



Вячеслав Баранов,
заведующий кафедрой управления
и информатики в технических системах
Московского государственного технологического
университета «Станкин», д.э.н., профессор

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕЖОПЕРАЦИОННОЙ ЛОГИСТИКИ ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Аннотация. В статье рассмотрены особенности построения системы межоперационной логистики для высокоавтоматизированного производственного звена, в котором промышленный робот обслуживает несколько параллельно работающих единиц оборудования. Результат решения логистической задачи, которая относится к классу труднорешаемых комбинаторных задач, состоит в обеспечении бесперебойного обслуживания роботом технологического оборудования.

Предлагается приближенный метод проектирования системы межоперационной логистики для высокоавтоматизированного производственного звена. Этот метод доведен до конкретных алгоритма и экономико-математических моделей.

Ключевые слова. Высокоавтоматизированная производственная структура, гибкая автоматизация производства, система межоперационной логистики, промышленный робот, распределенная информационная система, пропорциональные операции, комбинаторная задача, приближенный метод решения.

Annotation. The article describes the features of the construction of inter-operation of logistics systems for the highly automated production unit, in which the industrial robot serving multiple concurrent pieces of equipment. The result of logistic solutions, which belongs to a class of intractable combinatorial problems, is to provide uninterrupted service robot manufacturing equipment.

Key words. Highly automated production structure, flexible automation of production, the system of inter-operational logistics, industrial robot, distributed information system, proportional operation, combinatorial problem, an approximate method of solution.

Использование российскими предприятиями систем, ориентированных на гибкую автоматизацию производства, способствует их переводу в разряд высокотехнологичных [4], но требует привлечения значительных инвестиций. Величина и рациональность их использования в значительной степени определяют параметры эффективности деятельности всего предприятия, поэтому на уровне предприятия возникает ряд задач, решение которых направлено на формирование такой внутренней среды, элементы которой в процессе

взаимодействия между собой и внешней средой обеспечат предприятию высокие значения показателей эффективности. К числу подобных задач следует отнести моделирование и выбор оптимального состава производственных звеньев предприятия [4], создание системы межоперационной логистики [2, 6] и др.

Производственные системы современных высокотехнологичных предприятий, обладая высокой гибкостью и производительностью, предполагают использование высокоавтоматизированного оборудования и промыш-

ленных роботов, которые, будучи вспомогательным оборудованием, выполняют межоперационные логистические функции [5]. Выступая в производственной системе в качестве транспортно-передаточных устройств, промышленные роботы, передавая незавершенный продукт от одной единицы оборудования к другой, должны обеспечивать высокий уровень непрерывности технологического процесса.

Следовательно, в производственной системе возникает задача формирования эффективной системы меж-

операционной логистики. Подобная задача становится еще более актуальной в ситуации, когда один робот обслуживает несколько параллельно работающих единиц технологического оборудования. Однако существует вероятность возникновения простоя какого-либо элемента производственной системы – робота или технологического оборудования. Формирование системы межоперационной логистики должно быть интегрировано в стратегию автоматизированного проектирования современных производств. Подобная стратегия охватывает такие составляющие, как:

- система автоматизированного проектирования, ориентированная на использование в проектных решениях компьютерных математических моделей (CAD System – Computer Aided Design System);
- система автоматизированной подготовки производства (CAM System – Computer Aided Manufacturing);
- система анализа проектных решений (CAE System – Computer Aided Engineering);
- система управления производственной информацией (PDM System – Product Data Management).

Интеграция, обеспечивая совокупность конкурентных преимуществ, создает предпосылки для динамичного роста технологического капитала предприятия [1], а результат решения логистической задачи обуславливает бесперебойное обслуживание промышленным роботом технологического оборудования.

На этапе создания системы межоперационной логистики, используя результаты разбиения всего множества технологического оборудования высокотехнологичного предприятия на производственные звенья (комплекты), требуется найти варианты комплектов реализации роботом транспортно-логистических функций, ведущие к бесперебойному обслуживанию оборудования. В процессе эксплуатации высокоавтоматизированных производственных структур решение логистической задачи заключается в том, чтобы обеспечить каждому спроектированному высокоавтоматизированному производственному звену (комплекту) наилучшее выполнение производственной программы на очередной плановый период (смену, сутки).

В рассматриваемом случае формирование системы межоперационной логистики для высокоавтоматизированной производственной структуры ориентировано на использование взаимозаменяемых по отношению к выполняемым операциям единиц технологического оборудования. Это означает, что каждая j -я единица оборудования выполняет j -ю технологическую операцию. Если это условие соблюдается не для всех единиц производственной структуры, задачу формирования системы межоперационной логистики, обеспечивающей бесперебойное обслуживание роботом технологического оборудования, следует решать по отношению к каждой группе взаимозаменяемого оборудования по отдельности.

При разработке для высокоавтоматизированной производственной

структуры системы межоперационной логистики следует учитывать, что некоторые типы промышленных роботов являются стационарными. В этом случае в систему межоперационной логистики вводят ограничение, определяющее максимальное количество технологического оборудования для размещения в зоне обслуживания каждого стационарного робота. Это усложняет задачу формирования системы межоперационной логистики для высокоавтоматизированной производственной структуры. Следует учитывать, что планируемый объем выпуска по некоторым операциям может не обеспечивать полной загрузки оборудования. Поэтому для каждой j -й операции, выполняемой в высокоавтоматизированной производственной структуре, кроме временных параметров операции (оперативного времени – t_j^{on} и времени выполнения транспортно-логистических функций, определяющего степень занятости робота, – t_j^z), необходимо задать планируемый (расчетный) коэффициент загрузки оборудования, выполняющего эту операцию (K_j^z).

Решение задачи проектирования системы межоперационной логистики предполагает, что все оборудование высокотехнологичного предприятия, составляющее величину M , разбито на комплекты. Из этих комплектов организованы высокоавтоматизированные производственные звенья. За каждой j -й единицей технологического оборудования закреплено выполнение j -й операции с известными значениями величин t_j^{on} , t_j^z , K_j^z . При этом известно максимально допустимое количество оборудования



“ В процессе эксплуатации созданных высокоавтоматизированных производственных звеньев система межоперационной логистики должна обеспечивать минимальные простои элементов звена за счет организации бесперебойного обслуживания роботом оборудования.

(r), которое может находиться в зоне обслуживания робота (для робота с неограниченной зоной обслуживания можно предположить, что $r = M$). Формирование эффективной системы межоперационной логистики для высокоавтоматизированной производственной структуры предполагает поиск оптимального варианта разбиения заданного множества оборудования на комплекты. Этот вариант должен обеспечить бесперебойное обслуживание роботом оборудования, снижение логистических затрат, минимизацию себестоимости производимой продукции вследствие снижения потерь рабочего времени (сокращения простоев технологического оборудования). В выбранном варианте должен достигаться оптимум ранее сформулированной целевой функции. Подобный оптимум определяется при условии, что, во-первых, фактический коэффициент загрузки любой единицы оборудования (k_j^3) при выполнении роботом транспортно-логистических функций удовлетворяет условию, которое описывается неравенством следующего вида:

$$K_j^3 \leq k_j^3 \leq K_j^3 + \Sigma,$$

где Σ – заданная величина, характеризующая допустимое изменение планируемого коэффициента загрузки технологического оборудования. Во-вторых, созданная система межоперационной логистики для высокоавтоматизированной производственной структуры будет обеспечивать бесперебойное обслуживание роботом оборудования.

В качестве целевой функции эффективности для системы межоперационной логистики могут выступать различные экономические и финансовые показатели [3]. Например, может выбираться максимум чистого дисконтированного дохода (Net Present Value – NPV), достигаемого

на интервале жизненного цикла реализации проекта по созданию и использованию системы межоперационной логистики. Также может использоваться минимум интегральных затрат на интервале жизненного цикла данного проекта. Подобные затраты связаны с приобретением совокупности элементов и их интеграции в высокоавтоматизированную производственную структуру. Такими элементами выступают [5]: основное оборудование, выполняющее операции над предметами труда; робототехника и накопительные устройства, являющиеся составляющими логистической системы; распределенные информационные системы, обеспечивающие компьютерное управление производственным процессом.

В процессе эксплуатации созданных высокоавтоматизированных производственных звеньев система межоперационной логистики должна обеспечивать минимальные простои элементов звена за счет организации бесперебойного обслуживания роботом оборудования. Критерием эффективности будет выступать минимум текущих затрат на содержание и эксплуатацию сформированных комплектов за весь срок их функционирования. Требования к величине k_j^3 остаются теми же, что и в предыдущем случае и учитывают ряд условий: 1) бесперебойность режима обслуживания роботом оборудования; 2) обязательность выполнения высокоавтоматизированной производственной структурой планируемой производственной программы.

Задача формирования и использования системы межоперационной логистики в высокоавтоматизированной производственной структуре для обеспечения бесперебойного обслуживания роботом оборудования, относится к классу комбинаторных задач. Точное решение подобных задач

можно получить двумя путями: 1) путем полного перебора всех возможных вариантов включения оборудования в высокоавтоматизированные производственные звенья (комплекты); 2) путем проектирования всех возможных вариантов закрепления операций за технологическим оборудованием этих звеньев. При большом количестве технологического оборудования, входящего в состав высокоавтоматизированной производственной системы, такие задачи трудно решить даже с помощью существующих компьютерных программ. Поэтому разработка приближенных методов решения комбинаторных задач при создании системы межоперационной логистики представляет для менеджмента высокотехнологичного предприятия практический интерес. В статье предлагается один из приближенных методов решения, его идея такова: межоперационную логистику разрабатывают для производственной системы, где логистические функции реализует промышленный робот, а технологическое оборудование выполняет пропорциональные операции.

Для этого класса операций величину оперативного времени выполнения j -й операции (t_j^{on}) определяют из соотношения следующего вида:

$$t_j^{on} = A_j^d,$$

где A_j – натуральные числа; d – минимальное оперативное время из всей совокупности операций, выполняемых оборудованием, входящим в сформированный комплект. Величина d определяется следующим образом:

$$d = \min t_j^{on}.$$

Будем считать, что заданы M пропорциональных операций, причем каждая из них характеризуется параметрами t_j^{on} , t_j^3 , K_j^3 . Допустимое превышение загрузки технологического оборудования по отношению к планируемой величине загрузки составляет Σ . Требуется, закрепив это количество операций за оборудованием высокоавтоматизированных производственных звеньев (комплектов), организовать систему межоперационной логистики так, чтобы обеспечить бесперебойное обслуживание роботом оборудования. В предложенном алгоритме для всех операций высокоавтоматизированной производственной структуры рассчитыва-

ются величины $\tau_j = [\tau_j^{on}]$, где символ $[]$ означает целую часть числа. Параметр τ_j представляет период повторяемости j -й операции, при котором коэффициент загрузки оборудования, выполняющего эту операцию (с точностью до округления результата деления), равен K_j^3 .

Примем $d = \min \tau_j$. Рассчитанные на предыдущем шаге периоды повторяемости проверяются на пропорциональность. Подобная проверка предполагает, что для каждой операции определяется, во-первых, величина $\dot{A}_j = [\tau_j / d]$, во-вторых, фактический коэффициент загрузки k_j^3 при выполнении данной операции в сформированном высокоавтоматизированном производственном звене (комплекте). Поскольку выполняемые операции характеризуются коэффициентом пропорциональности d , в этом случае коэффициент загрузки оборудования, выполняющего j -ю операцию, будет определяться следующим образом:

$$k_j^3 = \frac{\tau_j^{on}}{\dot{A}_j \cdot d}.$$

Технологическая операция может быть выполнена в высокоавтоматизированном производственном звене при условии, что k_j^3 находится в пределах допустимого отклонения параметра Σ от значения планируемого коэффициента загрузки j -го оборудования K_j^3 .

Затем выполняется окончательная проверка допустимости включения оборудования в состав высокоавтоматизированного производственного звена. Эта проверка состоит в контроле основного условия организации бесперебойного выполнения роботом транспортно-логистических функций при обслуживании оборудования. В этом случае должно выполняться такое равенство:

$$T^3 = d,$$

где T^3 – суммарное время выполнения роботом логистических функций при обслуживании оборудования. Если на предыдущем шаге алгоритма получается, что $T^3 = d$, это значит, что робот, выполняя транспортно-логистические функции, не успеет обслужить все единицы технологического оборудования, входящие в состав высокоавтоматизированной производственной структуры. В этой ситуации в структуре возникнут потери времени вследствие простоя оборудования.

Поэтому количество оборудования, рекомендованного к включению в состав высокоавтоматизированного производственного звена, необходимо уменьшить. Количество технологического оборудования в зоне обслуживания робота не должно превышать допустимое количество. В противном случае робот не выполнит транспортно-логистические функции.

Для реализации описанного метода формирования системы межоперационной логистики, ориентированной на организацию бесперебойного обслуживания роботом оборудования, можно построить алгоритм вычислений. Его основу будет составлять механизм последовательного выделения высокоавтоматизированных производственных звеньев (комплектов) из состава гибкой производственной системы.

Для каждой j -й операции рассчитывают период ее повторения τ_j . После операции упорядочивают в соответствии с возрастанием τ_j , а затем осуществляют пошаговый процесс формирования высокоавтоматизированных производственных звеньев (комплектов). На каждом шаге за величину d следует принимать значение τ_j^3 для первой в последовательности операции. Далее к ней следует подбирать другие операции, исходя из пропорциональности, допустимости величины k_j^3 и возможности организации бесперебойного обслуживания роботом оборудования. Необходимо учитывать количество технологического оборудования, которое может находиться в зоне обслуживания робота. Изменяя величины планируемого коэффициента загрузки оборудования в допустимых границах, определяемых условиями функционирования гибкого автоматизированного производства, можно получить различные варианты межоперационной логистики. Несмотря на то что каждый из этих вариантов будет ориентирован на обеспечение бесперебойного обслуживания роботом оборудования, каждому из вариантов будет соответствовать свое значение целевой функции эффективности. Выбор варианта, обеспечивающего близкое к оптимуму целевой функции значение, позволяет говорить о квазиоптимальном характере предлагаемого нами приближенного метода оценки эффективности создания и использования системы межоперационной

логистики для высокоавтоматизированной производственной структуры. Предложенный в статье метод гарантирует загрузку технологического оборудования не ниже планируемой величины и с отклонением от нее не больше заданной величины Σ . Соблюдается ограничение на количество оборудования, которое может находиться в зоне обслуживания робота. Данный метод может быть использован менеджментом высокотехнологичного предприятия при принятии управленческих решений в сфере логистики. Преимущества метода обусловлены тем, что процесс формирования системы межоперационной логистики ориентирован на организацию бесперебойного обслуживания роботом оборудования высокоавтоматизированной производственной структуры. Этот процесс формализован путем создания соответствующих алгоритмов и конкретных экономико-математических моделей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреев В.Н., Еленева Ю.А., Еленева Ю.Я. Технологический капитал промышленного предприятия: структура, эффективность использования. – М.: МГТУ «Станкин», 2012. – 80 с.
2. Воронков А.Н. Логистика: основы операционной деятельности: учебное пособие. – Н. Новгород: изд. ННГАСУ, 2013. – 168 с.
3. Григорьев М.Н., Уваров С.А. Логистика. Базовый курс: Учебник. – М.: Юрайт, 2011. – 782 с.
4. Григорьев С.Н., Кутин А.А. Организация и управление сложным машиностроительным производством на основе CALS-технологий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 4–2. – С. 403–407.
5. Логистика и управление цепями поставок. Теория и практика. Основные и обеспечивающие функциональные подсистемы логистики / Под ред. Б.А. Аникина и Т.А. Родкиной. – М.: Проспект, 2011. – 608 с.
6. Точков А.Г., Кузнецов В.П. Логистический подход в управлении предприятиями машиностроения. – Н. Новгород: ВГИПУ, 2008. – 171 с.