
НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.86

**МОДЕЛЬ ЗАГРУЗКИ ТРАНСПОРТНО-ЗАГРУЗОЧНОГО СРЕДСТВА
ГИБКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ**© 2019 г. А. Ю. Албагачиев^{1,*}, А. С. Краско^{2,3}¹ *Институт машиноведения имени А.А. Благонравова (ИМАШ РАН), Москва, Россия*² *Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия*³ *МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия***e-mail: albagachiev@yandex.ru*

Поступила в редакцию 02.02.2019 г.

Принята к публикации 24.04.2019 г.

В настоящей статье предложена модель загрузки транспортно-загрузочного средства гибкой производственной системы обработки корпусных деталей. Выведены зависимости, позволяющие определить коэффициент загрузки транспортно-загрузочного средства по различным видам работы. Предложены методы снижения загрузки транспортной системы и оптимизации ее работы.

Ключевые слова: гибкая производственная система, транспортно-загрузочное средство, теория массового обслуживания

DOI: 10.1134/S0235711919040023

В современном машиностроении нарастающими темпами происходит внедрение как разрозненных средств автоматизации технологических процессов (станков с числовым программным управлением (ЧПУ), промышленных роботов (ПР), автоматических транспортных устройств и т.п.), так и комплексных автоматических и автоматизированных систем. В условиях доминирующего положения мелко- и среднесерийного производства такими комплексными системами являются гибкие производственные системы (ГПС).

В настоящее время, на волне четвертой промышленной революции [1–3] снова возрос интерес к гибким производственным системам, что связано с присущими только им высокими показателями гибкости и автоматизации технологических процессов. Однако, как и в 80-е годы, так и сегодня ГПС остаются сложными объектами для исследования, расчета технологических параметров и прогнозирования производительности [4, 5].

Анализ как прошлой [6, 7], так и современной [8–12] литературы по проектированию гибких производственных систем показывает, что расчеты технологических параметров носят не целостный характер. Отсутствует четко проработанный алгоритм определения основных параметров ГПС.

Наиболее трудоемкими и неопределенным при расчете технологических параметров гибких производственных систем является определение числа (коэффициента загрузки) транспортно-загрузочных средств (ТЗС). Это связано с не директивным циклом работы ГПС, случайным моментом прихода заявки на обслуживание и неопределенностью начального положения транспортно-загрузочного средства относительно источника заявки. Наиболее точно загрузку ТЗС позволяет определить имитационное моделирование работы гибкой производственной системы, где возможно учитывать

выходы из строя основного технологического оборудования, из-за которого резко возрастает поток заявок от неработающего станка к работающим. На начальном этапе проектирования ГПС применение имитационного моделирования нецелесообразно ввиду большой длительности нахождения оптимального решения из-за необходимости перебора всех возможных вариантов планировки системы.

Поэтому, перед тем, как приступить к детальному имитационному моделированию гибких производственных систем необходимо провести предварительные расчеты и определить основные технологические параметры гибкой производственной системы: число основного технологического оборудования; число транспортно-разгрузочных средств; емкость склада и накопителей; организацию инструментального хозяйства и т.д.

ГПС являются гибкими системами, как по возможностям обработки широкой номенклатуры деталей, так и в смысле их различия между собой. В первую очередь – организацией транспортных операций с загрузочными и транспортными средствами. Поэтому наиболее подходящим для их описания является математический аппарат – теория массового обслуживания (ТМО).

Согласно теории массового обслуживания, число транспортно-разгрузочных средств определяется по формуле

$$N_t = \frac{\sum \lambda_s}{60k_u},$$

где $\sum \lambda$ – суммарная интенсивность грузопотоков полуфабрикатов, деталей и/или касет с режущим инструментом, заявок/ч; t_s – время обслуживания, мин; k_u – коэффициент использования транспортного средства.

В общем случае время на обслуживание – это сумма времени на загрузку-разгрузку груза и времени на транспортирование груза

$$t_s = t_{lu} + k_s t_c,$$

где t_{lu} – среднее время на загрузку и разгрузку груза, мин; t_c – время на транспортирование груза, мин; k_s – коэффициент сокращения холостых перемещений.

Коэффициент сокращения холостых перемещений транспортного средства определяется по выражению

$$k_s = 1 + \frac{1}{N_c},$$

где N_c – количество приспособлений-спутников, одновременно перемещаемых транспортно-загрузочным средством или количество схватов промышленного робота.

Смысл коэффициента сокращения холостых перемещений заключается в том, что при увеличении количества одновременно перемещаемых спутников или деталей, уменьшается необходимость возврата транспортного средства на склад.

Например, гибкая производственная система состоит из автоматизированного склада (АС) и трех станков, обслуживаемых одним транспортным средством (рис. 1). В первом случае, одновременно может перемещаться только один спутник ($N_c = 1$), тогда $k_s = 2$, и общее количество холостых перемещений составляет три (рис. 1а). Во втором случае $N_c = 2$, тогда $k_s = 1.5$, и общее количество холостых перемещений составляет два (рис. 1б). В третьем случае $N_c = 3$, тогда $k_s = 1.33$, и общее количество холостых перемещений составляет один (рис. 1в).

На основании теории массового обслуживания была составлена модель (рис. 2) интенсивности поступления заявок λ и интенсивности их обслуживания μ для транспортно-загрузочного средства, выполняющего все работы по транспортированию и загрузке заготовок, полуфабрикатов, деталей и инструментов в гибкой производ-

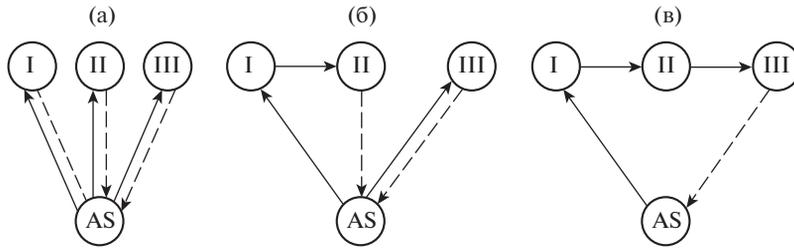


Рис. 1. Схема к пояснению коэффициента сокращения холостых перемещений: AS – автоматический склад; I, II, III – порядковые номера обслуживаемых станков.

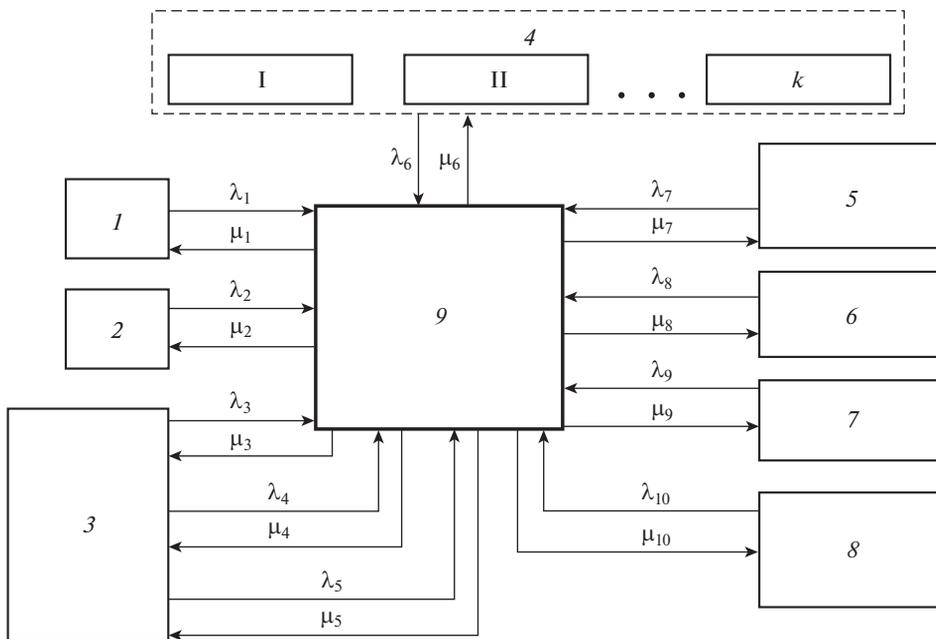


Рис. 2. Модель загрузки транспортно-загрузочного средства: 1 – пункт приема; 2 – пункт выдачи; 3 – участок комплектации; 4 – участок технологического оборудования; 5 – отделение подготовки технологической оснастки (приспособлений-спутников); 6 – участок технического контроля; 7 – участок мойки и сушки деталей; 8 – отделение подготовки режущего инструмента; I, II, ... k – группы технологического оборудования; 9 – транспортно-загрузочное средство.

ственной системе для обработки корпусных деталей и обладающей спутниковым хозяйством.

Модель, показанная на рис. 2 демонстрирует загрузку транспортно-загрузочного средства и работы, которые целесообразно автоматизировать. Ручной труд остается за обслуживанием участка комплектации, подготовки технологической оснастки и режущего инструмента.

Интенсивность поступающих заявок на транспортное средство обозначается λ , заявок/ч, а интенсивность обслуживания заявок обозначается μ , заявок/ч. Под заявка-

ми понимаются тары с деталями, детали в приспособлениях, отдельно приспособления и детали, кассеты с режущим инструментом.

1. λ_1 – интенсивность поступления заявок по доставке заготовок с пункта приема на автоматизированный склад

$$\lambda_1 = \frac{N_y}{F_e n_p},$$

где N_y – объем производства в год, шт.; F_e – эффективный годовой фонд времени, ч; n_p – среднее число заготовок в таре, шт.

На складе тары с заготовками ожидают установки их в приспособления-спутники операторами.

2. λ_2 – интенсивность поступления заявок по доставке тар с готовыми деталями со склада на пункт выдачи

$$\lambda_2 = \frac{N_y}{F_e n'_p},$$

где n'_p – среднее число готовых деталей в таре.

Число готовых деталей в таре (n'_p) удаляемых из гибкой производственной системы может отличаться от числа заготовок (n_p) – приходящих в нее, в тех случаях, когда из одной заготовки получают несколько готовых деталей (обработка прутков).

3. λ_3 – интенсивность поступления заявок на установку деталей из тары на приспособления. В определенное время операторы устанавливают детали из тары на приспособления-спутники. Для этого транспортно-загрузочное средство подает на участок комплектации (УК) тару и поочередно приспособления в количестве, необходимом для установки всех деталей из тары – n_p/n_a . По мере установки транспортно-загрузочное средство доставляет заготовки с приспособлениями на склад для ожидания дальнейшей обработки. Порожняя тара остается за пределами гибкой производственной системы.

Интенсивность поступления заявок по доставке тары и приспособлений на участок комплектации, а также по отправке установленных деталей с приспособлениями на склад для ожидания обработки определяют по формуле (заявок/ч)

$$\lambda_3 = \lambda_1 + \frac{2N_y}{F_e n_a},$$

где n_a – среднее число деталей, одновременно установленных в многоместном приспособлении.

4. λ_4 – интенсивность поступления заявок на снятие готовых деталей с приспособлений и укладки их в тары для дальнейшей отправки из гибкой производственной системы, с учетом интенсивности заявок на доставку пустых приспособлений обратно на склад

$$\lambda_4 = \frac{2N_y}{F_e n_a}$$

5. λ_5 – интенсивность поступления заявок на смену установка, т.е. снятие детали с одного приспособления, и установку ее на другое. Последовательность действий следующая: заявка на доставку детали с приспособлением-спутником (А), которое нужно заменить со склада на участок комплектации; доставка пустого приспособления (Б) на

участок комплектации; смена установка; заявка на доставку детали с приспособлением (Б) на склад; заявка на доставку пустого приспособления (А) на склад

$$\lambda_5 = \frac{4N_y(P-1)}{F_e n_a},$$

где P – среднее число деталей установов одной детали, $(P-1)$ – количество смен приспособления без учета первой установки.

6. λ_6 – интенсивность поступления заявок на обслуживание групп технологического оборудования. В такие заявки входит доставка приспособлений с деталями со склада для обработки и возврат на склад обработанных деталей.

Суммарная интенсивность поступления заявок от оборудования всех групп находится по формуле

$$\lambda_6 = \frac{2N_m \times 60}{t_p n_a}, \quad (1)$$

где N_p – общее принятое число оборудования, шт.; t_p – среднее штучное время обработки детали, мин.

7. λ_7 – интенсивность поступления заявок от отделения технологической оснастки на доставку приспособлений, подлежащих ремонту или разборки, а также на перемещение на склад новых приспособлений

$$\lambda_7 = \frac{N_y P \times 60}{F_e n_a N_a t_p},$$

где N_a – число установок деталей, после которого должны быть заменены базирующие элементы приспособления, деталей.

8. λ_8 – интенсивность поступления заявок на доставку деталей к позиции технического контроля определяется по методике, изложенной в литературе [5].

9. λ_9 – интенсивность поступления заявок на доставку деталей на участок мойки и сушки. В случае применения автоматических моечных машин участок может быть включен в производственный. Интенсивность поступления заявок определяется аналогично формуле (1).

10. λ_{10} – интенсивность поступления заявок на замену инструментальных блоков находится по формуле

$$\lambda_{10} = \frac{N_m \times 60}{TN_c},$$

где N_c – число инструментальных блоков в кассете, шт.; T – средняя стойкость режущего инструмента, мин.

Если полученное расчетное число транспортно-разгрузочного средства больше целого числа на 0.1...0.4, следует уменьшить коэффициент загрузки путем:

- уменьшения времени обслуживания гибкого производственного модуля (ГПМ) и склада транспортным средством с помощью применения более быстроходных транспортно-загрузочных средств; оптимизации планировки оборудования с целью сокращения расстояния транспортирования; внедрением быстросменных устройств замены столов-спутников;

- уменьшением интенсивности поступления заявок от станков путем применения многоместных приспособлений для деталей с малым циклом обработки; укрупнения операций (концентрации переходов), например, с помощью использования многошпиндельных токарных станков или токарных обрабатывающих центров вместо токарных станков;

– уменьшения интенсивности поступления заявок со склада с помощью организации перемещения заготовок и деталей в кассетах по несколько штук (однако в этом случае увеличивается загрузка операторов склада, которые должны своевременно собирать такие кассеты);

– уменьшения интенсивности поступления заявок от технологического оборудования с помощью увеличения одновременно перемещаемых столов-спутников или кассет с деталями (сокращения k_s);

– внедрения дополнительных транспортных и/или погрузочно-разгрузочных средств, относительно простой и дешевой конструкции, для перекалывания на них части нагрузки дорогостоящего транспортно-загрузочного средства, например, добавление манипулятора для простых загрузочных операций, с целью сокращения загрузки промышленного робота;

– если уменьшение полученного коэффициента загрузки транспортно-загрузочного средства невозможно или слишком затратно, то следует изыскать возможность дозагрузки транспортно-загрузочного средства, с целью лучшей их окупаемости. Например, включение большего числа станков в зону обслуживания транспортно-загрузочного средства, путем установки промышленных роботов на рельсовую тележку, или добавление функции перемещения и установки инструментальных блоков в магазины станков.

Настоящий подход позволяет с минимальной трудоемкостью укрупненно определять коэффициент загрузки транспортно-загрузочного устройства, а дифференциальная оценка по разным видам работ позволяет уже на этапе предварительного анализа разделять ответственность нескольких транспортных и загрузочных средств.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: “Эксмо”. 2016. С. 138.
2. Ouaret S., Kenné J.P., Gharbi A. Production and replacement policies for a deteriorating manufacturing system under random demand and quality // European journal of operational research. 2018. V. 264. № 2. С. 623.
3. Hajduk M., Sukop M., Semjon J., Jánoš R., Varga J., Vagaš M. Principles of formation of flexible manufacturing systems // Tehnicki vjesnik. 2018. V. 25. № 3. С. 649.
4. Бодрова Е.В., Калинов В.В. Государственная научно-техническая политика в период “оттепели”: прорывы и причины торможения модернизации // Ж. РТЖ МИРЭА. 2017. Т. 5. № 5. С. 70.
5. Matejic M.1, Tadic B.1, Lazarevic M.2, Vukelic D., Mistic M. Modelling and simulation of a novel modular fixture for a flexible manufacturing system // International journal of simulation modeling. 2018. V. 17. № 1. С. 18.
6. Белянин П.Н., Идзон М.Ф., Жогин А.С. Гибкие производственные системы: Учеб. пособие для машиностроительных техникумов. М.: Машиностроение. 1988. С. 256.
7. Гибкие производственные комплексы / Под ред. П.Н. Белянина и В. А. Лещенко. М.: Машиностроение. 1984. С. 384.
8. Beezão A.C., Cordeau J.F., Laporte G., Yanasse H.H. Scheduling identical parallel machines with tooling constraints // European journal of operational research. 2017. V. 257. № 3. P. 834.
9. Um I., Cheon H., Lee H. The simulation design and analysis of a flexible manufacturing system with automated guided vehicle system // Journal of manufacturing systems. 2009. V. 28. № 4. P. 115.
10. Сердюк А.И., Сергеев А.И., Корнипаев М.А., Проскурин Д.А. Формализованное описание работы гибких производственных систем при создании систем компьютерного моделирования // СТИН. 2016. № 7. С. 12.
11. Радыгин А.Б., Сергеев А.И., Сердюк А.И. Компьютерное моделирование работы гибких производственных систем с учетом вероятностных возмущений // СТИН. 2018. № 8. С. 8.
12. Гибкие производственные системы. Справочник / под ред. Ю.Г. Козырев. М.: КНОРУС. 2017. С. 364.