

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АВТОСБОРОЧНОЙ ЛИНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

А.О. Чернов (Набережные Челны)

Введение

В настоящее время промышленно развитые страны следуют по пути Четвёртой промышленной революции (англ. The Fourth Industrial Revolution), сопровождающейся массовым внедрением киберфизических систем в производство (Индустрия 4.0) и обслуживании человеческих потребностей, включая быт, труд и досуг [1]. Ключевыми технологиями данной концепции называют Большие данные, интернет вещей, виртуальную и дополненную реальность, 3D-печать, печатную электронику, квантовые вычисления, блокчейн. Преимуществами Четвертой промышленной революции являются повышение производительности, большая безопасность работников за счет сокращения рабочих мест в опасных условиях труда, повышение конкурентоспособности, принципиально новые продукты и т.д. [2]. Согласно докладу, представленного на Всемирном экономическом форуме 2019 года, помимо автономных роботов в сфере логистики, производства, дронов и сенсоров, задействованных в точном земледелии, получают распространение цифровые двойники в бизнесе, открывающие новые возможности для оптимизации процессов и систем.

Содержание и назначение технологии цифровых двойников

Цифровой двойник в автомобильной промышленности — это точная виртуальная модель автомобиля или производственного предприятия. Он отображает разработку реального физического объекта на протяжении всего жизненного цикла и позволяет операторам прогнозировать поведение, оптимизировать производительность и реализовывать идеи из предыдущего опыта проектирования и производства [3].

Являясь разновидностью имитационной модели, цифровые двойники облегчают задачу управления производством. Имитационное моделирование на цифровых вычислительных машинах является одним из наиболее эффективных и мощных средств для исследования производственных систем. Это метод, позволяющий строить модели, описывающие процессы так, как они проходили бы в действительности. Имитационная модель — математическая модель, с высокой точностью описывающая реальную систему. Она дает возможность проводить множество экспериментов, вычислять и планировать необходимые объемы ресурсов для производства продукта, минимизируя потери. Такую модель можно «проиграть» во времени как для одного испытания, так и заданного их множества. При этом результаты будут определяться случайным характером процессов. По этим данным можно получить достаточно устойчивую статистику. Благодаря имитационной модели исключаются многие риски, обусловленные особенностями технологического процесса, когда проводить реальные эксперименты небезопасно или дорого.

Методика имитации включает постановку задачи, подготовку данных, построение модели, оценку адекватности [4]. Целью имитационного моделирования в производстве является имитация реальных процессов, выявление узких мест и повышение эффективности производства за счёт оптимального использования персонала, производственных мощностей, ресурсов. Имитационное моделирование производственных процессов позволит на основе данных, полученных посредством симуляции технологического процесса, сбалансировать рабочие центры и спрогнозировать количество выпускаемой продукции [5].

В свете перехода к концепции Индустрии 4.0. предприятия становятся все более ориентированы на индивидуальные предпочтения заказчиков. В этом смысле цифровые двойники позволяют производить тонкую настройку и планирование производственного процесса посредством расчета на модели необходимого количества оборудования, трудовых ресурсов и деталей для сборки под конкретно заданные входные параметры. Становится возможным в условиях массового производства запланировать единичные и мелко-партийные заказы.

В условиях ускоряющейся цифровизации Россия уступает по степени развития и уровню распространению технологий некоторым западным и азиатским странам, однако и у нас работы в данном направлении ведутся самым активным образом. Уже сейчас многие промышленные компании оптимизируют свои бизнес-модели и производства посредством цифровой трансформации. Актуальным является дальнейшая разработка и внедрение новых производственных методов и цифровых решений, которые будут способствовать росту эффективности производства.

Цифровой двойник сборочной линии автомобильного производства

Продемонстрируем на примере, как имитационное моделирование в пакете «Tecnomatix Plant Simulation» может быть эффективно использовано для оптимизации технологии производственных процессов главного сборочного конвейера.

Plant Simulation – программная среда имитационного моделирования систем и процессов. Решение предназначено для оптимизации материалотоков, загрузки ресурсов, логистики и метода управления для всех уровней планирования от целого производства и сети производств до отдельных линий и участков. Plant Simulation входит в состав продуктовой линейки Tecnomatix компании Siemens PLM Software [6] и позволяет провести моделирование производственного процесса и симитировать реальный процесс, выявить узкие места и повысить эффективность производства за счёт оптимального использования персонала, производственных мощностей, ресурсов.

Для проведения имитационного моделирования технологического процесса помимо сведений о содержании и специфике самого технологического процесса необходима информация из производственного календаря. В ходе моделирования анализируемый технологический процесс заменяется цифровой моделью (имитацией) для определения характеристик технологического процесса и его оптимизации.

Специализированные объекты в имитационной модели автоматически осуществляют сбор статистических данных: время работы, загруженность персонала, сбои, поломки и позволяют найти наиболее и наименее загруженные участки. Такие параметры, как время работы, время регламентированных перерывов и сбоев производства, размеры партий продукции, такт производства можно менять с помощью диалогового интерфейса.

Загружаемый технологический процесс должен включать в себя: позицию, операцию, рабочее место, сторону работы, последовательность выполнения, комплектующие, время операции. Загрузить процесс в модель можно импортируя Excel-файл техпроцесса, либо же, в самой модели напрямую подключиться к базе, где и находится технологический процесс. После загрузки техпроцесса, необходимо указать горизонты моделирования.

Установка исходных параметров моделирования

Рассмотрим сборку одной комплектации автомобиля. Количество закладываемых рам на смену при такте сборочного конвейера 4 минуты будет равным 115 единиц на смену.

Количество закладываемых рам N , шт. можно определить по следующей формуле:

$$N = \frac{T_{см} - T_{пер}}{t} \quad (1)$$

где $T_{см}$ – продолжительность одной смены (без учета обеда), мин;

$T_{пер}$ – продолжительность всех регламентированных перерывов, мин;

t – такт производства, мин.

Далее по формуле (1) рассчитываем количество закладываемых рам:

$$N = (480 - 10 - 10) / 4 = 115 \text{ шт.}$$

Количество автомобилей за смену будем закладывать в график закладки.

Пакет Plant Simulation предоставляет удобные средства для моделирования процесса, однако для повышения эффективности работы с входными и выходными данными модели необходима разработка дополнительных средств, потому была разработана форма «Интерфейс». В этом окне можно загрузить техпроцесс, заполнить данные зон поставок, управлять параметрами конвейера и модели, а также работать с выходными данными имитационной модели (рис. 1).

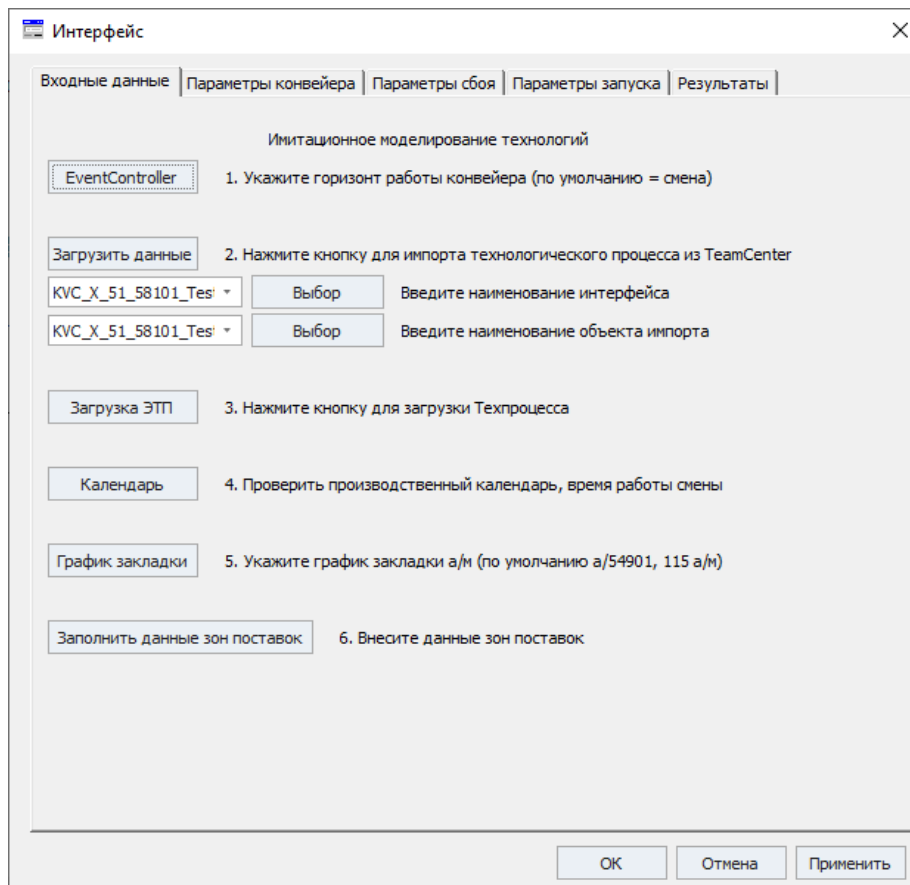


Рис. 1. Окно «Интерфейс»

Для открытия графика закладки необходимо выполнить следующие действия: в окне «Интерфейс» на вкладке «Входные данные» нажать на кнопку «График закладки». В результате выполненных действий откроется график закладки как показано на рис. 2, где необходимо указать:

- в столбце 1 – объект рамы,
- в столбце 2 – количество закладываемых комплектующих изделий на смену,

– в столбце 3 – название модели автомобиля

После всех проделанных операций модель можно запустить.

Анализ показателей выполнения технологического процесса

После того, как выполнится имитационная модель, будут доступны выходные отчеты в окне «Интерфейс» на вкладке «Результаты».

На основе графика закладки был проведен анализ закладки рам автомобилей на смену, что позволило спрогнозировать максимальное количество собранных рам на конвейере за одну рабочую смену (рис. 2). В графике закладки рам, отображается количество рам, закладываемых на конвейер в течении рабочей смены с учетом регламентированных перерывов (обед, перерывы). Ключевым показателем графика закладки рам, является итоговое количество заложенных рам на конец рабочей смены. Результат считает положительным при выполнении плана производства за смену. При неудовлетворительном результате технологический процесс отправляется на доработку разработчику техпроцесса по электронной почте с указанием выявленных несоответствий. Как мы видим из рис. 2, удалось заложить 110 рам из 115, что свидетельствует о выполнении плана на 95,65%.

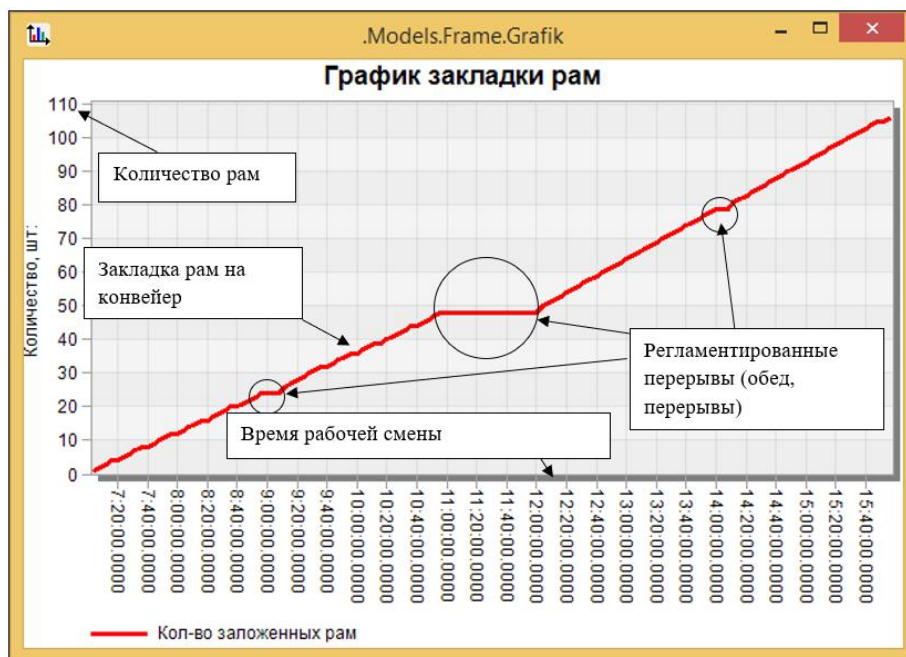


Рис. 2. График закладки рам

График среднего времени выхода готовой продукции представляет собой линейный график, который отображает фактический и целевой такт конвейера (рис. 3). На вертикальной шкале графика отображается интервал времени такта конвейера. На горизонтальной шкале графика отображается интервал времени рабочей смены. По умолчанию на графике указан интервал времени – каждые 4 минуты, горизонт моделирования – 1 смена. По графику среднего времени выхода готовой продукции анализируется целевое и фактическое время выхода готовой продукции. Факторами, влияющими на фактический такт конвейера, являются сбой работы конвейера, человеческий фактор, срыв поставки комплектующих. Фактическое время выхода готовой продукции напрямую влияет на план выпуска автомобилей в смену. Положительным результатом является ситуация, когда фактический такт конвейера не превышает целевой такт конвейера. Отрицательным результатом является ситуация, когда фактический такт конвейера превышает целевой. Превышения данного показателя указывает на снижение производительности.

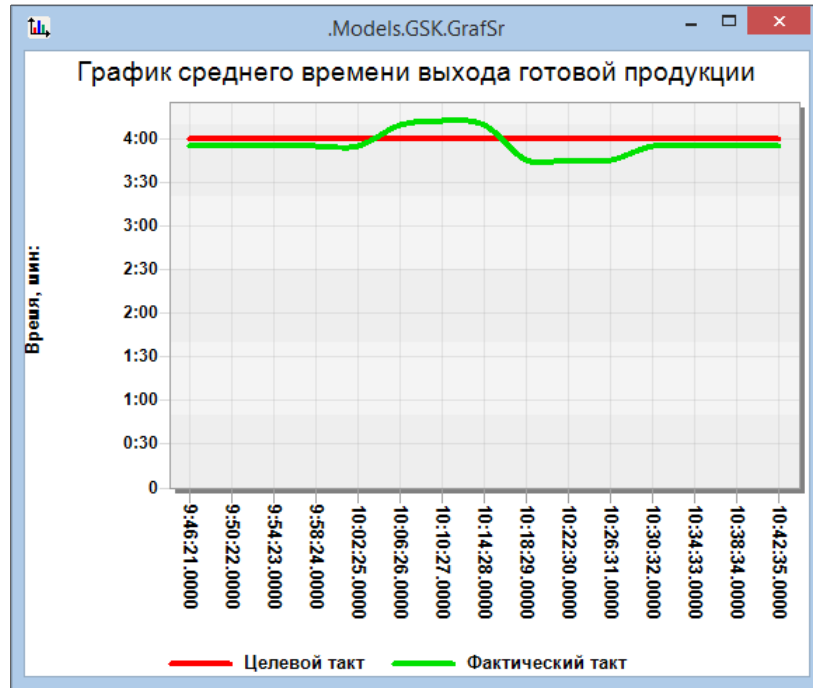


Рис. 3. График среднего времени выхода готовой продукции

Динамический график Ямазуми отображает загруженность персонала в процентном соотношении за общий период времени для каждой позиции конвейера отдельно (рис. 4). Оценка эффективности загруженности персонала проводится в соответствии с таблицей 1.

Как видно из рис. 4, процент загруженности одной из позиций персонала крайне мал из-за большого числа сбоев и длительного времени ожидания персонала. Из этого можно сделать вывод, что технологический процесс некорректно написан, и его необходимо отправить на доработку инженеру-технологу.

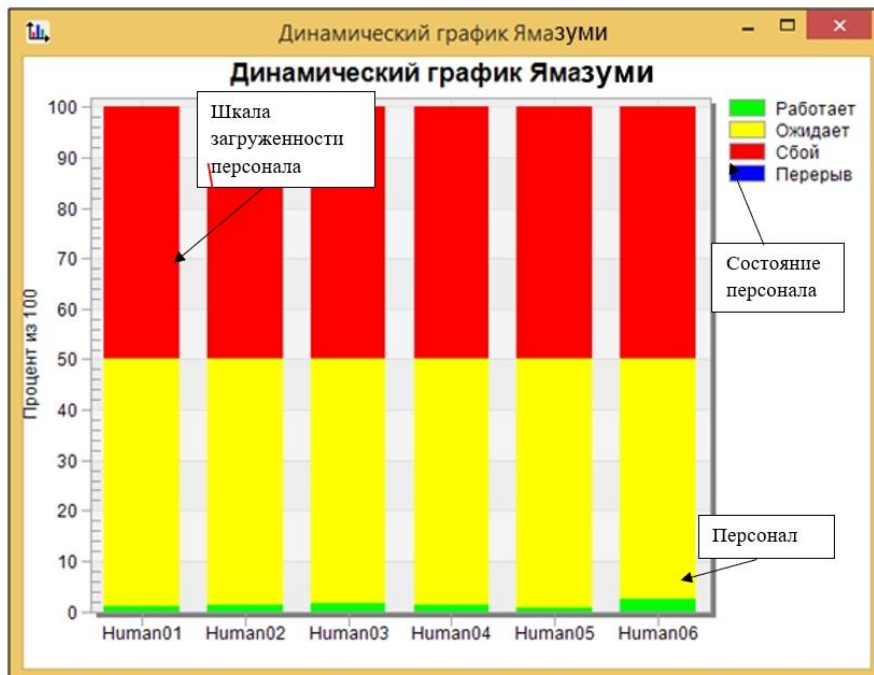


Рис. 4. Динамический график Ямазуми

Таблица 1 – Загруженность рабочих мест

Диапазон загрузки в %	Описание	Рекомендации
От 0 % до 30 %	Персонал не загружен	Распределить операции незагруженного персонала. Сократить рабочее место.
От 30 % до 65 %	Персонал загружен средне	Сбалансировать технологические операции между персоналом, загрузить дополнительными операциями.
От 65 % до 85 %	Персонал загружен оптимально	Действия не требуются.
От 85 % до 100 %	Персонал перегружен	Разгрузить, сбалансировать технологические операции между персоналом для исключения простоев производства.

Статистический график Ямазуми представляет собой линейный график для одной позиции конвейера, в котором время загрузки персонала не должно превышать целевого такта (рис. 5). Он позволяет выявить время возникновения сбоя при сборке автомобиля. В случае, если загруженность персонала превышает значение целевого такта конвейера, требуется произвести корректировку технологического процесса за счет балансировки технологических операций между персоналом.

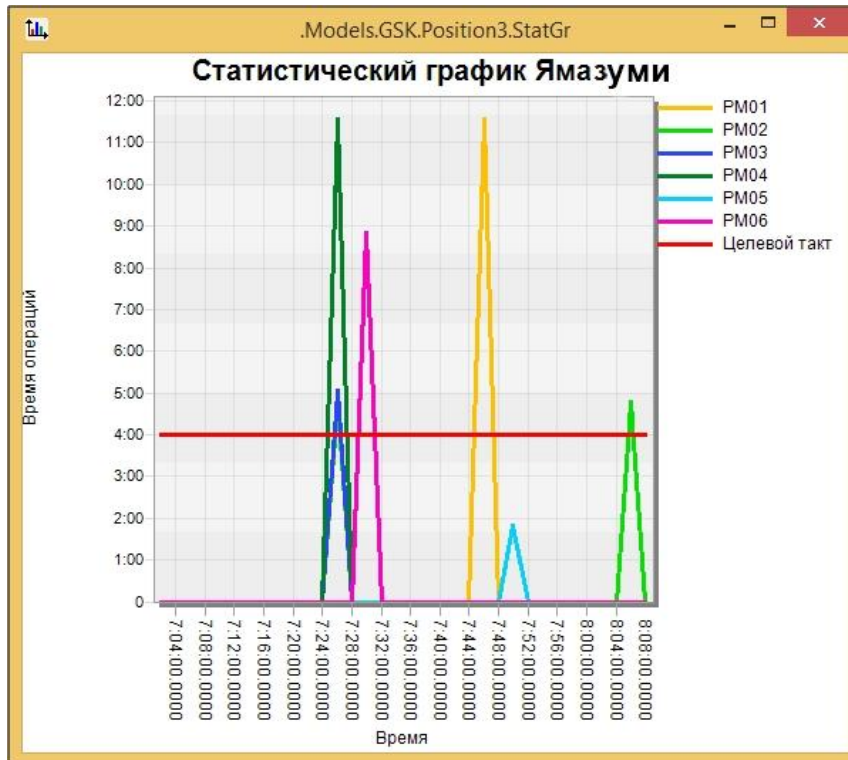


Рис. 5. Статистический график Ямазуми

Как видно из рис. 5, целевой такт конвейера превышен, что еще раз свидетельствует о том, что технологический процесс написан некорректно, поэтому он должен быть отправлен на доработку инженеру-технологу.

Заключение

Таким образом, использование цифрового двойника сборочной линии, построенного в среде Tecnomatix Plant Simulation, позволяет на основе вышеприведенных индикаторов и графиков отслеживать заданный уровень производительности конвейера, своевременно выявлять отклонения и предпринимать меры для выполнения заложенного плана производства. Следующим этапом использования имитационной модели сборочной линии, которая является цифровой копией реального физического объекта, будет проведение оптимизационного эксперимента для расчета ресурсных параметров работы системы.

Литература

1. **Макарова И.В.** Взаимодействие производственной и сервисной систем при реализации принципов клиентоориентированности в индустрии 4.0 / И.В. Макарова, П.А. Буйвол // Вестник луганского национального университета имени Владимира Даля, № 6 (24). 2019. С. 159-162.
2. РБК Тренды: [Электр. ресурс]. URL: <https://trends.rbc.ru> (Дата обр.: 3.09.2021).
3. SIEMENS: [Электр. ресурс]. URL: <https://new.siemens.com> (Дата обр.: 4.09.2021).
4. IDEAL-PLM: [Электр. ресурс]. URL: <https://ideal-plm.ru> (Дата обр.: 14.09.2021).
5. **Рамзаева Е.А.** Имитационное моделирование: Учебное пособие. М.: Самара, 2013. – 6-7 с.
6. SIEMENS. Официальный сайт: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.siemens.com/global/en.html> (Дата обр.: 10.09.2021).