

УДК 658.5

Е.С. КВАС, В.П. КУЗЬМЕНКО

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург

ПОВЫШЕНИЕ ГИБКОСТИ СБОРОЧНОЙ ЛИНИИ БЫТОВЫХ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА СЕТИ ПЕТРИ

Ключевые слова: гибкие производственные линии; моделирование производственной линии; производство светодиодных светильников.

Аннотация. Целью работы являлось исследование способов повышения гибкости сборочной линии бытовых светодиодных ламп путем использования анализа сетей Петри. В исследовании используются подход моделирования сетей Петри, инструменты симуляционного и математического моделирования. Параметры модели были настроены для имитации различных производственных стратегий, включая последовательное и параллельное выполнение задач. Новизна исследования заключается в применении анализа сетей Петри к процессу сборки светодиодных ламп с учетом реорганизации этапов производства в сгруппированные задачи для увеличения пропускной способности.

Введение

Современные тенденции развития любых отраслей хозяйственной и промышленной деятельности неотрывно связаны с требованиями роста внедрения энергоэффективных технологий, в результате чего светодиодные осветительные приборы стали высокоэффективной альтернативой традиционным лампам накаливания и люминесцентным лампам. В результате спрос на светодиодные осветительные приборы в коммерческом и бытовом секторах возрастает, что вынуждает производителей совершенствовать свои производственные линии для повышения гибкости и эффективности.

В сфере производства применение моделей сети Петри продемонстрировали эффек-

тивность в моделировании и оптимизации производственных линий [1]. Тем не менее существует ограниченное количество исследований, применяющих этот инструмент конкретно к процессу производства светодиодных ламп [2–3].

В связи с этим целью данной работы является использование сетей Петри для моделирования и анализа производственной линии бытовых светодиодных ламп с намерением улучшить ее гибкость.

Модель сети Петри для линии по производству бытовых светодиодных ламп

Производственная линия для светодиодных ламп состоит из нескольких этапов, каждый из которых включает в себя определенные задачи, способствующие созданию конечного продукта. Процесс начинается с подготовки материалов, продолжается несколькими этапами сборки, включая интеграцию электрических и осветительных компонентов и завершается этапами тестирования и проверки для обеспечения качества и безопасности продукции.

Рассмотрим сеть Петри, PN , представленную в виде пяти кортежей:

$$PN = (P, T, Pre, Post, M_0),$$

где $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\}$ – конечное множество мест, представляющих рабочие станции; $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5\}$ – конечное множество переходов, представляющих перемещение продуктов между рабочими местами.

Матрицы Pre и $Post$ определяются для управления рабочим процессом. В данном случае это диагональные матрицы из-за последовательного характера задач. Таким образом, они

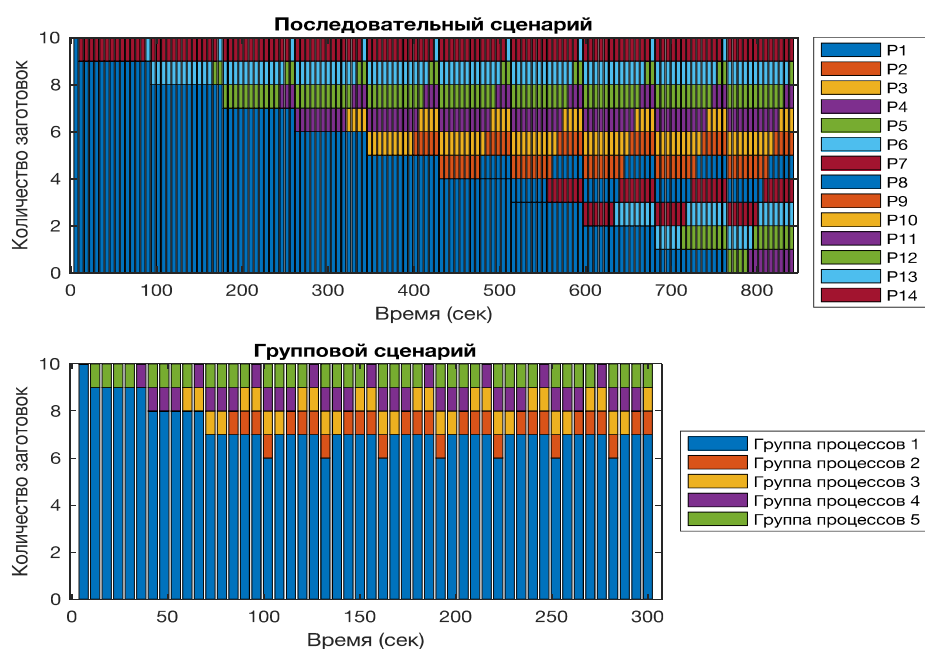


Рис. 1. Диаграммы процессов моделируемой сборочной линии по методу сети Петри

определяются следующим образом:

$$Pre = diag([1, 1, 1, 1, 1, 1]);$$

$$Post = circshift(Pre, -1).$$

Эти матрицы означают, что каждый переход t_i потребляет один маркер из места p_i и добавляет один маркер в место p_{i+1} .

Начальная маркировка M_0 определяет начальное состояние производственной линии. Для нашей модели:

$$M_0 = [10, 0, 0, 0, 0, 0]^T.$$

Это означает, что изначально на первом рабочем месте находится десять изделий, а на остальных – ни одного.

Во время моделирования маркировка M сети меняется в зависимости от переходов. Каждое увольнение происходит по правилу:

$$M = M - Pre * t + Post * t,$$

где t – вектор переходов. Это уравнение гарантирует, что маркер перемещается из места p_i в место p_{i+1} при срабатывании перехода t_i .

Время перехода в модели представлено в виде экспоненциально распределенных случай-

ных величин. Для перехода t_i время перехода определяется как:

$$t_i \sim Exp(\lambda_i),$$

где λ_i – параметр скорости, обратный среднему времени перехода. В данной модели значения λ_i устанавливаются на основе среднего времени процесса, представленного в производственных данных [4; 5].

Разработанная и смоделированная с помощью средств *MATLAB* модель была применена для исследования динамики производственной линии светодиодных ламп. Модель была настроена на имитацию реальных производственных сценариев в течение десяти циклов производства.

14 отдельных задач, задействованных в производственной линии, были определены и сгруппированы на основе логики процесса, необходимых инструментов и потенциала для одновременного выполнения.

Группировка была разработана следующим образом: 1) формирование, установка и подача подложки; 2) задачи, связанные с нанесением теплопроводящего покрытия и установкой корпуса; 3) задачи, включающие установку, регулировку и пайку; 4) проверка работоспособности

лампы и подготовка к окончательной сборке; 5) окончательная сборка и выпуск продукции. Каждая группа была представлена местом в модели сети Петри.

Состояние системы было отображено на гистограммах (рис. 1) для обоих сценариев, где горизонтальная ось представляет собой время, а каждая цветная полоса указывает на количество продуктов на каждом рабочем месте.

Заключение

Гистограмма (рис. 1), сравнивающая исходную и оптимизированную производственные стратегии, наглядно демонстрирует значительное сокращение времени перехода для каждого этапа при существенном сокращении общего времени производства. Важно отметить, что, несмотря на сокращение времени, количество готовых ламп в модели параллельной обработки не увеличилось пропорционально из-за присутствия времени процесса случайности и включения времени безопасности для обеспечения

стабильности системы.

На основе этапов смоделированной сборочной линии можно порекомендовать группировать процессы, уделяя особое внимание смежным задачам, в которых используются аналогичные инструменты или которые логически могут выполняться одновременно. Например, формирование и установка подложки могут быть сгруппированы вместе, поскольку они оба связаны с манипуляциями с базовой структурой светодиодной лампы. Аналогично задачи, связанные с нанесением теплопроводящего покрытия, корпусом лампы и закреплением заготовки, могут выполняться параллельно, поскольку для них требуются схожие материалы и инструменты.

Задача пайки компонентов потенциально может быть объединена с задачей установки цоколя типа E27 при условии эффективной синхронизации задач. Задачи, связанные с проверкой работоспособности лампы и подготовкой к окончательной сборке, также могут быть сгруппированы в зависимости от наличия инструментов и персонала.

Список литературы

1. Суханов, В.А. Анализ структурных схем сложных САР на основе СОЗ-технологии / В.А. Суханов // Наука и бизнес: пути развития. – М. : ТМБпринт. – 2018. – № 11(89). – С. 80–88.
2. Tabassum, Z. Production Line Analysis via Value Stream Mapping: A Case Study in Pakistani Manufacturing Firm / Z. Tabassum, A. Khan.
3. Xu, G. Petri-Net-Based Scheduling of Flexible Manufacturing Systems Using an Estimate Function / G. Xu, Y. Chen // Symmetry. – 2022. – No 14(5). – P. 1052.
4. Grobelna, I. Challenges in Application of Petri Nets in Manufacturing Systems / I. Grobelna, A. Karatkevich // Electronics. – 2021. – No. 10(18). – P. 2305.
5. Nassif, A.B. Measurement-based approach for constructing harmonic models of electronic home appliances / A.B. Nassif, J. Yong, W. Xu // IET Gener Transm & Distrib. – 2010. – No 4. – P. 363–375.

References

1. Sukhanov, V.A. Analiz strukturnykh skhem slozhnykh SAR na osnove SOZ-tekhnologii / V.A. Sukhanov // Nauka i biznes: puti razvitiya. – M. : TMBprint. – 2018. – № 11(89). – S. 80–88.

© Е.С. Квас, В.П. Кузьменко, 2023