

УДК: 681.3.06

Имитационное моделирование производства деталей из полимерных композиционных материалов

М. И. Чижов^a, Ю. С. Скрипченко^b, П. Ю. Гусев^c

Воронежский государственный технический университет,
Россия, 394026, г. Воронеж, Московский проспект, д. 14, учебный корпус № 1

E-mail: ^a mihailc@list.ru, ^b skripch@yandex.ru, ^c gusevpvl@gmail.com

Получено 21 февраля 2014 г.

Рассматривается имитационное моделирование цеха по производству деталей из полимерных композиционных материалов. Описывается технология изготовления деталей и на ее основе разрабатывается теоретическая событийная модель производства. По разработанной теоретической событийной модели производства создается компьютерная имитационная модель в программном средстве имитационного моделирования Tecnomatix Plant Simulation. Проведен анализ созданной имитационной модели. Учитывая найденные узкие места, создана новая имитационная модель, отвечающая поставленным требованиям. Получены результаты, на основании которых составлены практические рекомендации по увеличению количества выпускаемых деталей.

Ключевые слова: имитационное моделирование, машиностроение, материальные потоки, оптимизация, производственные системы

Simulation modeling of the production of parts made of polymer composites

M. I. Chizhov, Y. S. Skripchenko, P. Y. Gusev

*Voronezh Technical State University, educational building #1, 14 Moskovskii Prospekt,
Voronezh, 394026, Russia*

Abstract. — Consider the simulation workshop for production of polymer components composite materials. Describes a technique for the manufacture of parts and, based on the event model developed theoretical production. By event- developed theoretical models of production created a computer simulation model in software simulation Tecnomatix Plant Simulation. The analysis of the simulation model created. Given the bottlenecks found, a new simulation model that meets the requirements. The results obtained on the basis of which the practical recommendations to increase the number of parts produced.

Keywords: simulation, engineering, material flows, optimization, production systems

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2014, vol. 6, no. 2, pp. 245–252 (Russian).

Введение

Имитационная модель производства деталей из полимерно-композиционных материалов (ПКМ) является одним из важнейших этапов создания цифрового производства. Цифровое производство деталей из ПКМ позволяет проанализировать существующие материальные потоки, рассмотреть возможности совершенствования материально-технической базы, оптимизировать загрузку оборудования, использование рабочих площадей. Для создания имитационной компьютерной модели рассмотрено производство деталей из ПКМ.

Производство деталей из ПКМ представляет собой совокупность производственных, заготовительных, лакокрасочных участков и участков термостатирования, деятельность которых направлена на создание конечного варианта деталей самолета.

Детали самолета из ПКМ подразделяются на несколько типов и изготавливаются методом автоклавного формования. Основной принцип изготовления деталей из ПКМ заключается в выкладке клеевых препрегов и последующем формовании в автоклаве. Однако существенные различия в технологии изготовления не позволяют одновременно изготавливать детали различных типов в одном автоклаве.

Технологию изготовления деталей можно подразделить на несколько этапов, общих для всех деталей: выкладка, механическая обработка, автоклавное формование, нанесение лакокрасочного покрытия и проверочные операции. Каждый этап изготовления выполняется на отдельном участке. Каждый участок имеет свое функциональное назначение.

Важным этапом подготовки к созданию имитационной модели является сбор исходных данных. Исходные данные производства деталей содержат следующие пункты:

1. Планировка производственных площадей.
2. Размеры участков.
3. Количество технологического оборудования.
4. Количество рабочих.
5. Производственная программа выпуска деталей.

Исходные данные детали содержат следующие пункты:

1. Номер детали.
2. Номер технологического процесса.
3. Номер перехода.
4. Трудоемкость изготовления.
5. Режим термостатирования детали.
6. Материал оснастки.
7. Наименование агрегата.
8. Номер мастера, отвечающего за изготовление детали.
9. Трехмерные модели деталей.

Исходные данные оснастки содержат следующие пункты:

1. Габариты оснастки.
2. Материал изготовления оснастки.
3. Режим термостатирования. Этот параметр закреплен за оснасткой, так как без оснастки деталь не подвергается термостатированию. Режим термостатирования — это главный критерий возможности совместного формования группы деталей.
4. Номер оснастки.

Изготовление каждой детали происходит по нескольким технологическим процессам. В исходных данных содержатся технологические паспорта деталей, а также директивные технологические процессы изготовления, упрощающие разработку и реализацию математической модели производства деталей. Каждый переход в технологическом процессе характеризуется трудоемкостью, измеряемой в норма-часах.

События имитационной модели

Для создания имитационной модели использовалось программное средство имитационного моделирования Tecnomatix Plant Simulation компании Siemens PLM Software. При моделировании в Tecnomatix Plant Simulation нет необходимости разделять все события на типы и рассматривать их отдельно. Выделение основных типов событий помогает рационально создавать связи в имитационной модели. Также эти события будет полезно выделить ввиду того, что Tecnomatix Plant Simulation позволяет перейти к дискретно-событийному моделированию [Лоу, Кельтон, 2004]. Основными типами событий в имитационной модели являются следующие:

1. Поступление. Название события не отражает суть процесса в реальном производстве, так как производство детали начинается с поступления и очистки оснастки. Но для имитационной модели эта неточность допустима.
2. Обработка. Это событие подразумевает выкладку детали, механическую обработку, проверку на непрочлей, нанесения лакокрасочного покрытия.
3. Термостатирование. Событие автоклавного формования детали.
4. Приемочный контроль.
5. Уход. Отправка детали на хранение.
6. Завершение моделирования.

Для создания имитационной модели действующего производства достаточно выделения этих пяти типов событий.

На рисунке 1 показано представление событий имитационной модели производства деталей из ПКМ в виде графов. При поступлении требования можно запланировать операции обработки. После обработки возможно планирование операций термостатирования и ухода детали.

После события поступления можно рассчитать, когда освободится рабочее место, и запланировать следующее поступление. Событие обработки объединяет несколько операций производства детали, поэтому можно запланировать следующее событие обработки.

Время моделирования составляет 365 дней. Это событие независимо от других событий имитационной модели.

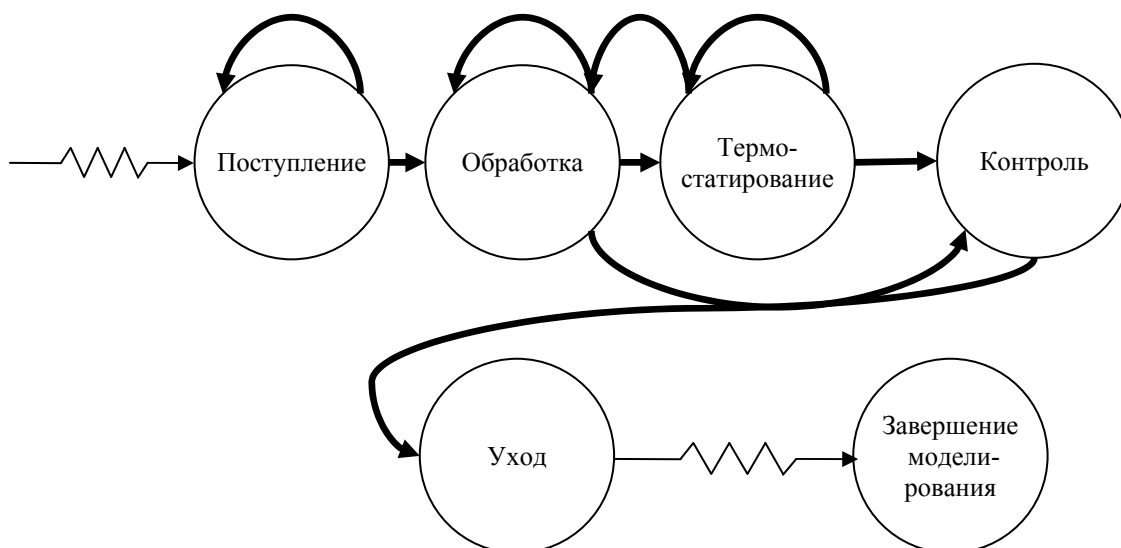


Рис. 1. Дискретно-событийная модель производства деталей из ПКМ

Структура имитационной модели

Перед созданием имитационной модели необходимо разработать общие принципы построения модели и взаимосвязи ее элементов. В правильно организованной модели изменение

исходных данных или добавление новых параметров не влечет за собой перестроение части модели, затрагиваемой этими изменениями.

Имитационная модель имеет иерархическую структуру, где в имитационных прогонах участвуют потомки объектов родителей. При этом сами родительские объекты остаются неизменными, и изменения имитационных прогонов не влияют на последующие эксперименты с моделью.

Верхний уровень модели заполняется имитациями моделей участков. Каждая модель участка является потомком определенного объекта. Такой подход создает гибкую модель, способную перестраиваться под требования пользователя. Имитации оборудования также являются потомками объектов оборудования.

Структурная организация модели должна максимально точно повторять организацию производства деталей из ПКМ. Для достижения этой цели необходимо разделить модель на иерархические уровни. Эти уровни будут повторять организационное устройство производства: участок — рабочий, рабочее место, оборудование. Схема иерархической модели, применяемой в построении имитационной модели, изображена на рисунке 2.

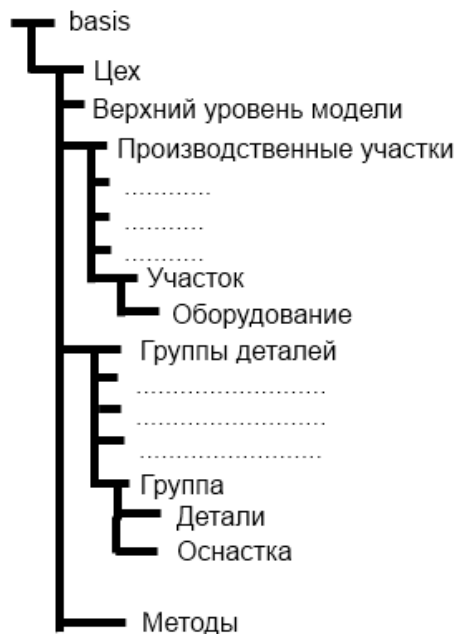


Рис. 2. Структурная схема имитационной модели

Верхний уровень модели представляет имитацию производства деталей из ПКМ. Этот уровень содержит объекты, имитирующие производственные участки. Также на верхнем уровне отображаются связи между участками. Эти связи представляют материальные потоки производства.

Имитации производственных участков составляют второй уровень имитационной модели. Все имитационные участки, кроме имитаций участков выкладки, представляют собой объекты и выполняют имитаций тех же действий, что и реальные участки. Участки выкладки в имитационной модели разделяются по мастерам, а не по территориальной принадлежности. Связи между имитациями участков определяются на верхнем уровне имитационной модели.

Третий уровень модели представлен объектами, находящимися на участках. На третьем уровне происходит имитация обработки детали.

Каждый участок определенного вида обрабатывает заранее известные группы деталей. Участки механической обработки могут обрабатывать группы деталей, поступающие с разных участков выкладки и термостатирования. Участки термостатирования могут принимать любые группы деталей.

Создание имитационной модели

В модели присутствует по одной имитации участков проверки на непрочлей и нанесения лакокрасочного материала.

Для организации имитационных участков разработана древовидная структура. Она содержит набор вложенных каталогов, хранящих объекты. Объекты определяют работу имитации оборудования, имитации материальных потоков производства, имитацию термостатирования деталей.

На верхнем уровне имитационной модели расположено несколько основных типов объектов:

- объекты, имитирующие производственные участки;
- объекты, управляющие имитацией и содержащие программный код;
- объекты управления материальными потоками;
- объекты, анализирующие работу имитационной модели;
- таблицы с входными и выходными значениями;
- объект, управляющий временем имитации.

На рисунке 3 показан верхний уровень модели изготовления деталей из ПКМ.

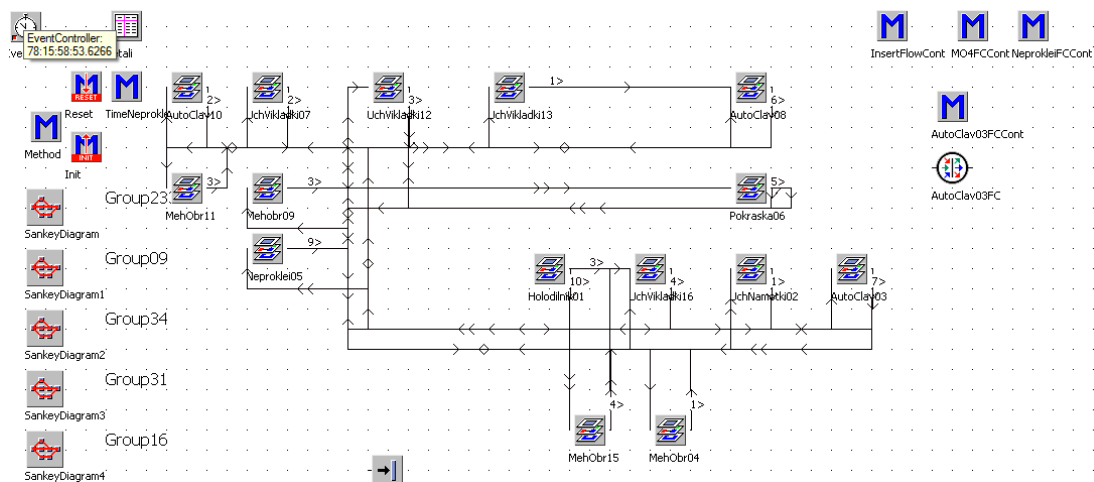


Рис. 3. Имитационная модель производства деталей из ПКМ

Верхний уровень имитационной модели производства деталей из ПКМ отображает материальные потоки производства. Меняя связи между моделями участков можно оценить возможности производства при разных исходных значениях. Все участки, расположенные на верхнем уровне имитационной модели производства, находятся на местах, определенных чертежом плана производства. Таким образом, данные, полученные при анализе загрузки материальных потоков в модели, будут достоверно отображать деятельность производства.

Каждый тип оборудования определен своим объектом [Bang Sow, 2010]. Этот объект описывает поведение имитации оборудования и содержит информацию: о способе получения времени имитации обработки детали, о порядке имитации загрузки детали на оборудование, о перемещении детали после окончания имитации обработки.

В представленной имитационной модели существует два типа таблиц. Таблицы первого типа могут применяться на нескольких участках. Например, таблица, содержащая время имитации обработки деталей, применяется в пределах участка намотки, механической обработки, проверки на непрочлей, нанесения лакокрасочного покрытия. Таблицы второго типа применяются исключительно в пределах модели участка. Таблица определения режима термостатирования детали находится в модели участка термостатирования.

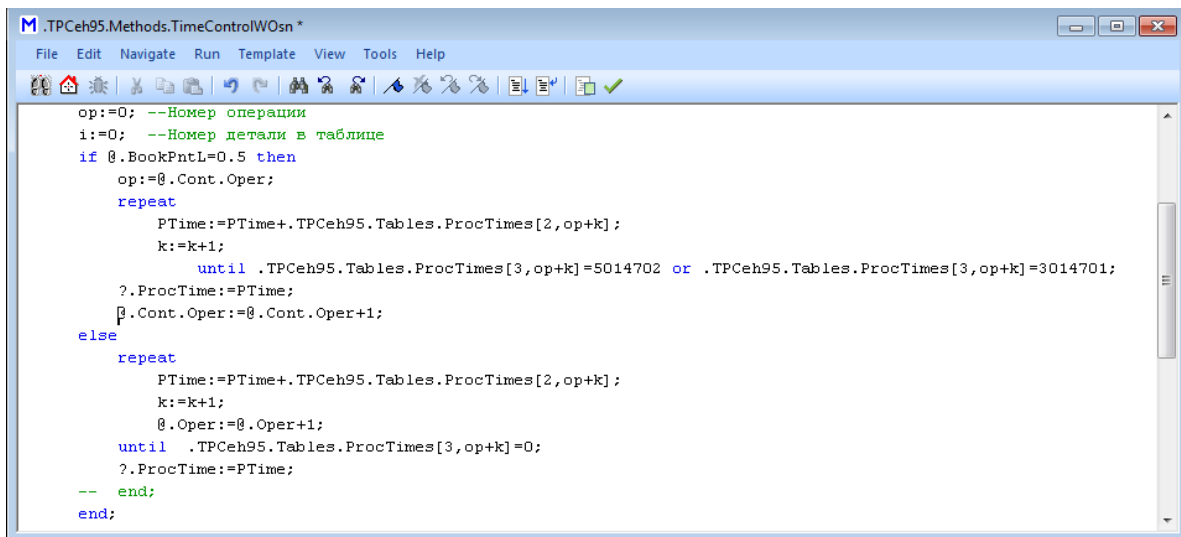
Время имитации обработки зависит от номера технологического процесса и номера перепада. Определение времени имитации процесса происходит под управлением программного

метода [Чижов, Скрипченко, Гусев, 2011a]. Программный метод, используя заданные условия и осуществляя поиск по таблице, определяет текущий технологический процесс и номер перехода детали.

Программные методы в модели делятся на две группы. К первой группе относятся методы, применяемые на нескольких участках. Вторую группу составляют программные методы, выполняющиеся в пределах одного участка и использующие информацию, находящуюся в пределах участка.

Каждая деталь на протяжении имитации обработки содержит специальный атрибут. Атрибут определяет номер операции согласно таблице. После имитации обработки на модели оборудования происходит увеличение номера атрибута на заданное значение, зависящее от разновидности операций.

На рисунке 4 приведен фрагмент программного кода метода, отвечающего за установку времени имитации обработки.



```

M.TPCeh95.Methods.TimeControlWOsn *
File Edit Navigate Run Template View Tools Help
op:=0; --Номер операции
i:=0; --Номер детали в таблице
if @.BookPntL=0.5 then
  op:=@.Cont.Oper;
  repeat
    PTime:=PTime+.TPCeh95.Tables.ProcTimes[2,op+k];
    k:=k+1;
    until .TPCeh95.Tables.ProcTimes[3,op+k]=5014702 or .TPCeh95.Tables.ProcTimes[3,op+k]=3014701;
    ?.ProcTime:=PTime;
    @.Cont.Oper:=@.Cont.Oper+1;
  else
    repeat
      PTime:=PTime+.TPCeh95.Tables.ProcTimes[2,op+k];
      k:=k+1;
      @.Oper:=@.Oper+1;
    until .TPCeh95.Tables.ProcTimes[3,op+k]=0;
    ?.ProcTime:=PTime;
  -- end;
end;

```

Рис. 4. Программный код метода определения времени имитации обработки

После того как имитация детали поступает на обработку, запускается приведенный программный метод. Метод работает по следующему алгоритму:

1. Обнуляются переменные, которые могут участвовать в выполнении других программных методов.
2. Проверяется условие: поступила деталь на обработку в оснастке или без оснастки.
3. Запись в локальную переменную «ор» номера операции, относящегося к имитации детали.
4. Запуск цикла с постусловием для получения числового значения времени обработки имитации детали. Условие остановки — обнаружение в таблице номера следующей операции.
5. Выполнение тела цикла: поиск и считывание числового значения времени из таблицы.
6. Установка времени обработки имитации детали.
7. Увеличение текущего номера операции на единицу.

Таким образом, достигается установка времени имитации обработки для каждой детали на всех типах оборудования.

Имитация перемещения детали в модели достигается за счет создания родительского объекта для каждой имитации группы деталей. В случае если деталь имеет несколько циклов термостатирования, то родительский объект создается для каждой отдельной имитации детали.

Применение родительских объектов, при создании моделей деталей, обеспечивает возможность подробного анализа материальных потоков.

На участке термостатирования происходит имитация обработки деталей в автоклаве. Цикл термостатирования деталей составляет 18 часов. Перемещения имитаций деталей на модель участка термостатирования определяет возможность загрузки деталей в автоклав.

Создан специальный метод, обеспечивающий расчет загрузки деталей в автоклав. После прибытия модели детали рассчитывается возможность загрузки деталей в автоклав 3×12 м. Если детали занимают площадь всей тележки, то осуществляется имитация загрузки автоклава.

В случае, если деталей недостаточно для автоклава 3×12 м, то осуществляется проверка возможности загрузки автоклава 3×8 м. В случае если деталей достаточно — осуществляется загрузка в автоклав 3×8 м.

На рисунке 5 изображена модель участка процесса термостатирования.

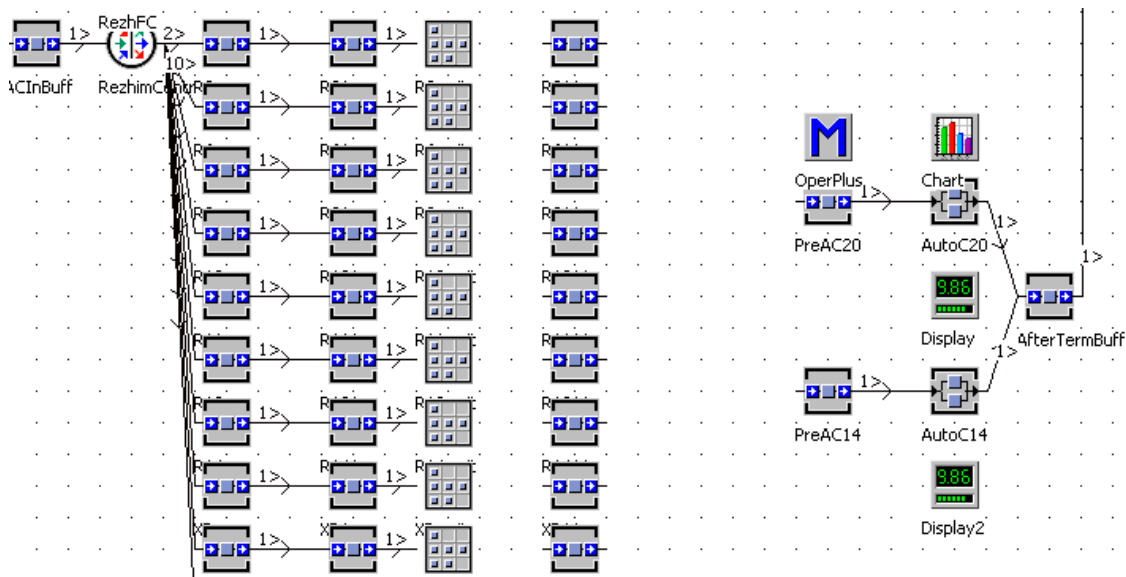


Рис. 5. Модель участка термостатирования

После окончания термостатирования происходит разделение детали на два объекта: модель детали и модель оснастки. Модели оснастки управляются объектом, контролирующим материальные потоки [Чижов, Скрипченко, Гусев, 2011b]. Осуществляется проверка на необходимость дополнительного перемещения оснастки с деталью на участок намотки. Если для детали был осуществлен последний цикл термостатирования, то происходит имитация разделения детали и оснастки. Имитируется перемещение модели детали в модель участка механической обработки согласно технологическому процессу. Имитация оснастки перемещается в модель участка намотки, где используется для изготовления следующей модели детали.

Анализ и оптимизация имитационной модели

Главной задачей производства деталей из ПКМ является выпуск максимального количества деталей в месяц. Задача анализа производства деталей заключается в определении количества выпускаемых деталей и обнаружении узких мест.

Имитационный прогон позволил определить детали, задерживающие выпуск машинокомплекта деталей.

Анализ производства деталей определил задачи оптимизации:

1. Определение требуемого количества оснастки.
2. Определение оптимального количества рабочих на участках выкладки и механической обработки.
3. Определение требуемого количества автоклавов.
4. Оптимальная загрузка автоклавов.

Первая задача по определению необходимого количества оснастки представляет собой математическую задачу по определению количественных показателей. Проведение имитационного эксперимента позволило определить оптимальное количество оснастки.

Уменьшение необходимого количества оснастки возможно за счет увеличения месячного фонда времени, в частности за счет введения двухсменного режима.

Уменьшение очереди деталей на участках выкладки и механической обработки возможно за счет увеличения числа рабочих на этих участках. Для определения оптимального количества рабочих проведен имитационный эксперимент.

Оптимальная загрузка рабочих достигается за счет введения специализации. Рабочие подразделяются на работников участков выкладки и работников участков механической обработки. Согласно исходной трудоемкости, рабочих, задействованных на участках выкладки, требуется в 5 раз больше, чем рабочих, задействованных на участках механической обработки. Но так как детали в автоклав и из автоклава поступают партиями, то прямой зависимости между количеством рабочих на участках выкладки и участках механической обработки не наблюдается.

Для определения количества специализированных рабочих на участках, проведен имитационный эксперимент. В ходе эксперимента проведено 70 имитационных прогонов и получены данные, определяющие количество рабочих на участках.

Выводы

В результате поиска оптимальных значений в имитационной модели получена новая оптимизированная модель. Новая имитационная модель отвечает поставленным требованиям.

Таким образом, имитационная модель позволяет анализировать состояние производственной системы и определять узкие места. В результате имитационных экспериментов получены оптимальные значения показателей для повышения производительности изготовления деталей из ПКМ. Площади участков, отведенные под выкладку мастерам, достаточны для производства 5 машино-комплектов деталей в месяц. В результате проведения имитационного эксперимента по определению оптимального количества автоклавов, установлено, что на участке термостатирования достаточно 2 автоклавов с размерами 3×8 м и 3×12 м. Количество автоклавов можно сократить на 33 %. Составлена оптимальная очередь запуска деталей в производство. Это увеличило количество изготавливаемых деталей в месяц на 18 %. Оптимизация использования оснастки показала возможность высвобождения 35 % оснастки. Соответственно на 35 % сократились площади межоперационного хранения.

Основываясь на полученных результатах, составлены практические рекомендации по оптимизации производства.

Список литературы

- Аверилл М. Лоу, В. Дэвид Кельтон* Имитационное моделирование. — СПб.: Питер, 2004. — 847 с.
- Чижов М. И., Скрипченко Ю. С., Гусев П. Ю.* Автоматизация и оптимизация технологических процессов в Tecnomatix Plant Simulation // Вестник Воронежского государственного технического университета ISSN 1729-6501. — 2011а. — Том 7, № 12.1. — С. 36–38.
- Чижов М. И., Скрипченко Ю. С., Гусев П. Ю.* Моделирование технологических процессов в Tecnomatix Plant Simulation // Вестник Воронежского государственного технического университета ISSN 1729-6501. — 2011б. — Том 7, № 12.2. — С. 18–20.
- Steffen Bang* *Sow Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk: Usage and Programming with Examples and Solutions.* — Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. — 300 с.