



Ссылка на статью:

// Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. 2023, № 1, с. 165-170.

Поступила: 10.05.2023

Окончательный вариант: 26.05.2023

© УлГУ

УДК 004.942

## Решение задач балансировки нагрузки производства в среде AnyLogic

Хисамутдинова Г. А.<sup>1,2,\*</sup>, Санников И. А.<sup>2</sup>

[\\*guzelgalieva06@gmail.com](mailto:guzelgalieva06@gmail.com)

<sup>1</sup> Филиал ПАО «Ил»-Авиастар, Ульяновск, Россия

<sup>2</sup> УлГУ, Ульяновск, Россия

---

Рассматривается задача балансировки нагрузки производства авиационных деталей на примере механо-каркасного цеха с использованием имитационного моделирования в среде AnyLogic для анализа и нахождения узких мест.

**Ключевые слова:** поток деталей, имитационное моделирование, балансировка потока деталей, AnyLogic

---

### Введение

Одной из актуальных проблем современного авиастроения и машиностроения является проблема балансировки нагрузки производства. Чтобы минимизировать риски неравномерного потока деталей в производственном процессе, проводят анализ узких мест, для уменьшения времени цикла производства и потери производительности.

В настоящее время на филиале ПАО «Ил» -Авиастар главной задачей является точное соблюдение плана производства самолетов, для чего необходимо равномерно распределить поток деталей. Одной из проблем являются очереди при покраске деталей, в покрасочный цех, где они обрабатываются вместе с деталями из других цехов. Это приводит к задержкам и несоблюдению плана производства.

В данной работе представлена разработанная в среде AnyLogic имитационная модель процесса производства деталей в механо-каркасном цехе авиастроительного предприятия, позволяющая провести исследования причин возникновения разбалансировки нагрузки производства. Рассмотрены различные сценарии распределения деталей, включая класси-

фикации по размеру изготавливаемого изделия, приоритету, времени и сложности изготовления.

## **1. Методика выявления и устранения узких мест в производственных процессах**

Узкие места на предприятии можно классифицировать по двум направлениям [1].

1. Краткосрочные. Возникают из-за временных проблем. Например, станок находится на ремонте. Остальные станки не могут обработать деталь, так как обработка достаточно сложная и не у всех станков имеются данные функции. Итог — отставание в работе, которое будет продолжаться, пока станок вновь не продолжит обрабатывать детали.
2. Долгосрочные. Такие узкие места присутствуют практически постоянно. Например, неравномерное распределение обработки деталей. То есть в процессе производства возникают ситуации, когда один станок обрабатывает детали в течение трех смен, тогда как другие станки простаивают, ожидая поступления деталей. [2]. Это приводит к значительным задержкам в производственном процессе.

Узкие места могут возникнуть в любых направлениях, где компоненты системы предприятия не справляются с ограничениями [3]. Типичные признаки узких мест:

- накопившаяся работа;
- длительное время ожидания (материалов, сторонних работ для окончательного завершения процесса);

Для того чтобы найти узкие места на предприятии, необходимо:

- определить области, в которых происходит накопление и часто случаются простои;
- оценить производительность;
- оценить использование каждой единицы оборудования на полную мощность;
- определить оборудование с большим временем ожидания.

Устранить узкие места можно несколькими способами [4]:

1. Укрепить узкие места кадрами (набрать персонал).
2. Минимизировать время простоя (контролировать загрузку оборудования и работу персонала).
3. Устранить лишние и нецелесообразные действия (получать достоверные данные о производственных процессах в режиме реального времени).
4. Приобрести дополнительное оборудование, которое выполняет аналогичные действия, и оптимизирует работу узких мест.

Для избегания узких мест в процессе производства необходимо равномерно распределить поток деталей. Это можно сделать, классифицируя детали на группы, например, по размеру или сложности обработки. Также, важно учитывать время, необходимое для обработки каждой детали, чтобы оптимизировать процесс и избежать задержек. Например, для процесса покраски можно определить время, необходимое для покраски одной детали и учитывать это при распределении потока деталей.

## 2. Процесс оптимизации балансировки потока деталей

Для равномерного распределения потока деталей мы будем использовать алгоритм балансировки [5]. Этот алгоритм позволяет балансировать поток деталей между станками в производственной системе, чтобы уменьшить время цикла и увеличить производительность.

Алгоритм балансировки потока деталей включает в себя следующие шаги:

1. Определить время обработки деталей на каждом станке.
2. Определить время цикла, которое требуется для производства одной детали.
3. Определить максимальное время цикла, которое может быть выдержано системой без задержек.
4. Определить узкие места в производственной системе, где происходит наибольшая задержка.
5. Провести балансировку потока деталей, для устранения узких мест и снижения время цикла.

В рамках данной работы был проведен анализ производственного процесса в механокаркасном цеху на предприятии филиала ПАО «Ил» -Авиастар. На сегодняшний день в цеху производится восемь различных изделий с разной сложностью обработки и временем, затраченным на обработку одного изделия.

Также, есть план на месяц, который составляет 4000 деталей в месяц. Однако из-за высокой загруженности в покрасочном модуле цех не выполняет план, и в среднем производит от 2500 до 3000 деталей.

После того, как получены все входные параметры цеха, построена имитационная модель, как показано на рис. 1. Слева на рисунке изображено графическое представление модели в виде блоков операций в 2D отображении. Внизу отображены схемы остальных цехов, для общего представления вида модели, красной линией в нижней части рисунка изображён график изменения производительности производственного процесса в зависимости от времени.



Рис. 1. Схема производственной системы

В среде AnyLogic для обработки детали используется блок Service. Данный блок состоит из очереди на обслуживание и блока, имитирующего задержку детали на время обслуживания. Блок имеет один вход и три выхода: out, outTimeout, outPreempted, как показано на рис. 2. Из выхода out выходят те детали, чье обслуживание было завершено. Из выхода outTimeout выходят те детали, чье время ожидания обслуживания в очереди истекло. Из выхода outPreempted выходят детали, вытесненные деталями с более высоким приоритетом в очереди на обработку.

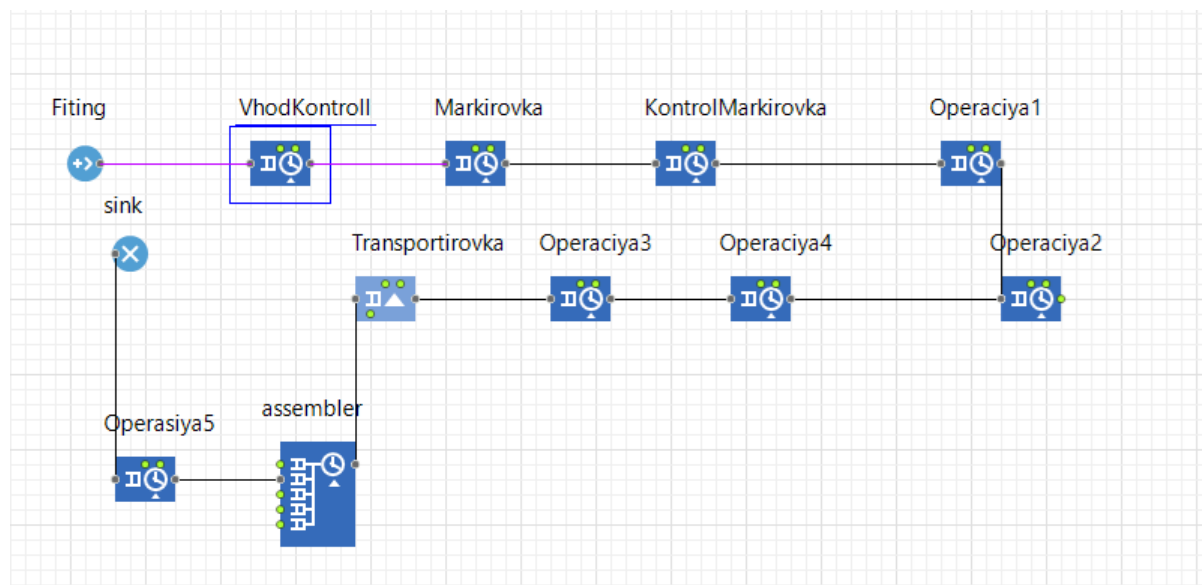


Рис. 1. Графическое представление процесса обработки детали в виде блоков операций

Для каждой операции задаются свои параметры и характеристики. То есть: максимальная вместимость, длительность операции (максимальное, среднее, минимальное).

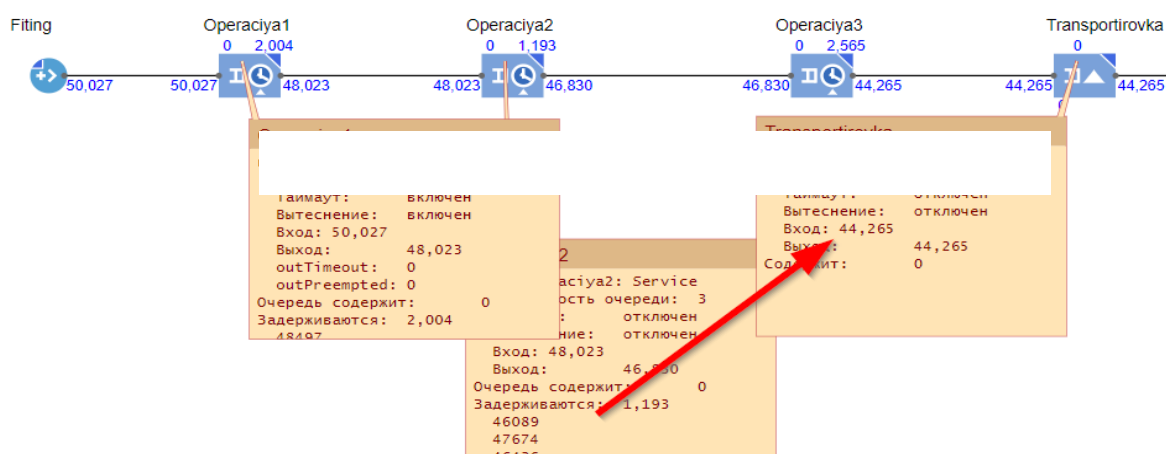


Рис. 3. Отображение статических результатов моделирования процесса по каждому блоку

В ходе моделирования было выявлено, что узким местом является процесс транспортировки, как показано на рис. 3. То есть, отправление детали в покрасочный модуль приводит к задержкам и несоблюдению плана производства, а именно процесс изготовления детали был выполнен только на 44% от общего плана.

Далее разработана модель очередности поступления деталей в покрасочный цех, которая включает в себя три модуля для поступления деталей на покраску, как показано на рис. 4. С целью оптимизации процесса внесены изменения в блоки для обработки деталей, которые привели к изменению потока поступающих деталей в указанных модулях, а именно: были рассмотрены различные сценарии распределения деталей, включая классификацию по размеру, приоритету, времени и сложности изготовления деталей. Предложенные решения будут способствовать увеличению эффективности производства и сокращению времени, необходимого для производства деталей.

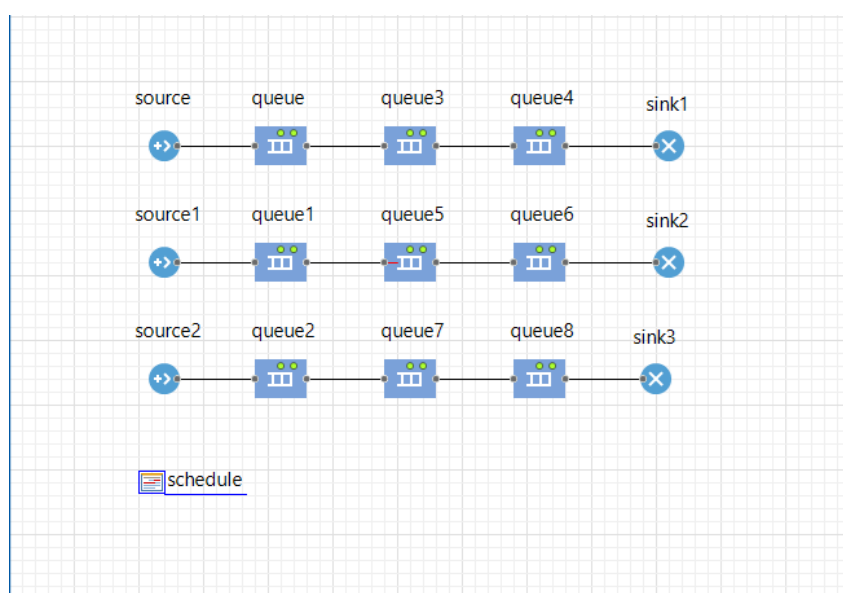


Рис. 4. Графическое представление модуля покрасочного цеха в виде блоков приема и ожидания деталей

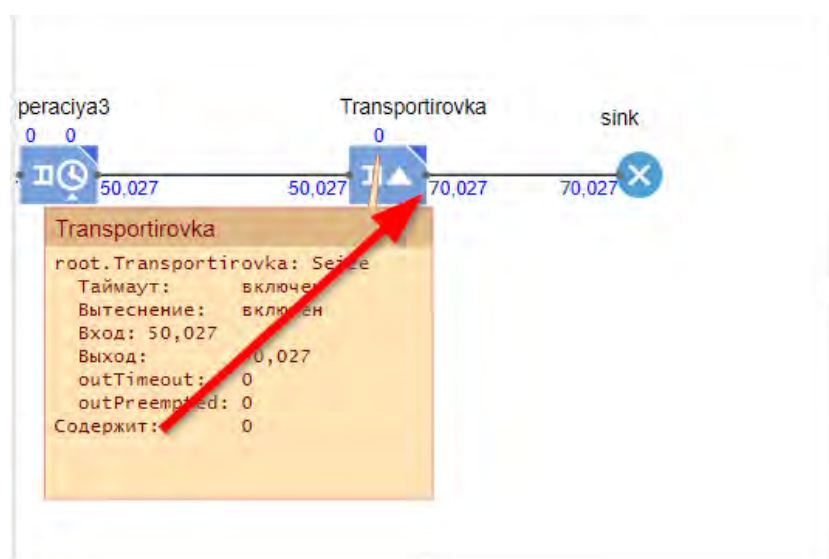


Рис. 5. Отображение статических результатов моделирования процесса по каждому блоку

Согласно результатам моделирования, как показано на рис. 5, производительность увеличилась на 20%, благодаря балансировке потока деталей в покрасочном цеху.

То есть, представленная модель позволяет в режиме реального времени учесть основные факторы для распределения нагрузки на каждый этап производства равномерно, чтобы уменьшить риск узких мест.

## Заключение

В статье была разработана имитационная модель цеха, которая позволила провести детальный анализ производственного процесса. Анализ выявил узкие места в работе цеха, которые могут быть устранены с помощью соответствующих методик по балансировке нагрузки производства, интегрированных в модель.

Результаты моделирования показали, что оптимизация производственного процесса позволяет устранить узкие места и повысить эффективность производства. Описанный подход может быть применен для оптимизации производственных процессов в различных отраслях промышленности.

## Список литературы

1. Ковалёв А. А., Краско А. С., Зуев В. В., Пирогов В. В. *Оптимизация в технологических комплексах механосборочных производств посредством имитационного моделирования компоновочно-планировочных решений в программной среде AnyLogic: учебное пособие*. М.: Издательство "Спутник +", 2021. 146 с.
2. Перевозки. Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/transportation> (дата обращения: 10.03.2023).
3. Имитационное моделирование. [Электронный ресурс] // AnyLogic: [сайт]. Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation> (дата обращения: 20.11.2022).
4. Селецкая А. С. Моделирование бизнес-процессов: подходы, методы, этапы // *Молодой ученый*. 2018. № 9 (195), с.95-96. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/195/48573/> (дата обращения: 11.03.2023).

## Solving production load balancing problems in the Anylogic environment

***Khisamutdinova, G. A.<sup>1,2,\*</sup>, Sannikov, I. A.<sup>2</sup>***

*\*[guzelgalieva06@gmail.com](mailto:guzelgalieva06@gmail.com)*

<sup>1</sup>Branch of PJSC "I" - AviaStar, Ulyanovsk, Russia

<sup>2</sup>Ulyanovsk State University, Russia

The problem of balancing the load of the production of aircraft parts is considered on the example of a mechanical-frame shop using simulation modeling in the AnyLogic environment to analyze and find bottlenecks.

**Keywords:** detail flow, simulation, parts flow balancing, AnyLogic