

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 004.9:621

DOI 10.34822/1999-7604-2020-3-16-24

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И ПОДГОТОВКИ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

О. П. Бобровская ✉, **Ф. Ф. Иванов**

Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

✉ E-mail: o-bobrovskaya@mail.ru

Представлен процесс разработки автоматизированной системы на примере планирования и подготовки сборочного производства. Проведен анализ предметной области и обзор аналогов. Разработаны функциональная модель системы и инфологическая модель предметной области. Представлены интерфейс, возможности, а также перспективы развития автоматизированной системы.

Ключевые слова: автоматизация, планирование, сборочное производство, моделирование, проектирование системы.

DEVELOPMENT OF AUTOMATED SCHEDULING AND PREPARATION SYSTEM FOR ASSEMBLY PRODUCTION

O. P. Bobrovskaya ✉, **F. F. Ivanov**

Surgut State University, Surgut, Russia

✉ E-mail: o-bobrovskaya@mail.ru

The article describes the process of developing an automated system on the example of scheduling and preparation of the assembly production. The subject area is analyzed, similar systems are given, and the functional capabilities of the future system are determined. A functional model of the system is developed, an infological domain model is created. The interface of the developed system is presented, as well as a feasibility demonstration and development prospects.

Keywords: automation, scheduling, assembly production, simulation, system engineering.

Введение

Автоматизация процессов и создание автоматизированных систем (АС) позволяют сократить затраты времени на рутинные действия, уменьшить количество ошибок, обусловленных человеческим фактором. Эти несомненные преимущества стоят времени и усилий, затрачиваемых на проектирование, разработку и внедрение АС в различные сферы деятельности.

Рассмотрим процесс создания АС на примере автоматизации планирования и подготовки сборочного производства.

Основная часть

Разработка АС, согласно [1–2], начинается с формирования требований к ней, для чего необходимо изучить предметную область.

Начать следует с освоения основных терминов, характеризующих автоматизируемый процесс, например с термина «сборочное производство»; важно учитывать при проектировании классификацию сборочного производства по типу сборки и масштабам производства, организацию производственного процесса и его особенности.

Сборочное производство – это заключительный этап производства продукции, который помимо сборки может включать такие процессы, как испытания, отделка, окраска, упаковка. Технология самой сборки предусматривает соединение и обеспечение правильного взаиморасположения деталей и сборочных единиц.

Технология сборки в цехах единичного и мелкосерийного производства предусматривает объем доделочных и пригоночных работ. В цехах среднесерийного производства доделочные и пригоночные работы или ликвидируются, или сводятся к минимуму. Процесс сборки дифференцируется, поэтому возможна специализация рабочих мест. В цехах крупносерийного и массового производства сборка ведется на основе взаимозаменяемости деталей. Технологические процессы максимально дифференцируются, широко применяются средства механизации и автоматизации, организуется поточная сборка, оснащенная высокопроизводительным оборудованием и транспортными средствами.

После изучения содержания определений «технологическая подготовка производства» и «планирование производства» были выделены следующие подпроцессы, выполнение которых необходимо завершить перед запуском сборочного производства:

1. Разработка проекта технологических процессов производства.
2. Определение технологических особенностей производственных операций, позволяющих выполнять операции параллельно.
3. Расчет и размещение оборудования на основании установленных объемов продукции.
4. Расчет необходимого количества комплектующих и материалов.
5. Расчет необходимого количества работников соответствующей квалификации.

Ведущими элементами производственной структуры при выполнении технологических процессов сборки изделий являются сборочные цехи. Именно на этапе сборки стоимость незавершенного производства приближается к предельной величине – себестоимости готовой продукции. Поэтому сокращение длительности цикла сборки обеспечивает не только ускорение оборачиваемости оборотных средств, но и наиболее эффективное использование производственных площадей [3]. Автоматизация подготовки и планирования сборочного производства может позволить предприятию эффективнее решить проблемы, связанные с запуском нового или изменением объемов текущего производства, что важно для поддержания конкурентоспособности предприятия на рынке.

Далее следует провести обзор существующих аналогичных АС сборочных производств для определения задач и способов их решения.

Например, автоматизированная система управления и оптимизации производственной деятельности Zenith SPPS (Zenith Shopfloor Production Planning System) ООО Корпорации «Вектор-Альянс» [4] в режиме реального времени планирует, отслеживает, оптимизирует и документирует основные производственные процессы от начала выполнения заказа до выпуска готовой продукции, выполняет следующие функции:

- планирование выполнения заказов (срок исполнения заказа);
- автоматизированное оформление документации (наряды, сменно-суточные задания, пооперационные карты и др.);
- разувязание производственных заказов (получение информации об исходных комплектующих по выходным изделиям);
- ввод состава и объема материальных ресурсов, необходимых для выполнения заказа;
- ввод технологических операций.

Достоинствами данного решения являются оптимизация загрузки оборудования, интеграция с информационными системами других разработчиков благодаря хранению данных в различных форматах. Недостатками – сложность интерфейса и отсутствие контроля за размещением оборудования в цеху.

Согласно анализу планировщик сборки Borlas Assembly Scheduler (BAS) консалтинговой группы «Борлас» применим «для всех типов сборочных процессов (подвижного, стационарного, комбинированного), учитывает взаимосвязи как между сборочными паспортами, так и между операциями внутри паспорта, может быть использован как для планирования окончательной сборки изделий, так и для планирования сборки крупных узлов и агрегатов» [5] и обеспечивает реализацию следующих базовых функций:

- визуализация результатов расчета в экранных формах, отчетах и на диаграмме Ганта;
- возможность моделирования ситуаций «что-если» с изменением исходных данных в BAS и пересчетом планов;

- возможность формирования по результатам расчетов в BAS первичных документов (сменно-суточное задание, требование-накладная на комплектацию).

Достоинствами системы являются оптимизация графика операций сборки, интеграция с другими системами и использование диаграмм Ганта. Среди недостатков можно отметить требование обязательного использования какой-либо учетной системы или системы планирования ресурсов предприятия (ERP – Enterprise Resource Planning).

Рассмотренные АС имеют общие черты: планирование сборочного производства на основе входных данных о производственных процессах; интеграция с другими системами; оптимизация (с точки зрения целевой функции) графика производства; автоматическое оформление документации. При этом система Zenith SPPS, кроме планирования, позволяет отслеживать процесс производства и управлять им.

При разработке АС следует учесть реализацию имеющихся в рассмотренных аналогичных проектах автоматизации функций, таких как ввод информации о технологическом процессе и необходимых материалах; расчет будущих состояний производства; визуализация результатов расчетов в экранных формах и отчетах; изменение параметров расчетов.

После изучения автоматизируемого процесса сборки и уже существующих на рынке аналогов АС сборочного производства следует разработать перечень необходимых функциональных возможностей проектируемой системы:

1. Расчет потребности в комплектующих (по спецификации и заданному пользователем требуемому количеству выпускаемой продукции).

2. Расчет количества необходимого сборочного оборудования и планировка его размещения. При изменении объемов производства, если указано сохранение текущего расположения оборудования, будут изменяться сроки; расчет размещения дополнительного оборудования производится согласно нормативам.

3. Вычисление количества бракованных изделий при производстве планового количества продукции.

4. Расчет расписания подачи компонентов на конвейер и перемещения их между сборочным оборудованием.

5. Визуализация процесса перемещения и сборки компонентов (графическое изображение расписания, рассчитанного в пункте 4).

Для разработки функциональной модели будущей АС можно воспользоваться методологией и графической нотацией IDEF0 [6].

Контекстная диаграмма функциональной модели АС представлена на рисунке 1.

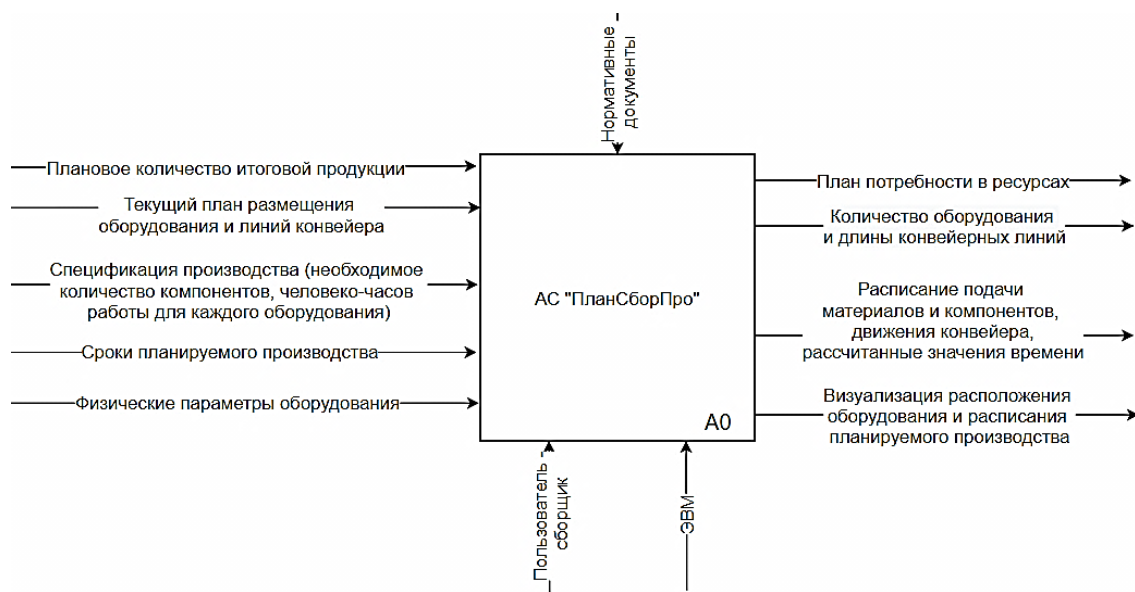


Рис. 1. Контекстная диаграмма функциональной модели АС

Примечание: составлено авторами.

Теперь необходимо провести декомпозицию блока A0 (рис. 2).

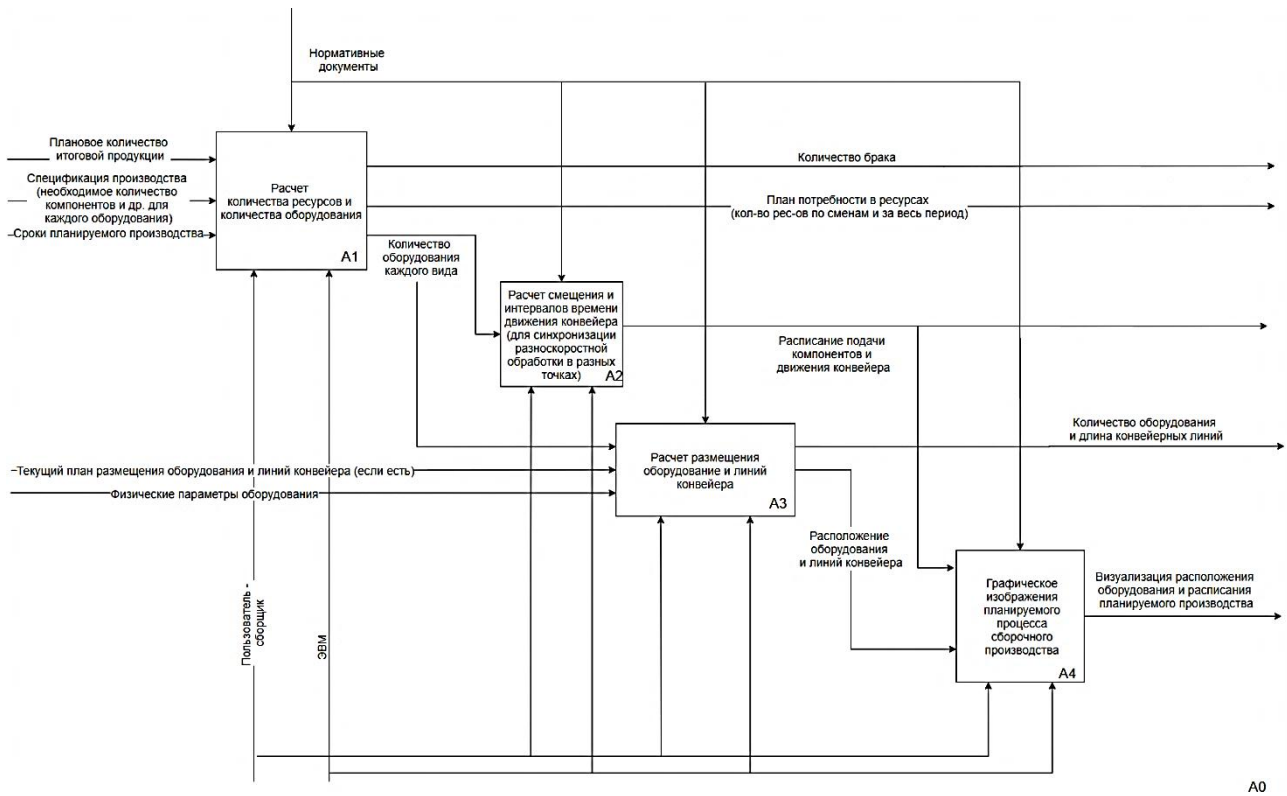


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции блока A0 функциональной модели

Примечание: составлено авторами.

Блок A1 содержит в себе несколько операций, поэтому его также следует декомпозировать (рис. 3).

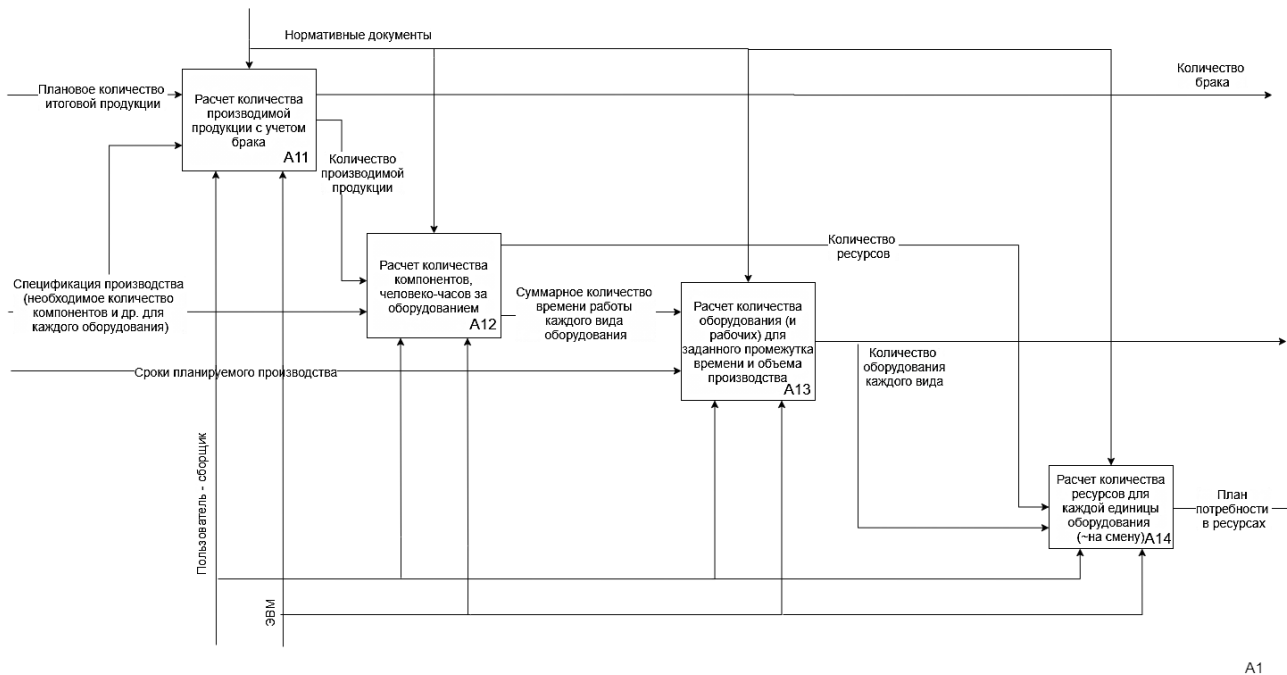
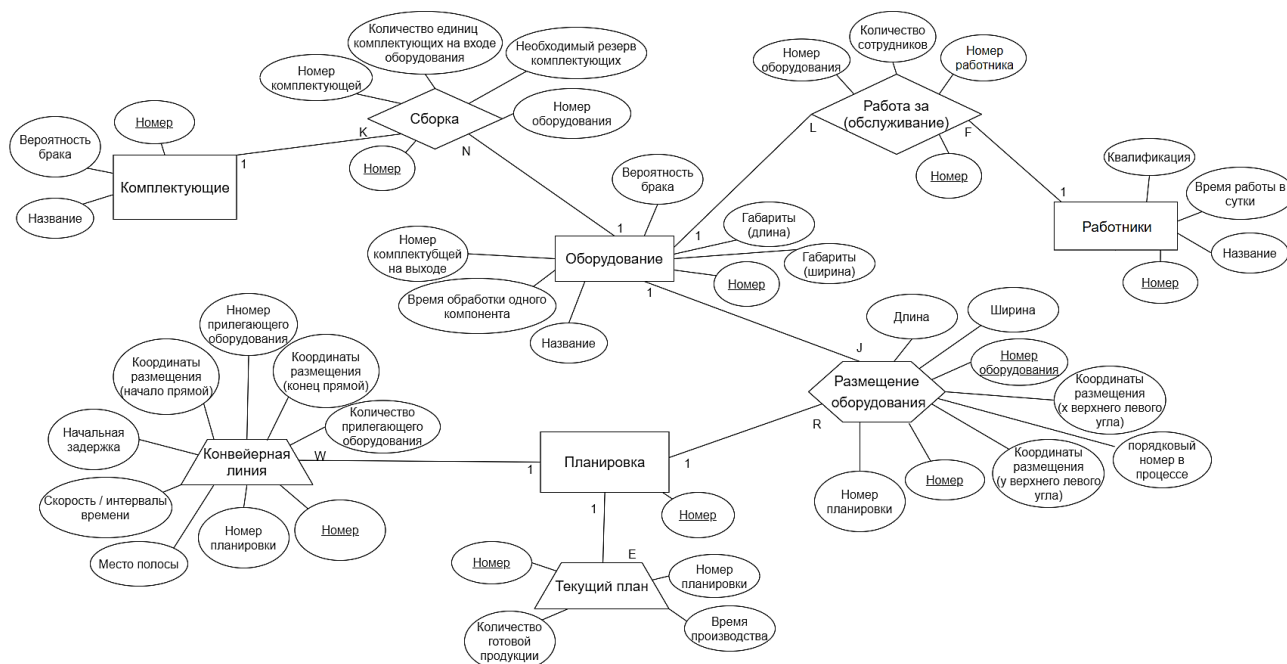


Рис. 3. Диаграмма декомпозиции блока A1 функциональной модели

Примечание: составлено авторами.

Для реализации базы данных нужно выбрать систему управления базами данных (СУБД), отвечающую требованиям поставленной задачи, например встраиваемую СУБД SQLite, поскольку АС будет локальным приложением; а также предусмотреть перенос АС на другую СУБД при расширении функциональности.



Примечание: составлено авторами.

Для разработки структуры ПО следует выделить модули программы, при этом можно опираться на блоки функциональной модели и элементы модели интерфейса. В рассматриваемой реализации запланировано создание нескольких форм с использованием части их для

разных окон, изменяющих свое наполнение в зависимости от условий вызова конструктора. Функции, вызываемые нажатием кнопок или изменением состояния объектов в форме, должны содержать небольшой объем кода. Выполнение сложных операций и операций с базой данных выделено в отдельные функции.

Для решения третьей функциональной задачи – расчета количества бракованных изделий при производстве планового количества продукции – потребовалось использование формул теории вероятности.

Выбор языка программирования производился между C# и Python. Python не имеет встроенных модификаторов доступа (хотя можно добавить их реализацию, например с помощью существующей библиотеки), код занимает меньший объем, так как в языке реализованы многие прозрачные для программиста функции, из-за чего производительность ниже. Интеграция с графическими интерактивными средствами разработки интерфейса в Microsoft Visual Studio лучше, чем у Python с PyQt5 Designer. По критерию удобства использования для реализации АС были выбраны язык программирования C# и среда разработки Microsoft Visual Studio 2019.

Структура интерфейса разработанной АС «ПланСборПро» в виде ориентированного графа представлена на рисунке 5.

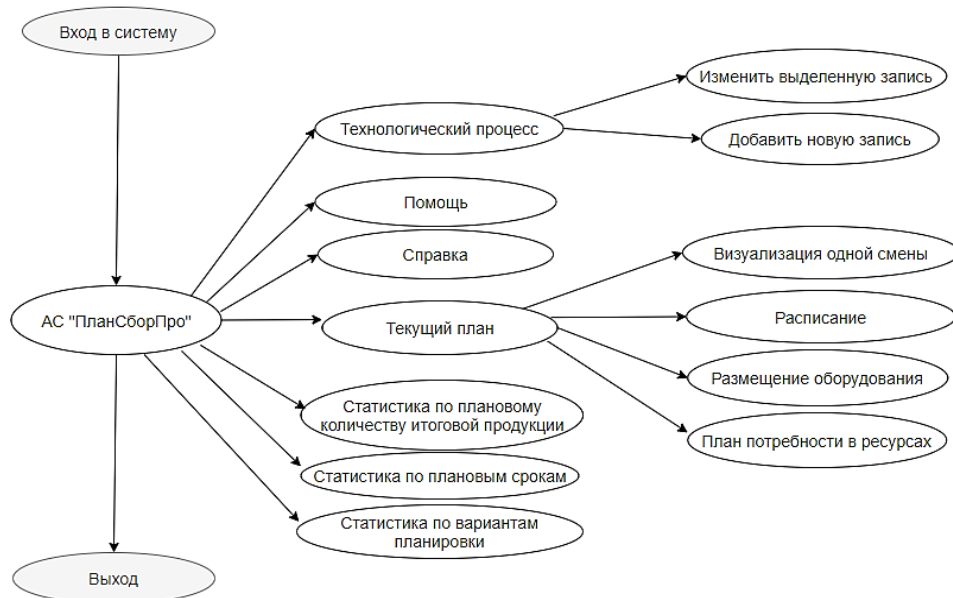


Рис. 5. Структура интерфейса АС

Примечание: составлено авторами.

Главная форма приложения, в которую пользователь вводит данные для расчета, представлена на рисунке 6. Для расчета нового плана пользователь может выбрать параметры, один из которых должен иметь значение «*Рассчитать новое(ую)*»:

- 1) фиксированные: «*Плановое количество итоговой продукции*» и «*Сроки*», расчет новой «*Планировки*»;
- 2) фиксированные: «*Плановое количество итоговой продукции*» и «*Планировка*», расчет новых «*Сроков*»;
- 3) фиксированные: «*Сроки*» и «*Планировка*», расчет нового «*Планового количества итоговой продукции*».

В выпадающем списке изделий на выходе находится пока только «*Ступица*», так как это соответствует информации, содержащейся в БД о технологическом процессе сборочного производства. Возможны добавление нового технологического процесса и расчет производства другой продукции.

АС "ПланСборПро"

Инфо Статистика Помощь Справка

	Текущее значение	Новое значение
Плановое количество итоговой продукции:	1000000 шт.	Рассчитать новое
Сроки:	330 дней	0,5 лет
Вариант планировки:	1	1
Изделие на выходе:	ступица	ступица

Рис. 6. Расчет нового плана с заданными сроками и планировкой (вариант 3)

Примечание: скриншот авторов.

Формы просмотра полученной в результате расчетов информации о планируемом производстве представлены на рисунке 7.

План потребности в ресурсах

Необходимое количество ресурсов на все время производства:

- 1003817 шт. кольцо компенсационное
- 1003817 шт. кольцо стопорное
- 1003817 шт. прокладка
- 4015268 шт. винт
- 1003817 шт. шпиль
- 1003817 шт. подшипник
- 1003817 шт. втулка
- 1003817 шт. фланец
- 1003817 шт. крышка
- 4015268 шт. винт

Необходимое количество оборудования для производств:

- 4 шт. рабочее место сборки ступицы
- 4 шт. рабочее место сборки шпиль
- 4 шт. рабочее место сборки фланца

Необходимое количество ресурсов на один сдвиг (24ч):

- 960 шт. кольцо компенсационное
- 960 шт. кольцо стопорное
- 960 шт. прокладка
- 3840 шт. винт

Список комплектующих, оборудования и работников для следующих периодов:
- все время производства;
- одни сутки (24ч);
- одна смена (8ч).

Размещение оборудования

Координаты размещения оборудования:

- рабочее место сборки ступицы (4, 4)
- рабочее место сборки ступицы (8, 4)
- рабочее место сборки ступицы (10, 4)
- рабочее место сборки шпиль (14, 4)
- рабочее место сборки шпиль (16, 4)
- рабочее место сборки шпиль (18, 4)
- рабочее место сборки фланца (14, 8)
- рабочее место сборки фланца (18, 8)
- рабочее место сборки фланца (20, 8)

Координаты размещения конвейерных линий:

- Линия 1
- Линия 2
- Линия 3
- Линия 4
- Линия 5
- Линия 6
- Линия 7
- Линия 8
- Линия 9
- Линия 10

Графическое изображение размещения оборудования и конвейерных линий

Масштаб 20:1

Расписание

Воронья линия конвейера

Начальная задержка, с	Название комплектующей	Интервал времени, с
0	фланец	33
0	крышка	33
0	винт	33

Средняя линия конвейера

Начальная задержка, с	Название комплектующей	Интервал времени, с
120	кольцо компенсационное	40
120	кольцо стопорное	40
120	прокладка	40
120	винт	40

Расписание подачи компонентов на конвейер и перемещения их между сборочным оборудованием

Визуализация процесса перемещения и сборки компонентов

Масштаб 39:1

Визуализация процесса перемещения и сборки компонентов

Масштаб времени визуализации к реальному: 100:1

Рис. 7. Формы просмотра, открывающиеся из формы текущего плана

Примечание: скриншот авторов.

На этих формах представлена информация, являющаяся выполнением всех поставленных функциональных задач, кроме третьей (о количестве бракованных изделий), представленной на другой форме, при этом сведения о них учитываются во всех расчетах.

На рисунке 8 приведены несколько моментов времени, отображаемых в процессе заполнения линий конвейера. Следует отметить, что согласно технологическому процессу производство имеет две стадии. На первой стадии происходит сборка шкива и фланца (оборудование обозначено красными и зелеными прямоугольниками). На второй стадии собирается готовое изделие – ступица (оборудование обозначено синим прямоугольником).

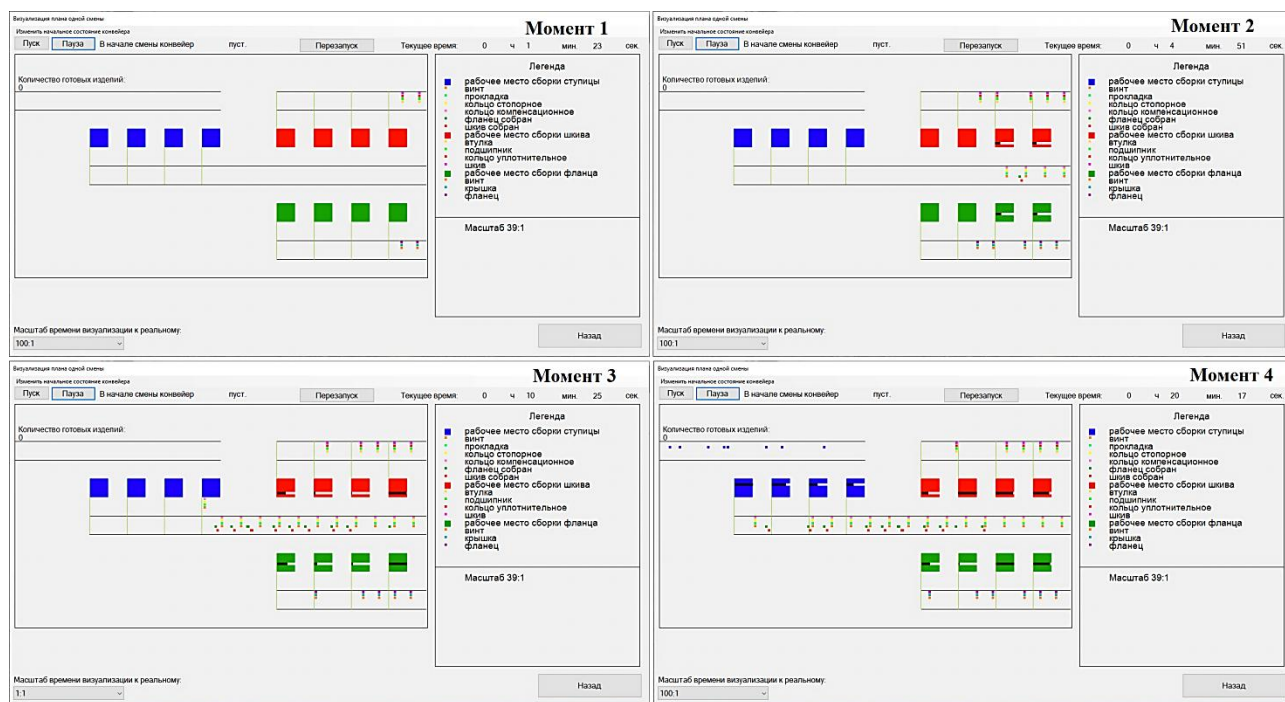


Рис. 8. Моменты времени заполнения конвейера

Примечание: скриншот авторов.

В момент 1 подаются материалы для оборудования первой стадии сборки комплектующих, для комплектующих следующей стадии идет задержка для синхронизации процессов.

В момент 2 время задержки прошло и компоненты для оборудования второй стадии сборки подаются на конвейер. Работаящие единицы оборудования отмечаются заполняющейся черно-белой шкалой. На среднюю конвейерную линию поступили первые обработанные на оборудовании первой стадии сборки выходные компоненты. Их цвета совпадают с цветом оборудования, на котором произошла сборка.

В момент 3 первые компоненты идут на вход оборудования второй стадии сборки.

В момент 4 конвейерные линии практически заполнились стабильным количеством комплектующих. Количество готовых изделий равно нулю, так как еще ни одно изделие не дошло до конца линии конвейера.

Заключение

Рассмотренные на конкретном примере этапы проектирования и разработки автоматизированной системы могут служить памяткой студентам при выполнении курсовых работ, а сама система – прототипом системы для реального производственного процесса.

Представленную АС «ПланСборПро» можно использовать при организации сборочного производства любой продукции. После принятия решения о том, что, как и из чего производить, можно определить с помощью АС количество оборудования и план его размещения, периодичность и объем закупки комплектующих, количество работников и расписание работы.

Разработанная АС «ПланСборПро» является локальным приложением, рассчитанным на одного пользователя. Планируется дополнить ее возможностью интеграции с другими автоматизированными системами управления производством и пользователями с различными уровнями доступа.

Литература

1. ГОСТ Р 34.601-90. Автоматизированные системы. Стадии создания. М. : Стандартинформ, 1990. 6 с.
2. ГОСТ Р 53622. Информационно-вычислительные системы. Стадии и этапы жизненного цикла, виды и комплектность документов. М. : Стандартинформ, 2009. 12 с.
3. Есюкова Е. Г., Носкова Е. Е. Оперативно-календарное планирование сборочных технологических процессов радиоэлектронных изделий // Журнал СФУ. Техника и технологии. 2014. № 7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/> (дата обращения: 30.05.2020).
4. MES-система Zenith SPPS : сайт. URL: <http://www.zspps.ru/> (дата обращения: 15.04.2020).
5. Борлас : сайт. URL: <https://borlas.ru/bas.html/> (дата обращения: 17.04.2020).
6. Р 50.1.028-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла. Методология функционального моделирования : рекомендации по стандартизации. М. : ИПК Изд-во стандартов, 2001. 54 с.
7. ГОСТ Р ИСО 9241-161-2016. Эргономика взаимодействия человек – система. Ч. 161. Элементы графического пользовательского интерфейса. М. : Стандартинформ, 2016. 58 с.