследование гибкой производственной системы методами имитационного моделирования на этапе системотехнического проектирования / Труды научно-практической конференции с международным участием «Инженерные системы». –М., –2019, –4-5 апреля. –с.493-503
5. Akhmedova S.M. Research of a flexible production system by methods of imitating modeling at a stage of sistemotechnical design // Программные системы и вычислительные методы, – М., –2019, –№4, –с.77-86.
6. Ахмедова С.М., Ахмедов М.А. Реализация алгоритма имитационной модели на примере гибкой производственной системы / Сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции «САПР и моделирование в современной электронике», – Брянск, –2019, –24-25 октября, – с.159-16
7. Xəlilov, E. O. Diskret dinamikı sistemlərin imitasiya modelləşdirilməsi ilə tədqiqi və imitasiyanın nəticələrinin animasiyasının mövcud vəziyyətinin analizi / E. O. Xəlilov // SDU. Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. – 2019. – Vol. 19. – No 4. – P. 72-77. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43167232>

### XÜLASƏ ÇİS-in İMİTASIYA MODELLEŞDİRİLMƏSİNİN NƏTİCƏLƏRİNİN REAL İSTEHSALAT SİSTEMLƏRİNDƏ TƏTBİQİ *Əhmədov M.A., Əhmədova S.M.*

**Açar sözlər:** *imitasiya modelləşdirilməsi, animasiya, ÇİS, produksiya qaydaları, Petri şəbəkələri*

Məqalədə çevik istehsal sisteminin imitasiya modelləşdirilməsinin nəticələrinin real istehsal sistemlərində həyata keçirilməsinə baxılır. ÇİS-in imitasiya modelləşdirmə metodları ilə real istehsal şəraitində sınaq və tətbiq mərhələsindən əvvəl müəlliflər tərəfindən görülən işlər nəzərə alınır: sistemotexniki mərhələdə imitasiya modelləşdirməsindən istifadənin məqsəduyğunluğu və bunun üçün RAO-studiya proqram kompleksinin seçilməsi əsaslandırılmışdır; imitasiya eksperimentlərinin mərhələləri,

animasiya metodlarından istifadə edərək imitasiyanın nəticələrinin və zaman Petri şəbəkələrindən istifadə edərək dinamik proseslərin təsviri; imitasiya modelləşməsinin kompüter eksperimentlərinin xarici və daxili təsirlər nəzərə alınmadan ideal bir mühitdə aparıldığı göstərilir; produksiya qaydalarına əsaslanaraq imitasiya eksperimentlərinin nəticələri və təsirlər nəzərə alınaraq ÇİS-in idarə olunması üçün alqoritm təklif olunur.

**SUMMARY**  
**IMPLEMENTATION OF FPS SIMULATION RESULTS IN REAL**  
**PRODUCTION SYSTEMS**

*Akhmedov M.A., Akhmedova S.M.*

**Keywords:** *simulation, animation, FPS, production rule, Petri nets*

The issues of implementing the results of simulation of a flexible production system in real production systems are considered. The work performed by the authors in the study of FPS by methods of simulation modeling before the stage of testing and implementation in real production conditions is considered: the expediency of using simulation modeling in research at the stage of system engineering design and the choice for this software complex RAO-studio are substantiated; stages of simulation experiments, reproduction of simulation results by animation methods and control of dynamic processes using a temporary Petri net; it is shown that computer experiments of the simulation model are carried out in an ideal environment, without taking into account external and internal disturbances; an algorithm for the control of the FPS is proposed using the results of simulation experiments and taking into account disturbances, based on production rules.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	22.04.2021
	Son variant	20.05.2021