

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра системного анализа и
автоматического управления

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ЭТАПА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО
ПРОЦЕССА**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 481 группы
направления 27.03.03 — Системный анализ и управление
факультета КНиИТ
Попова Данила Валерьевича

Научный руководитель
доцент, к. ф.-м. н.

Е. П. Станкевич

Заведующий кафедрой
к. ф.-м. н., доцент

И. Е. Тананко

Саратов 2022

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Задачи оптимального использования ресурсов граничат с экономическими и политическими проблемами в сфере промышленности. Основой производства продукции является производственный процесс, деятельность которого влияет на себестоимость продукции. Тенденции развития экономики показывают о необходимости рационального использования всех видов ресурсов ввиду их ограниченности в условиях санкционного давления. Одним из направлений повышения эффективности функционирования и развития предприятия является оптимизация процессов производства с целью снижения себестоимости производства продукции.

Использование математических моделей обеспечивает лучшее понимание процессов функционирования систем и возможность принятия соответствующих решений по их модификации, позволяя, таким образом, повысить эффективность их функционирования или даже приблизить его к оптимальному [1].

Цель бакалаврской работы — исследование модели этапа производственного процесса.

Поставленная цель определила **следующие задачи**:

1. Изучить литературу по этапам производственного процесса;
2. Изучить математические модели некоторых этапов производственного процесса;
3. Разработать алгоритм и программу для анализа модели этапа производственного процесса;
4. С помощью разработанной программы выполнить анализ модели этапа производственного процесса.

Методологические основы исследования модели на этапе производственного процесса представлены в работах G. Salawu, G. Bright, C. Onunka, G. Bright.

Практическая значимость бакалаврской работы. В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был разработан алгоритм и программа для анализа модели этапа производственного процесса. С ее помощью можно исследовать модели этапа выбора и размещения производственного процесса.

Структура и объем работы. Бакалаврская работа состоит из введе-

ния, 5 разделов, заключения, списка использованных источников и 1 приложения с кодом программы. Общий объем работы — 57 страницы, из них 42 страницы — основное содержание, включая 15 рисунков, приложение, список использованных источников информации — 23 наименования.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первый раздел «Обзор основных результатов исследования моделей этапов производственного процесса» содержит анализ и сравнение основных опубликованных результатов исследования моделей этапов производственных процессов.

Второй раздел «Основные понятия теории массового обслуживания» посвящен описанию базовых понятий систем массового обслуживания, даны определения основным ее элементам: поток требований, механизм обслуживания, очередь, дисциплина обслуживания [2–4].

Третий раздел «Модели этапов производственного процесса» содержит описание моделей двух этапов производственных систем: этап упаковки и этап выбора и размещения, а так же описан робот M-10i-A Fanuc, который выполняет роль обслуживающего прибора в обоих моделях.

В подразделе 3.1 описывается робот M-10i-A Fanuc: его характеристики, функционал, достоинства и недостатки. Так же рассмотрена структурная схема роботизированного манипулятора движения для выполнения задачи выбора и размещения.

В подразделе 3.2 представлена математическая модель этапа упаковки. Рассматривается процесс виртуального многоэтапного производства, в котором детали поступают на стадию упаковки с разных станций, ожидая ответа обслуживающего прибора. Во время этого процесса детали, прибывшие с разных станций, накапливались, в результате чего образовывалась очередь. Предполагается, что некоторые параметры системы отражают различные условия, возникающие при производстве с некоторыми предполагаемыми рабочими значениями.

Робот рассматривается в качестве обслуживающего прибора для выполнения задачи упаковки. Многоэтапная производственная система широко распространена в современных производственных системах. Для завершения производственного процесса или обслуживания требуется несколько циклов.

Иллюстрация многоэтапной производственной системы приведена на рисунке 1. Она описывает производственный процесс с деталями в очереди, ожидающими, когда прибор (робот) начнет их обслуживание.

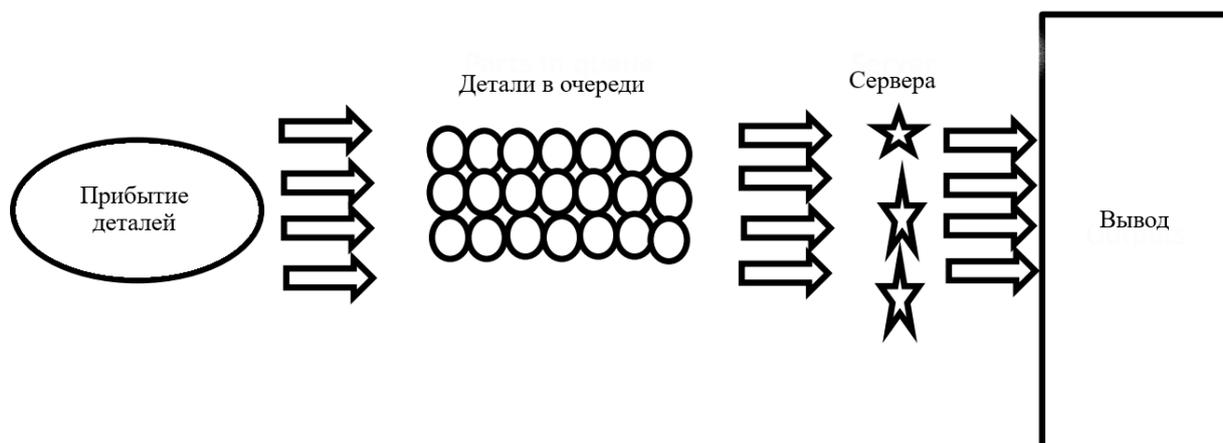


Рисунок 1 – Схема этапа упаковки

Предполагается одинаковая интенсивность поступления требований и интенсивность их обслуживания, дисциплина обслуживания – *FCFS*.

Для описания поведения предложенной модели используются следующие параметры:

n – максимальное количество линий поставки деталей, доступных на производственной линии,

λ_i – интенсивность поступления каждой детали на i -ой линии, где $i = 1, 2, \dots, n$,

m – максимальное количество роботов, используемых для упаковки на производственной линии,

$\mu_j(t)$ – интенсивность обслуживания для роботов, где $j = 1, 2, \dots, m$,

ρ_n – производительность каждого робота,

ρ – коэффициент использования производственной системы,

C_p – стоимость работы прибора в час,

C_w – стоимость каждой детали, ожидающего в очереди.

Интенсивность поступления продукции определяется как:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i(t) = n\lambda(t).$$

Коэффициент использования системы, обозначаемый ρ , представляет

собой отношение скорости, с которой требования поступает в систему, к максимальной скорости, с которой система может выполнять эту работу. Для случая с одним прибором он задается:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}.$$

На этапе упаковки коэффициент использования роботов имеет вид:

$$\rho_n = \frac{\lambda_i}{\mu_j}.$$

Время ожидания выражается как:

$$W = \sum_{j=1}^m \mu_j - \sum_{i=1}^n \lambda_i.$$

М.о. длительности пребывания детали в очереди:

$$L_s = \frac{t}{m\mu_j - n\lambda_i}.$$

Стоимость производства T выражается в терминах времени ожидания:

$$T = m \cdot C_p \cdot \mu_j + C_w \cdot \rho_n \cdot W \cdot L_s.$$

Подраздел 3.3 содержит описание математической модели этапа выбора и размещения и технологическую схему для предлагаемой модели.

Моделью этапа выбора и размещения в производственном процессе является одноприборная система массового обслуживания. Детали поступают по конвейерной ленте на буферную станцию. Поступающие детали присоединяются к другому конвейеру, по которому детали транспортировались для сбора и размещения роботом в виртуальной производственной среде. Поступление требований происходит случайным образом в соответствии с процессом Пуассона с интенсивностью поступления λ . Поступление требований с буферной станции имеет отрицательное экспоненциальное распределение, которое аналогично стационарному поведению требований в системе массового обслуживания $M/G/1$ [5].

Повторяемость движения роботизированной руки приводит к детерминированному времени подачи μ (интенсивность обслуживания). Детали, ко-

торые не были подобраны, решают оставить и вернуть обратно для обслуживания в следующем цикле. Такие системы в теории массового обслуживания называются системами с отказами.

Формулы для вычисления стационарных характеристик:
математическое ожидание числа требований в очереди

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)},$$

математическое ожидание числа требований в системе

$$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu},$$

математическое ожидание времени пребывания в очереди

$$w_q = \frac{L_q}{\lambda},$$

математическое ожидание времени пребывания в системе

$$w = w_q + \frac{1}{\mu}.$$

Учитывая, что:

C_s – стоимость обслуживающего прибора(робота),

C_w – стоимость нахождения деталей в очереди,

C_b – стоимость занятого робота,

C_i – стоимость простоя робота,

C_r – стоимость возврата детали для выбора.

Функция стоимости имеет вид:

$$C_p = C_w \times L + C_b \times w + C_r \times w_q + C_i \times L_q + C_s.$$

Интенсивность поступления требований с конвейера на прибор:

$$r_b = \frac{(W - d)^2 v}{W \pi (\alpha + d)^2},$$

где W – высота и ширина обрабатываемой детали, v – скорость ленты, d – диаметр подаваемой детали, минимальный требуемый зазор $\alpha = d/2$,

Пропускная способность робота:

$$T_r = \frac{r_b}{\left(\frac{W}{v}\right) + t_p + [r_b] \cdot t_c},$$

где t_p – время, затрачиваемое роботом на выбор и размещение детали, а t_c – общее время цикла.

Четвертый раздел «Алгоритм и программа для анализа модели этапа выбора и размещения» посвящен описанию блочного алгоритма для анализа модели этапа выбора и размещения, основам визуализации данных с помощью библиотеки PySimpleGUI и описанию написанной программы.

Подраздел 4.1 содержит описание блочного алгоритма анализа модели этапа выбора и размещения:

1. Начало работы программы.
2. Обработка входных данных.
3. Вычисление стационарных характеристик.
4. Вычисление функции стоимости.
5. Вычисление значений для оценки пропускной способности.
6. Вычисление пропускной способности.
7. Конец работы программы.

В подразделе 4.2 описаны основные понятия построения пользовательского интерфейса на языке Python с использованием библиотеки PySimpleGUI[6].

Подраздел 4.3 содержит описание написанной программы и руководство к ней.

Пятый раздел «Результаты исследования модели этапа производственного процесса» посвящен анализу данных, полученных с помощью написанной программы. Результат работы программы показывает, чем выше интенсивность входящего потока, тем выше себестоимость продукта. Также, чем больше времени робот тратит на выбор и размещение детали или чем меньше зазор между деталями, тем меньше пропускная способность робота.

На рисунке 2 показана разница в пропускной способности между рассматриваемым параметром $t_p = 0.12$ (синий цвет) и $t_p = 0.15$ (оранжевый цвет) при следующих параметрах системы: $\lambda = 0.5$ деталей в секунду, $\mu = 4$

деталей в секунду, $v = 256$ оборотов в минуту, $n = 340$ оборотов в минуту, $d = 14.4$ мм., $a = 7.2$ мм., $W = 250$ м., $T_r = 0.625$, $C_s = 0.5$, $C_w = 50$, $C_b = 0.1$, $C_r = 60$, $C_i = 10$, $t_m = 0.13$ секунд, $t_{vis} = 0.1$ секунд, $t_r = 0.125$ секунд, $t_t = 0.15$ секунд.

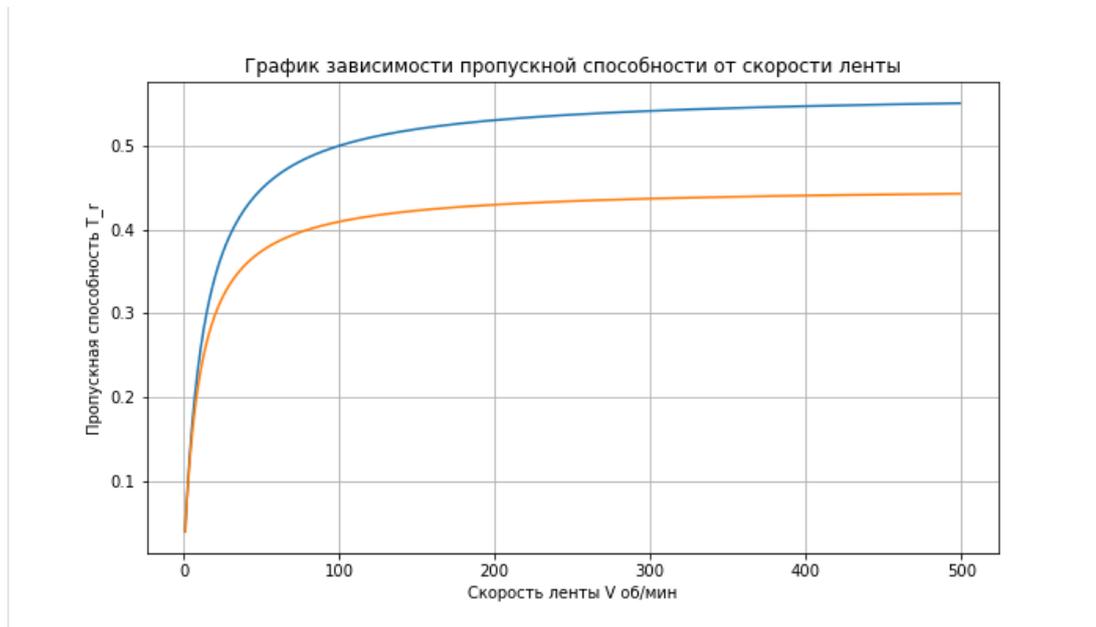


Рисунок 2 – График зависимости пропускной способности от скорости ленты при времени цикла $t_p = 0.15$ и $t_p = 0.12$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аналитические методы не универсальны, поскольку структура производственной системы может быть настолько сложной, что составить ее математическую модель невозможно или слишком трудозатратно, однако они очень эффективны за счет быстрого действия программ, их реализующих.

В данной выпускной квалификационной работе была исследована математическая модель этапа выбора и размещения производственного процесса, изучены характеристики роботизированной руки *FANUC*. Разработан алгоритм для анализа рассматриваемой модели. На основе алгоритма был написан программный код, с помощью которого и были проведены исследования зависимостей характеристик.

Основные источники информации:

1. Митрофанов, Ю. И. Анализ систем массового обслуживания: Учебно-методическое пособие. / Ю. И. Митрофанов, Е. С. Рогачко, Н. П. Фокина – Саратов: Научная книга, 2009. – 48 с.

2. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания./ Л. Клейнрок. Пер. с англ.– Москва: Машиностроение, 1979. – 438 с.
3. Пантюшин, С.В. Моделирование робототехнических систем и гибких автоматизированных производств / С.В. Пантюшин, В. М. Назаретов, О. А. Тягунов, В. П. Хайдуков, А. В. Кульба, В. И. Ситников // Москва: Высшая школа — 1986. – С. 175.
4. Трухин, В. В. Проектирование гибких производственных систем : учебное пособие / В. В. Трухин. – 2-е изд. – Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2014. – 109 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/115169> (дата обращения: 30.05.2022).
5. Salawu, G. Performance optimisation on waiting time using queueing theory in an advanced manufacturing environment / G. Salawu, G. Bright, C. Onunka // South African Journal of Industrial Engineering — 2020. — pp. 9-18.
6. Python GUIs for Humans. – Текст : электронный // PySimpleGUI : [сайт]. – URL: <https://pysimplegui.readthedocs.io/en/latest/readme/> (дата обращения: 31.05.2022).