

УДК 658.5.012.1

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВ ЦЕХОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ANYLOGIC

**М. В. Жаров**, к.т.н., доцент, доцент кафедры ТиСАПРМП НИУ МАИ; Москва, Россия;  
orcid.org/0000-0002-2962-0452, e-mail: MaximZharov@mail.ru

*Исследуются возможности применения технологии имитационного моделирования производственной среды с помощью программного комплекса AnyLogic на предприятиях приборостроительных и машиностроительных производств. Анализируются возможности применения имитационного моделирования технологических процессов приборостроения для решения производственных задач. Приводится пример решения оптимизационной задачи для выявления организационных проблем и улучшения работы цеха механической обработки. **Целью работы** является определение перспектив использования имитационного моделирования в среде AnyLogic при проведении оптимизационных процессов, при определении оптимального количества производственного оборудования, определении действительной загрузки оборудования, определении эффективности использования площади цеха и решении логистических проблем производства на современных предприятиях машиностроения.*

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, модель производства, материальный поток, моделирование движения полуфабрикатов, коэффициент загрузки оборудования, производственная логистика, производственная среда, приборостроение, цеха приборостроения, оптимизация производственных процессов.

**DOI:** 10.21667/1995-4565-2020-71-151-161

### Введение

Производственный процесс изготовления детали представляет собой довольно сложную систему, состоящую из большого множества отдельных элементов, связей, отношений, взаимозависимых объектов. Кроме того, влияние на производственный процесс оказывают и отношения, возникающие в процессе производственной деятельности. К ним относятся отношения между производственными участками, между участками и складскими службами, между производственными участками и транспортной системой цеха [1, 2]. При проектировании реального производственного процесса помимо разработки технологических операций важно также рассматривать организационные и логистические мероприятия, от которых в определенной степени зависят производительность производства и как следствие экономическая эффективность технологического процесса. Довольно важными с точки зрения экономической эффективности производства являются вопросы загрузки производственного оборудования, рационального размещения оборудования, участков и производств, минимизации времени на транспортировку полуфабрикатов по участкам, на которых осуществляются операции технологического процесса, количества изделий в очереди на ожидание обработки, времени ожидания на обработку по операциям технологического процесса, временных оценок полного производственного цикла, величины партий деталей, заделов деталей и комплектующих, вместимости складских помещений и т.д. Оптимизация данных вопросов с целью повышения эффективности производства довольно актуальна при разработке планов реорганизации цехов машиностроения, при создании новых производств, при модернизации оборудования, расширении номенклатуры выпускаемой продукции, при наращивании объемов производства. Отдельно необходимо отметить актуальность рационального решения

поставленных задач для производств с быстро меняющимся ассортиментом продукции, выпуском продукции небольшими партиями или сериями [3].

В настоящее время в связи с развитием компьютерной техники и информационных технологий наиболее востребованным инструментом для решения вопросов оптимизации производства становится имитационное моделирование. Имитационное моделирование представляет собой процесс замены какого-либо явления, процесса или объекта его математической моделью, причем все дальнейшие операции в рамках имитационного моделирования производятся именно с математической моделью. По своей сути имитационное моделирование представляет собой метод исследования объекта, явления или процесса, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему, с которой проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе [3, 4].

### **Краткий обзор рынка систем имитационного моделирования**

Известно, что имитационное моделирование предоставляет пользователю целый ряд важных преимуществ:

- используя имитационное моделирование, можно рассматривать поведение исследуемой производственной системы в различные промежутки времени (день, месяц, год), что позволяет оценить не только текущее поведение системы, но и перспективы ее развития в дальнейшем;

- известно, что стоимость устранения реальных ошибок всегда выше, чем виртуальных. Система моделирования производственных процессов направлена на сокращение рисков и затрат финансовых ресурсов за счет имитационной проверки особенностей производственных процессов, превентивного выявления «узких» мест и проблем в производстве, направлена на исследование эффективности использования оборудования и производственных площадей;

- имитационное моделирование позволяет рассматривать огромное количество вариантов поведения производства в условиях изменяющихся внешних и внутренних факторов. Это позволит выявлять, какие факторы являются определяющими в поведении исследуемой производственной системы;

- посредством технологии имитационного моделирования можно экспериментировать над различными производственными и организационными проектами, не используя материальные ресурсы для их реализации;

- проведение экспериментов с использованием модели избавляет от необходимости проведения экспериментов в реальной жизни и не мешает работе производства [4, 5, 6].

Понятно, что имитационное моделирование помогает сэкономить временные и финансовые ресурсы, затрачиваемые на подготовку реального производства. Кроме того, ценность принятых решений в производственной сфере возрастает с уменьшением временных затрат на принятие этих решений. Поэтому имитационное моделирование является эффективным инструментом для решения широкого круга производственных задач [3].

В настоящее время на отечественном рынке прикладных программных продуктов представлено большое количество систем имитационного моделирования производственных процессов. Наиболее распространенными и востребованными являются следующие системы: Arena Rockwell Soft, AnyLogic, Simio, Simul, Repast, NetLogo, FlexSim, Ponodel [3].

Довольно условно среди всех программ имитационного моделирования можно выделить два класса систем:

1. Проблемно-ориентированные системы, предназначенные для имитационного моделирования объектов любой физической природы. К ним можно отнести

- Simulation Software (GPSS World) компании Minuteman Software Corp., США;
- Arena Rockwell Soft компании Arena Rockwell Automation Inc., Wexford, PA, США;
- AnyLogic производства ООО «Экс Джей Текнолоджис» (XJ Technologies), РФ.

2. Программные средства имитационного моделирования процессов жизненного цикла машиностроительной продукции, интегрированные в среду PLM (Product Lifecycle Mana-

gemen), а именно систем управления жизненным циклом изделия. Ко второму классу программ можно отнести:

- eM-Plant (Tecnomatix Plant Simulation Tool) компании Siemens AG, Германия;
- Deneb/Quest компании BNP Deneb Pty Ltd., Австралия. Deneb/Quest входит составной частью в пакет решений для моделирования процессов производства платформы V5 под брендом DELMIA компании Dassault Systemes (Франция) [6, 7, 8].

Определенный интерес вызывает отечественная система имитационного моделирования производственных процессов AnyLogic. Данная система не уступает зарубежным аналогам. В частности, по утверждению производителя система позволяет моделировать процессы и решать проблемы в области следующих производственных и логистических направлений:

- планирование производства;
- проектирование производственных помещений и планирование производительности;
- совершенствование процессов, анализ слабых мест;
- оптимизация производственного цикла;
- оптимизация ресурсов: персонала и оборудования;
- планирование запасов (незавершенное производство и сырье) [9, 10, 11].

Программная среда известна и активно используется российскими предприятиями, в том числе предприятиями машиностроительного и металлургического профиля. Среди пользователей программы AnyLogic такие крупные и известные предприятия, как Новолипецкий металлургический комбинат, Мечел, Русал, Северсталь, Объединенная металлургическая компания, Норильский никель, Ульяновский завод промышленной арматуры и т.д. [11].

Применительно к металлургическому производству известно, что при помощи прикладного программного обеспечения имитационного плана AnyLogic была создана имитационная модель электросталеплавильного цеха АО «Челябинский металлургический комбинат», входящего в группу предприятий компании «Мечел». Разработанный проект имитационной модели производства стал первым для АО «Челябинский металлургический комбинат» и одним из первых в металлургической отрасли Российской Федерации.

Разработанная имитационная модель представляла собой Java-приложение, точно и наглядно воспроизводящее полноценную работу рассматриваемого электросталеплавильного цеха на протяжении различных временных периодов. В модели предоставлена возможность моделирования и анализа работы электросталеплавильного цеха в пределах временного интервала от 12 часов до одного календарного года. Модель учитывает планируемую инфраструктуру цеха, конфигурацию оборудования и все значимые параметры происходящих в цеху процессов. Выработанные в ходе эксперимента с моделью данные представлены в отчетах о производстве стали, простоях агрегатов, анализе коэффициента загрузки оборудования, трудоемкости выполнения процессов и т.д. [11].

Таким образом, возможно использование российской системы имитационного моделирования AnyLogic для построения моделей и российского машиностроительного производства с учетом его особенностей в виде наличия маршрутно-операционной технологии, так как применение этой системы для моделирования металлургического производства дало эффективные результаты.

### **Постановка задачи и проведение имитационного моделирования**

Поставлена задача оптимизации работы цеха механической обработки конкретного производственного предприятия. Для реализации поставленной цели необходимо, с одной стороны, получить сведения о площади производственных и вспомогательных помещений цеха; получить данные о количестве участков и имеющемся в цехе оборудовании, а с другой – на основании проведенного моделирования технологических процессов в программной среде AnyLogic определить фактически необходимую площадь для реализации техпроцесса и выявить нерационально используемые площади; провести анализ загруженности каждого вида оборудования; получить численные данные производительности цеха за рабочую смену, а

также оценить время изготовления партий деталей с различными маршрутными картами; на основании данных экспериментов составить план-проект реорганизации цеха, включающий в себя корректирование расстановки оборудования, корректирование партий деталей, регулирование сроков обработки партий деталей, внедрение оперативной системы транспортировки заготовок и полуфабрикатов. Для реализации поставленной задачи был выполнен целый комплекс работ, который условно можно разбить на основные этапы имитационного моделирования в среде программного комплекса AnyLogic.

### Этап 1. Создание имитационной модели

В рамках данного этапа была подготовлена планировка реального цеха в графической системе AutoCad. Планировка выполнялась в масштабе с учетом реальной расстановки действующего оборудования и расстояний материальных потоков (рисунок 1). Рассматриваемый цех имеет площадь 3 964 м<sup>2</sup>, рассчитан примерно на 100 единиц производственного оборудования и предусматривает функционирование следующих участков: заготовительного, токарного, прессового, слесарного, фрезерного, сварочного и участка автоматов. Помимо рабочих участков предусмотрены служебные и вспомогательные помещения. Также в графической системе AutoCad создается визуальная модель движения полуфабрикатов по схеме технологического процесса (рисунок 2).

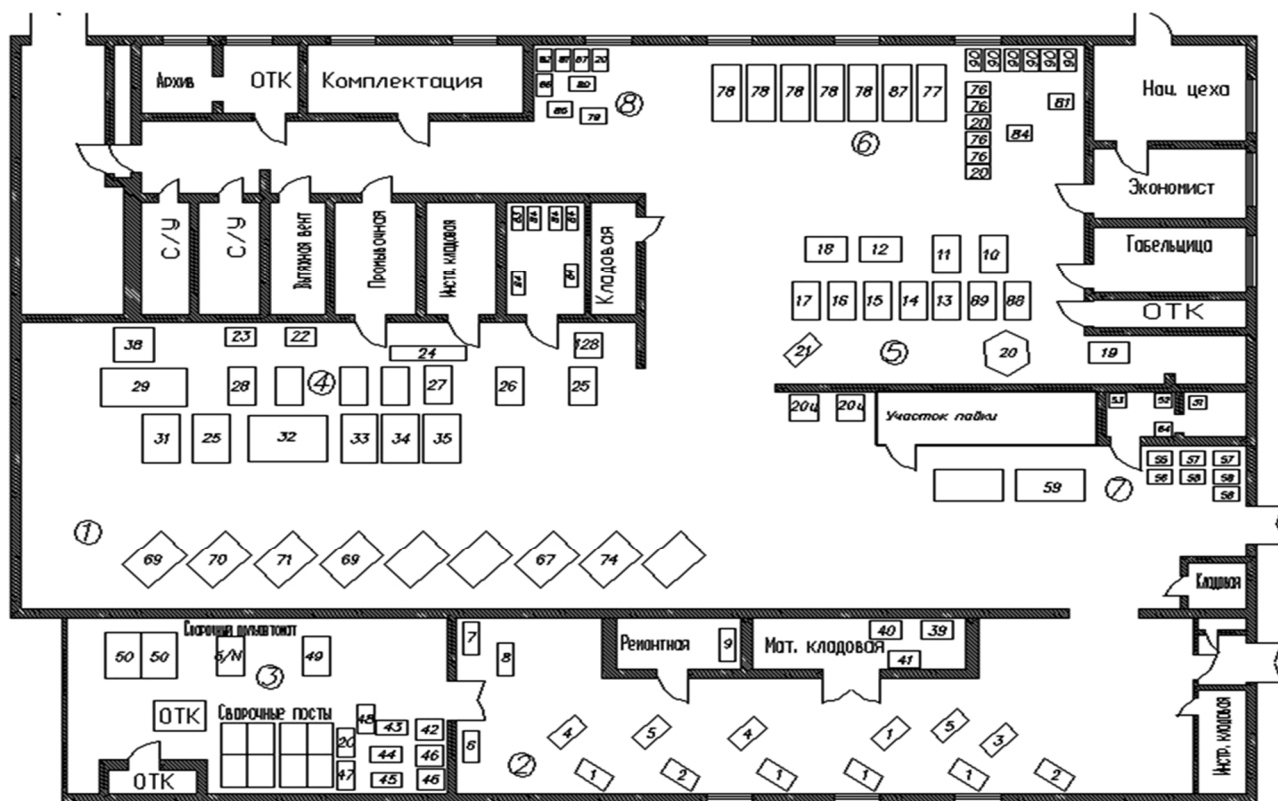


Рисунок 1 – Схема расположения участков цеха механической обработки:

- 1 – токарный участок; 2 – участок автоматов; 3 – сварочный участок;  
4 – прессовый участок № 1; 5 – прессовый участок № 2; 6 – слесарный участок;  
7 – фрезерный участок; 8 – заготовительный участок

Figure 1 – Layout of sections of the machining workshop: 1 – turning section;

- 2 – section of automatic machines; 3 – welding section; 4 – press section No. 1; 5 – press section no. 2;  
6 – locksmith section; 7 – milling section; 8 – procurement site

Важным является тот факт, что в данном случае указывается не только очередность прохождения участков согласно технологической схеме производства, но и идет привязка к конкретной единице оборудования, указываются места хранения производственных запасов перед каждой операцией, определяется очередность хранения изделий на обработку перед операциями технологического процесса. После создания структуры системы обработки ее эле-

менты объединяются в группу и накладываются на схему участков цеха (рисунок 3). Совмещенная схема может использоваться для наглядности перемещения партий полуфабрикатов в процессе имитационного моделирования.

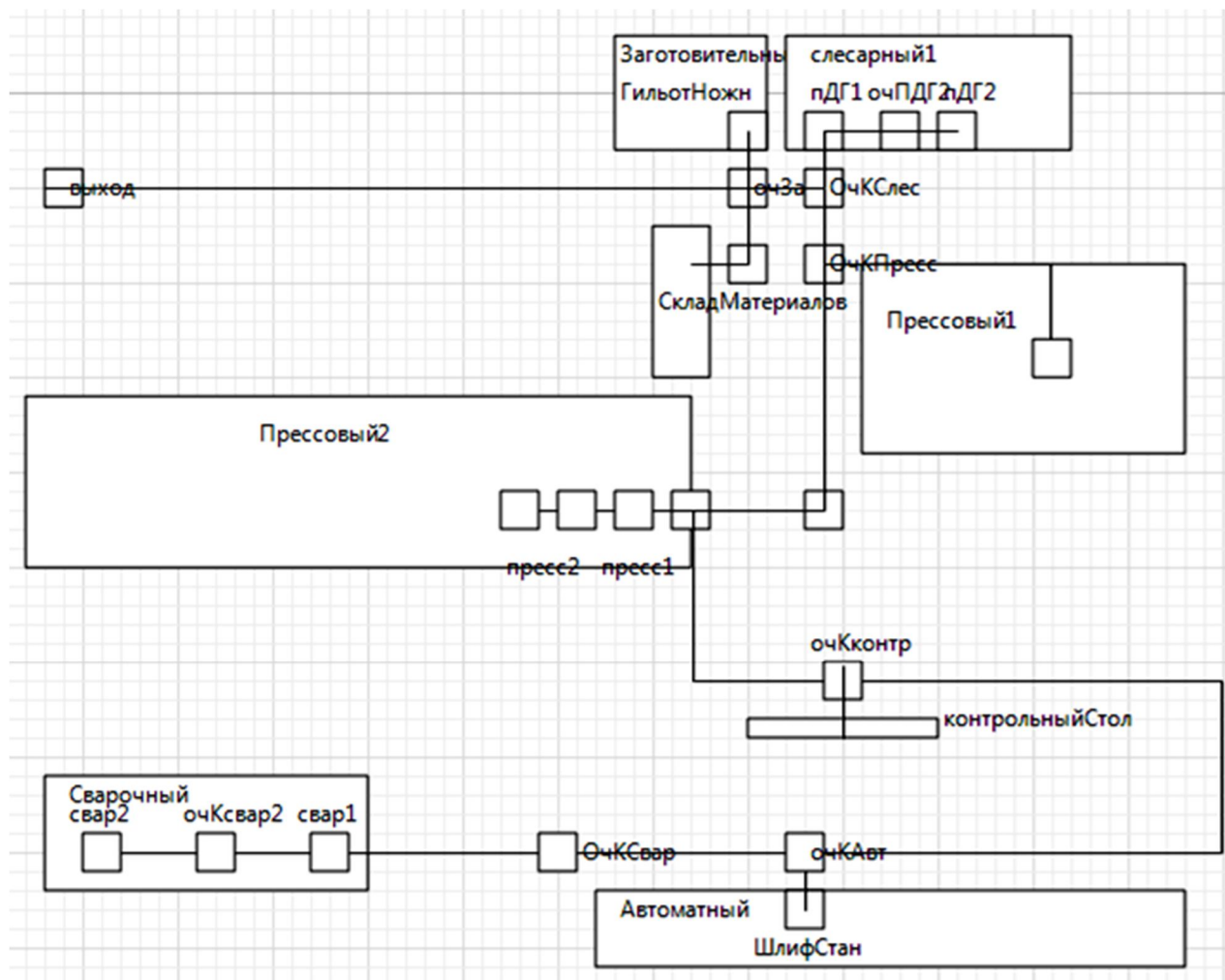


Рисунок 2 – Внешний вид структуры системы обработки деталей в соответствии с технологической схемой производства в системе AnyLogic

Figure 2 – Appearance of the structure of the part processing system in accordance with the production flow chart in the AnyLogic system

После создания структуры системы обработки ее элементы объединяются в группу и накладываются на схему участков цеха (рисунок 3). Совмещенная схема может использоваться для наглядности перемещения партий полуфабрикатов в процессе имитационного моделирования. Схема технологического процесса изготовления детали-представителя, созданная с помощью библиотеки Enterprise Library системы AnyLogic, представлена на рисунке 4.

### Этап 2. Моделирование производственного процесса

На данном этапе необходимо ввести время обработки детали на каждой операции (включая подготовительное время), которое берут из маршрутной карты и которое соответствует штучно-калькуляционной норме выполнения технологической операции на конкретном оборудовании, ввести особенности транспортировки, размер партий полуфабрикатов, вес полуфабрикатов, геометрические параметры полуфабрикатов.

Перед запуском необходимо произвести настройку условий эксперимента моделирования, установив следующие показатели:

- модельное время – минуты;
- время остановки модели не задано;
- подача заявок – произвольная.

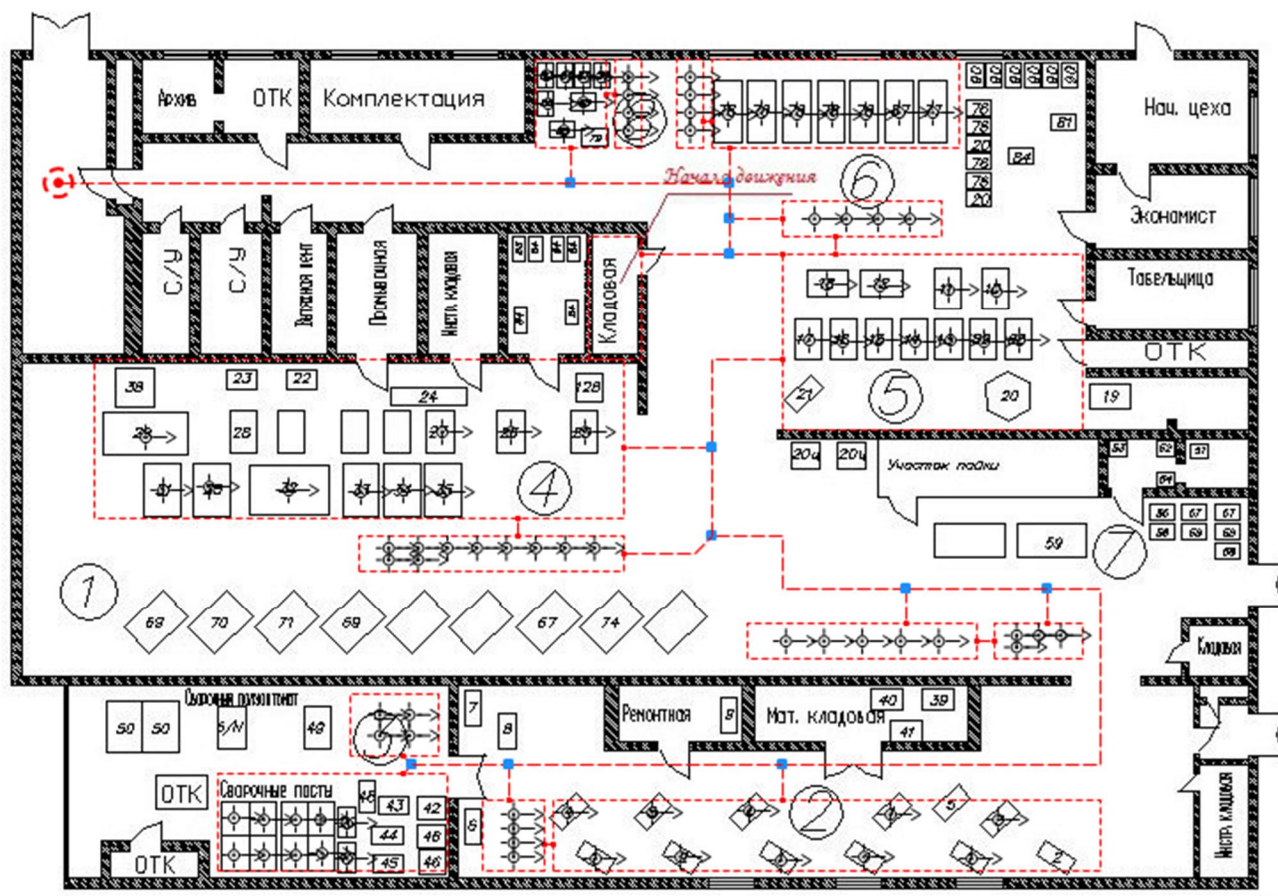


Рисунок 3 – Внешний вид визуальной модели  
в программе имитационного моделирования AnyLogic  
Figure 3 – The appearance of the visual model in AnyLogic simulation modeling program

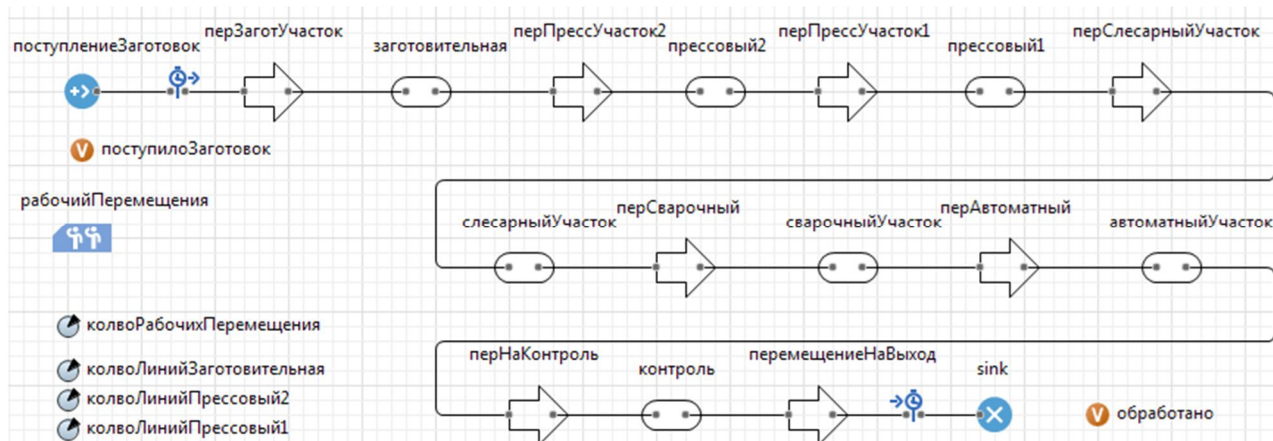


Рисунок 4 – Схема составленной имитационной модели процесса обработки детали-представителя в среде имитационного моделирования AnyLogic  
Figure 4 – Diagram of the compiled simulation model of the processing of the representative part in the AnyLogic simulation environment

При выполнении имитационного моделирования визуально отображается движение полуфабрикатов по территории цеха. Модельное время выполнения операций совпадает с заданным. Для ускорения наблюдения можно увеличивать скорости течения времени в заданном диапазоне. Во время всех операций внизу экрана отображается модельное время. При наблюдении за модельным временем можно проследить временные интервалы между этапами обработки заготовки. В качестве результата моделирования работы цеха до оптимизации получены численные данные по времени движения заготовок внутри цеха (рисунок 5).

Для определения закономерностей логистических потоков в цехе было проведено порядка 10 вариантов моделирования процесса. В результате моделирования выявлены определенные проблемы, подтверждающиеся реальными особенностями протекания технологических процессов:

- коэффициент загрузки ряда единиц производственного оборудования ниже рекомендуемых значений;
- определена несинхронность работы оборудования, на определённом этапе в очереди на обработку скапливались недопустимо большие запасы полуфабрикатов;
- выявлено недопустимо большие потери времени на транспортировку партии изделий между операциями технологического процесса, которые определяются небольшой величиной партий деталей;
- выявлена возможность переноса ряда работ на аналогичное оборудование, что высвобождает несколько единиц оборудования для осуществления обработки других видов изделий.

Таким образом, на основе проведенного имитационного моделирования были выявлены все логистические проблемы при производстве всего ассортимента изделий, производимых цехом.

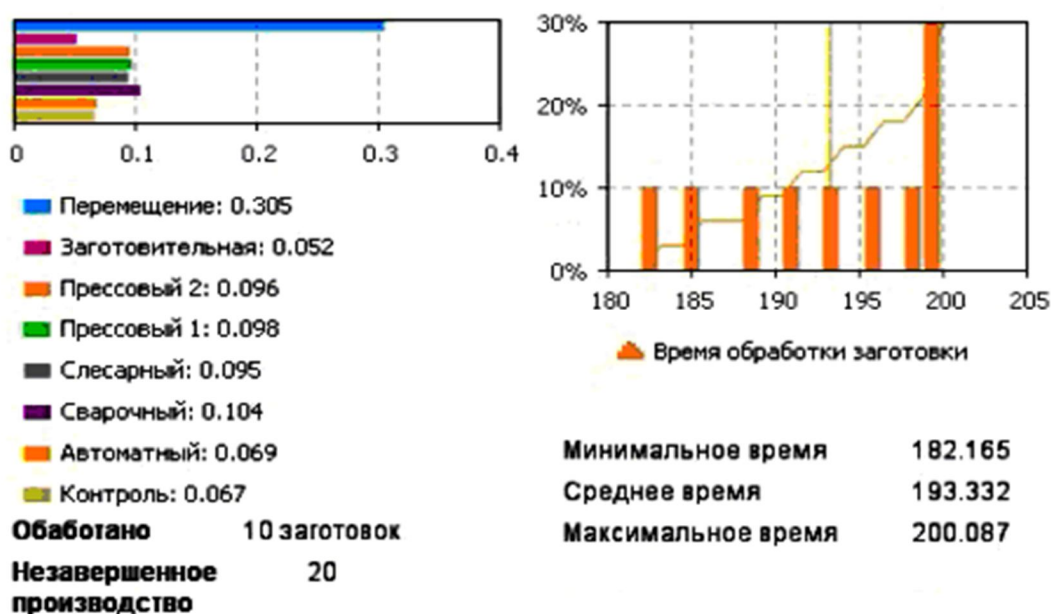


Рисунок 5 – Отображение модельного времени при выполнении операций технологического процесса в среде имитационного моделирования AnyLogic  
Figure 5 – Image of model time when performing operations of the technological process in the simulation environment AnyLogic

### Этап 3. Оптимизация производственного процесса

Поставленную задачу можно сформулировать следующим образом: для заданной номенклатуры деталей определяются состав оборудования и организация производства, при использовании которых обеспечивается максимальная эффективность обработки [13, 14].

Для повышения экономического эффекта от производства изделий проводилось моделирование с целью получения лучших вариантов организации технологического процесса. При этом формировалась следующая постановка задачи оптимизационного эксперимента:

На участок цеха подаются детали с интервалом времени, который соответствует экспоненциальному закону распределения с интенсивностью  $\lambda = 1$ .

Обработка деталей выполняется с интенсивностью  $\mu$ , которая задаётся согласно штучно-калькуляционным нормам обработки детали по типовому технологическому процессу и также учитывает штучное время, заданное на перемещение заготовок между этапами обработки.

На участке работает  $N$  станков, численное значение  $N$  изменяется для каждого участка согласно планировке цеха в интервале от 1 до 15.

Проведение оптимизационного эксперимента позволяет вычислить необходимое количество станков на участках исследуемого цеха. В ходе решения оптимизационной задачи проведено 500 вариантов моделирования, которые показали, что для осуществления типового технологического процесса достаточно 15 единиц оборудования вместо установленных 20. Таким образом, требуемое количество парка оборудования возможно сократить на 25 %, даже если оставшееся оборудование будет той же мощности – оно будет иметь больший коэффициент загрузки. Процесс моделирования, а также оценка временных затрат на выполнение операций технологического процесса представлены на рисунке 6.

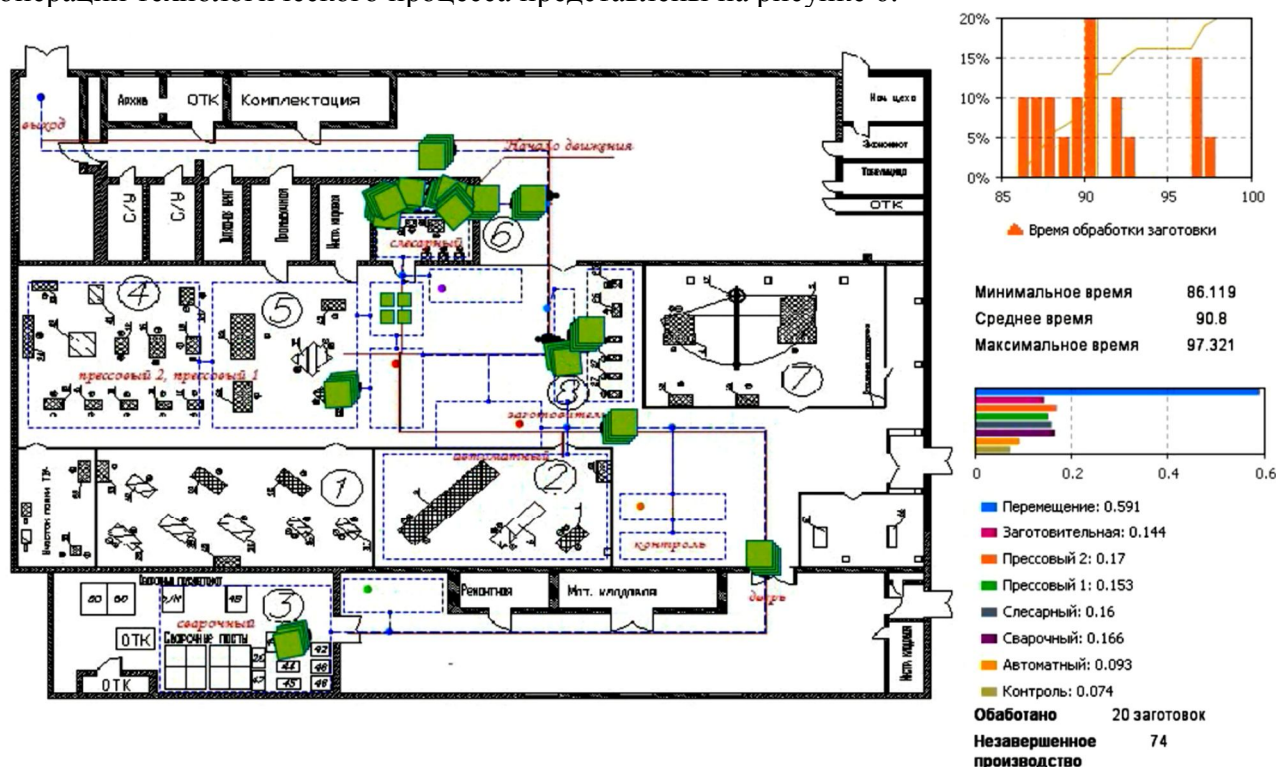


Рисунок 6 – Имитационное моделирование оптимизационного процесса  
 Figure 6 – Simulation of the optimization process

Поведенное моделирование системы функционирования цеха механической обработки позволит получить структуру рациональной и оптимальной организации производства, что позволит в будущем не только снизить расходы моделируемого цеха, но и увеличить его производительность, более рационально использовать площади цеха, повысить коэффициент загрузки оборудования. При разработке сложных технологических процессов изготовление деталей требует различных операций на различном по производительности оборудовании. Ввиду различной производительности необходимо каким то образом синхронизировать работу оборудования, управляя его количеством, загрузкой другими изделиями и т.д., для того чтобы исключить простои оборудования или чтобы избежать запредельной загрузки оборудования.

### Выводы по работе

В результате проведенного комплекса работ определены возможности использования имитационного моделирования в программной среде AnyLogic для оптимизации машиностроительных производств. Оно не только позволяет выявлять недостатки действующего производственного процесса с точки зрения производственной логистики, но и направлено на решение целого ряда производственных задач. Рассмотрение моделей позволило оценить: загруженность станков, среднюю продолжительность пребывания деталей в производственном процессе, среднее число деталей в очереди, прибыль и убытки при реализации производственного процесса. Можно сделать выводы о том, что технология имитационного моде-

лирования в среде AnyLogic может быть использована предприятиями машиностроительной отрасли, в том числе предприятиями приборостроения, для решения производственных задач в области оптимизации производственных процессов.

Экспериментирование с имитационной моделью, в том числе в программной среде AnyLogic, может позволить значительно снизить издержки на этапе различных преобразований и реконструкций, а также точно определить производственные мощности нового производства при различных условиях: серийности производства, при установке нового оборудования, при изменении серийности и объемов партий, при уменьшении или увеличении количества производственного оборудования, что крайне актуально для современных предприятий машиностроения с быстро сменяемым ассортиментом выпускаемой продукции.

#### Библиографический список

1. **Антонов А. Н., Морозова Л. С.** Основы современной организации производства: учеб. пособие для вузов. М.: Дело и сервис, 2008. – 432 с.
2. **Свищёв В. И.** Оптимизация технологических процессов механической обработки: учеб. пособие. Пермь: Издательство Пермского государственного технологического университета, 2006. – 116 с.
3. **Капустин Н. М.** САПР технологических процессов. М.: Издательство ВЗПИ, 1992. – 287 с.
4. **Ревина И. В., Бояркин Г. Н.** Имитационное моделирование производственного процесса изготовления деталей // Омский научный вестник. 2018. № 6 (162). – С. 230-234.
5. **Ротер М., Шук Дж.** Учитесь видеть бизнес-процессы. Практика построения карт потоков создания ценности: пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс: CBSD, Центр развития деловых навыков, 2005. – 144 с.
6. **Nyemba W. R.** Modelling, simulation and optimization of the materials flow of a multi-product assembling plan. Procedia Manufacturing. 2017, vol. 8. pp. 59-66.
7. **Кабанов А. А.** Имитационное моделирование в производстве авиационных и ракетно-космических систем. Что предшествует эксперименту? Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 65 Режим доступа – <https://www.mai.ru/science/trudy/>
8. **AnyLogic.** Справочное руководство по Enterprise Library / XJ Technologies Company Ltd. Technologies, 2004. – 134 с.
9. **Алешина Е. Е., Саломатина А. А., Яблочников Е. И.** Создание имитационной модели сборочной линии с использованием системы DELMIA // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2011. № 1 (71). С. 50-53.
10. **Kelton W. D., Sadowsky R. P., Sturrock D. T.** Simulation with Arena. 3 rd ed., NY: The McGraw-Hill Companies, 2010. 658 p.
11. Официальный сайт компании-производителя программного продукта AnyLogic. Режим доступа – <https://www.anylogic.ru/resources/>.
12. **Васимова И. Н., Садковская Н. Е., Садковский Б. П., Жаров М. В.** Оптимизация производственных процессов с помощью моделирования в программной среде AnyLogic на предприятиях авиационной и ракетно-космической отрасли // Научно-технический журнал «Наукоемкие технологии». Издательство «Радиотехника». 2018. № 6. С. 18-24.
13. **Кокарева В. В., Смелов В. Г., Шитарев И. Л.** Имитационное моделирование производственных процессов в рамках концепции «бережливого производства» // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2012. № 3 (34). – С. 131-136.
14. **Строгалева В. П., Толкачева И. О.** Имитационное моделирование. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. С. 737.

UDC 658.5.012.1

## OPTIMIZATION MODELLING FOR ORGANIZATION OF PRODUCTION OF MECHANICAL ENGINEERING WORKSHOPS IN THE ANYLOGIC SOFTWARE ENVIRONMENT

**M. V. Zharov**, Ph.D (Tech.), associate professor, associate professor of TiSAPR MP Department of the Federal state budgetary educational institution of higher education «Moscow Aviation Institute» (National Research University), Moscow, Russia;  
orcid.org/0000-0002-2962-0452, e-mail: MaximZharov@mail.ru

*In this paper, we study the possibilities of applying the technology of production environment simulation using AnyLogic software package at the enterprises of instrument-making and machine-building industries. The possibilities of using simulation of technological processes of instrumentation to solve production problems are investigated. An example of solving optimization problem to identify organizational problems and improve the work of machining workshop is given. **The aim of the article is determining the prospects of using simulation in AnyLogic environment during optimization processes when determining the optimal amount of production equipment, determining the actual load of equipment, determining the efficiency of using workshop area and solving production logistics problems at modern engineering enterprises.***

**Key words:** simulation modeling, production model, material flow, motion simulation of semi-finished products, equipment load factor, production logistics, production environment, instrumentation, instrumentation workshops, optimization of production processes.

**DOI:** 10.21667/1995-4565-2020-71-151-161

### References

1. **Antonov A. N., Morozova L. S.** *Osnovy sovremennoj organizacii proizvodstva*: Uchebnoe posobie dlya vuzov. Moscow, Delo i servis. 2008. 432 p. (in Russian).
2. **Svirshchuyov V. I.** *Optimizaciya tekhnologicheskikh processov mekhanicheskoy obrabotki*: Uchebnoe posobie. Perm', Izdatel'stvo Permskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta, 2006. 116 p. (in Russian).
3. **Kapustin N. M.** *SAPR tekhnologicheskikh processov*. Moscow, Izdatel'stvo VZPI. 1992. 287 p. (in Russian).
4. **Revina I. V., Boyarkin G. N.** Imitacionnoe modelirovanie proizvodstvennogo processa izgotovleniya detalej. *Omskij nauchnyj vestnik*. 2018, no. 6 (162), pp. 230-234 (in Russian).
5. **Roter M., Shuk Dzh.** *Uchites' videt' biznes-processy*. Praktika postroeniya kart potokov sozdaniya cennosti. Per. s angl. Moscow, Al'pina Biznes Buks, Centr razvitiya delovyh navykov. 2005. 144 p. (in Russian).
6. **Nyemba W. R.** Modelling, simulation and optimization of the materials flow of a multi-product assembling plan. *Procedia Manufacturing*, 2017, vol. 8, pp. 59-66.
7. **Kabanov A. A.** Imitacionnoe modelirovanie v proizvodstve aviacionnyh i raketno-kosmicheskikh sistem. Chto predshestvuet eksperimentu? *Trudy MAI*, no. 65. Access mode <https://www.mai.ru/science/trudy/> (in Russian).
8. **AnyLogic**. *Spravochnoe rukovodstvo po Enterprise Library* / XJ Technologies Company Ltd. Technologies, 2004. 134 p. (in Russian).
9. **Aleshina E. E., Salomatina A. A., Yablochnikov E. I.** Sozdanie imitacionnoj modeli sborochnoj linii s ispol'zovaniem sistemy DELMIA. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta informacionnyh tekhnologij, mekhaniki i optiki*. 2011, no 1 (71), pp. 50-53 (in Russian).
10. **Kelton W. D., Sadowsky R. P., Sturrock D. T.** *Simulation with Arena*. 3rd ed., NY, The McGraw-Hill Companies. 2010, 658 p.
11. *Official website of AnyLogic software product manufacturer*. Access mode – <https://www.anylogic.ru/resources/> (in Russian).

12. **Vasimova I. N., Sadkovskaya N. E., Sadkovskij B. P., Zharov M. V.** Optimizaciya proizvodstvennyh processov s pomoshch'yu modelirovaniya v programmnoj srede AnyLogic na predpriyatiyah aviacionnoj i raketno-kosmicheskoy otrasli. *Naukoemkie tekhnologii*. 2018, no 6, pp. 18-24 (in Russian).

13. **Kokareva V. V., Smelov V. G., Shitarev I. L.** Imitacionnoe modelirovanie proizvodstvennyh processov v ramkah koncepcii «berezhlivogo proizvodstva». *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aero-kosmicheskogo universiteta*. 2012, no. 3 (34), pp. 131-136 (in Russian).

14. **Strogalev V. P., Tolkacheva I. O.** *Imitacionnoe modelirovanie*. Moscow, MGTU im. N.E. Bauma-na, 2008, pp. 737. (in Russian).