

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ ОДНОРОДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СРЕД С ОДНОВРЕМЕННОЙ НАСТРОЙКОЙ

Коновалова О.А., Нурулин Ю.Р., Редько С.Г.

*ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
Санкт-Петербург, e-mail: danilenko81@yandex.ru, yury.nurulin@gmail.com, redko_sg@spbstu.ru*

Создание однородных производственных сред (ОПС), основанных на инновационных структурных и организационных принципах, является одним из перспективных направлений развития производственных структур. Построение подобных производственных систем может быть одним из вариантов перехода промышленности на тот уровень эффективности управления, повышения производительности труда, качества продукции и экономии ресурсов, который требуется в современных условиях. Такие системы, состоящие из элементарных производственных модулей, характеризуются конструктивной однородностью, переменностью структуры и параллельностью операций. В частности, в статье рассматриваются стационарные однородные производственные среды с одновременной настройкой орудий труда. Предложены коэффициент избыточности оборудования единичного элементарного модуля, а также коэффициент избыточности оборудования всей однородной производственной среды. Рассмотрены один из возможных вариантов компоновки стационарной ОПС с одновременной настройкой и индивидуальной накопительной системой на плоскости и в пространстве, а также вариант ОПС со специализацией элементарных модулей. Результаты исследования могут быть использованы для построения модели стационарной среды с одновременной настройкой, для общей оценки производительности ОПС, а также могут учитываться разработчиком в каждом конкретном случае решения оптимизационной задачи.

Ключевые слова: процессные инновации, производственный менеджмент, однородные производственные среды, элементарные производственные модули

INVESTIGATION OF STATIONARY HOMOGENEOUS PRODUCTION ENVIRONMENTS WITH SIMULTANEOUS ADJUSTMENT

Konovalova O.A., Nurulin Yu.R., Redko S.G.

*Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University (SPbPU), Saint Petersburg,
e-mail: danilenko81@yandex.ru, yury.nurulin@gmail.com, redko_sg@spbstu.ru*

The creation of homogeneous production environments (HPEs) based on innovative structural and organizational principles is one of the promising directions for the production structures development. The construction of such production systems can be one of the options for the industry transition to the level of management efficiency, increasing labor productivity, product quality and saving resources, that is required in modern conditions. Such systems consisting of elementary production modules are characterized by constructive uniformity, variability of structure and parallelism of operations. In particular, the article considers stationary homogeneous production environments with tools simultaneous adjustment. The equipment redundancy coefficient of a single elementary module and also the equipment redundancy coefficient of the entire homogeneous production environment are proposed. One of the possible options for the layout stationary HPEs with simultaneous configuration and an individual storage system on the plane and in space and also a variant of HPEs with specialization of elementary modules are considered. The study results can be used to build a model of a stationary environment with simultaneous configuration, for a general assessment of the HPEs performance and can also be taken into account by the developer in each specific case of solving an optimization problem.

Keywords: process innovations, production management, homogeneous production environments, elementary production modules

Инновации и наукоемкие производства являются главной движущей силой динамически устойчивого роста общественного производства. Работы современных авторов доказывают актуальность и перспективность создания однородных производственных сред [1–3]. Однородные производственные среды (ОПС) – это такие производственные системы, при построении которых учитываются принципы конструктивной однородности, переменности структуры и параллельности операций. Подобные структуры состоят из элементарных производственных модулей (ЭПМ), имеющих одинаковые настраиваемые связи

для обмена информацией и материальными потоками, функционально полных в рамках реализуемого производства и настраиваемых на одну из функций (операций). За счет изменения количества ЭПМ и их функциональных возможностей такие системы обладают, можно сказать, неограниченными возможностями по изменению своей производительности. В таких средах достигается безызбыточность компоновочных решений, максимально удовлетворяющих изменяющимся критериям функционирования производства.

Областью исследования являются процессные инновации, под которыми под-

разумеаются новые методы организации производства. Целью работы является анализ возможных вариантов компоновочных решений стационарных однородных производственных сред с одновременной настройкой орудий труда.

Материалы и методы исследования

Результаты исследования получены с применением общенаучных методов параметрического и корреляционного анализа.

Результаты исследования и их обсуждение

По признаку стационарности (мобильности) ЭПМ и предметов труда в системе координат ОПС делятся на три класса: стационарные, полустационарные и нестационарные (мобильные) [4, 5].

В стационарных ОПС осуществляется транспортировка предметов труда по технологической среде, которая состоит из элементарных модулей, стационарно установленных на рабочих местах. В полустационарных ОПС предметы труда фиксируются на рабочие места, а орудия труда транспортируются, образуя вокруг предметов труда оптимальную технологическую среду. Нестационарные ОПС характеризуются мобильностью как орудий, так и предметов труда в ходе технологического процесса. При этом в каждом из этих классов среды по способу настройки орудий труда делятся на среды с предварительной настройкой и среды с одновременной настройкой.

Среды с предварительной настройкой состоят из ЭПМ, требующих предварительной настройки компонентов для выполнения заданной группы технологических операций.

Среды с одновременной настройкой состоят из ЭПМ, которые в своем составе постоянно содержат необходимые ресурсы для реализации всех операций.

В стационарных ОПС с одновременной настройкой (СОН) каждый модуль в любой момент времени содержит функционально полный набор компонентов (технологических устройств) $\{a_1, a_2, \dots, a_w\}_i, i = \overline{1, S}$ (S – число ЭПМ в ОПС), позволяющих выполнить всю совокупность операций $\{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m\}$, реализуемых в ОПС и подготовленных к немедленному исполнению. В этих условиях все ЭПМ в каждый момент времени являются совершенно одинаковыми по составу и возможностям, если не учитывать отказы отдельных устройств и блоков в модулях [6, 7]. Любой модуль в СОН может выполнять все функции системы со своей относительно низкой еди-

ничной производительностью, представляя собой, таким образом, ОПС в минимальном составе. Обработка каждого изделия в таких ОПС начинается и завершается в пределах одного ЭПМ после выполнения соответствующих транспортных операций.

В СОН компоненты элементарных модулей на этапе создания среды стационарно устанавливаются на фиксированные рабочие места. Это приводит к ограничениям по их перемещению внутри ОПС и к снижению функциональных возможностей. Операции настройки в СОН предполагают действия по возобновлению в ЭПМ расходоуемого ресурса и смены износившихся инструментов и оснастки, которые вместе с предметами труда перемещаются по среде в результате транспортных операций.

Фиксация универсальных (функционально полных) орудий труда на рабочих местах ведет к их избыточности при обработке усредненных изделий и пониженному коэффициенту использования всего ресурса, что предопределяет снижение экономичности системы. В конкретный момент времени используется лишь часть оборудования каждого модуля, другая часть простаивает, но готова к немедленному использованию, что предопределяет высокую реактивность и производительность. Избыточность оборудования ЭПМ можно определить через следующий коэффициент:

$$K_M = \sum_{i=1}^{M_y} (T_o - t_i) / T_o M_y, \quad (1)$$

где M_y – число устройств, используемых в ЭПМ; T_o – общий фонд времени работы ЭПМ; t_i – рабочее время i -го устройства.

В тех случаях, когда все оборудование модуля постоянно используется ($t_i \approx T_o, i = \overline{1, M_y}$), коэффициент избыточности близок к нулю. Другой вариант, когда, например, одно устройство в модуле работает, а другие являются вспомогательными и функционируют в редкие моменты времени: $t_1, \dots, t_{i-1} \approx 0, t_i = T_o; t_{i+1}, \dots, t_{M_y} \approx 0$. В этом варианте значение коэффициента избыточности приближается к 1. Для примера будем считать, что в состав элементарного модуля входят три подсистемы: технологическая, манипуляционная и накопительная. Использование НС связано с хранением в накопительных ячейках предметов материального потока. Пусть в НС модуля имеется $M_{я}$ ячеек. Время использования каждой ячейки в рабочий период составляет $t_j, j = \overline{1, M_{я}}$. Тогда среднее время использования накопительной системы:

$$\bar{t}_h = \sum_{j=1}^{M_y} t_j / M_y. \quad (2)$$

Время использования соответственно технологической, манипуляционной и накопительной подсистем примем равным: $t_T = 0,9T_0$; $t_M = 0,3T_0$; $t_H = 0,9T_0$. В этом случае коэффициент избыточности модуля равен $K_M = 0,3$. Обратим внимание на то, что в примере $t_T + t_M > T_0$. Это условие соответствует параллельному функционированию подсистем в процессе работы модуля.

Можно получить коэффициент избыточности всей ОПС:

$$K_c = \frac{\sum_{j=1}^S \sum_{i=1}^{M_y} (T_0 - T_{ji})}{T_0 M_y S} \quad (3).$$

СОН относятся к наиболее живучим по критерию функциональной полноты сред. Это связано с тем, что каждый модуль обладает всем набором операций $\{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{M_0}\}$, реализуемых в ОПС. Живучесть по критерию функциональной полноты среды достигается в СОН за счет избыточности, содержащейся в каждом ЭПМ.

Один из возможных вариантов стационарной ОПС с одновременной настройкой и индивидуальной накопительной системой

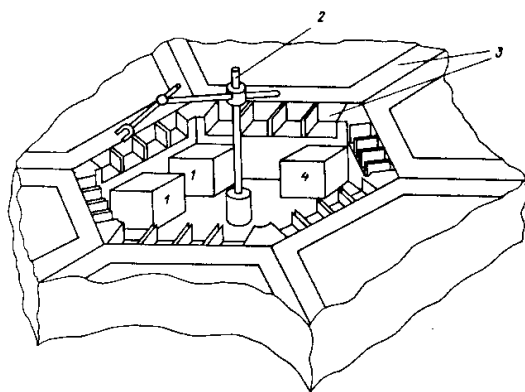


Рис. 1. Вариант компоновки стационарной ОПС с одновременной настройкой и индивидуальной накопительной системой
 $N_2 = 6, N_2^{nc} = 6;$

- 1 – технологическое оборудование,
- 2 – свободно-программируемый робот,
- 3 – индивидуальная накопительная система,
- 4 – терминальная система управления

Здесь принято расположение ОПС на плоскости, когда модули образуют параллелограммы, например шестиугольники. Каждый из однородных функционально полных модулей содержит технологическое обо-

рудование, свободно программируемый робот, терминальную систему управления на базе ЭВМ и индивидуальную накопительную систему, расположенную на границах модуля. Накопители соседних модулей имеют общие грани, доступные внутримодульным средствам-роботам двух соседних модулей. Таким образом, для реализации материальных потоков (изделий, инструмента, отходов и т.д.) могут быть использованы связи с шестью соседними модулями. За счет цепочки последовательных передач от модуля к модулю можно выполнять транспортную операцию между любыми произвольно расположенными модулями ОПС.

Предлагаемая структура ОПС занимает под модули всю площадь – без неиспользуемых участков. Если поставить задачу плотной упаковки ОПС не на плоскости, а в пространстве, то каждый модуль будет занимать элементарный объем параллеледэдра. Возможное число накопителей, размещаемых на гранях параллеледэдров, увеличивается. Робот в каждом модуле должен выполнять свободно-программируемые движения в пространстве параллеледэдра, связывая соседние модули транспортными потоками. В некоторых случаях целесообразно не фиксировать ЭПМ на рабочих местах. Если в среде предусмотреть средства перемещения модулей относительно друг друга, то эта возможность позволит, например, выводить любой модуль на периферию среды для пополнения расходуемого ресурса, замены инструментов, профилактики, контроля и ремонта оборудования. Перемещение модулей обеспечивает среде свойство мобильности, следовательно, появляется дополнительная гибкость. Мобильность ЭПМ в этом случае не выводит среду из класса стационарных, так как по-прежнему предметы труда транспортируются по ОПС. Процедура транспортировки модулей по среде упрощается, если каждый из них обладает индивидуальной накопительной системой и является конструктивно самостоятельной единицей.

В качестве стратегии продвижения модуля к границе среды могут быть выбраны принципы построения игры «15». На рис. 2 показана последовательность продвижения четвертого ЭПМ к границе среды. Последовательность включает две фазы перехода (рис. 2, а). В первой фазе первый модуль перемещается влево и освобождает свою позицию для четвертого модуля (рис. 2, б). Во второй фазе четвертый модуль занимает освободившуюся позицию (рис. 2, в). Это не единственный вариант при показанном исходном расположении модулей в ОПС; в другом варианте в первой фазе третий модуль перемещается вверх.

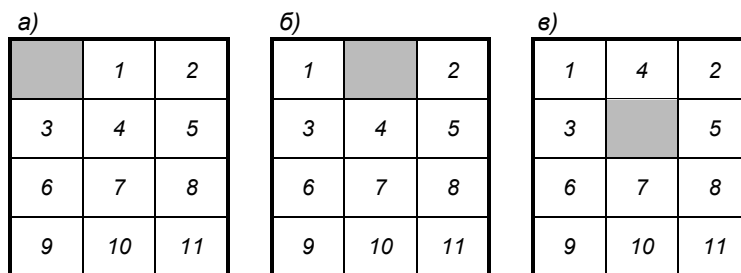


Рис. 2. Последовательность перемещений элементарных модулей в среде для вывода ЭПМ № 4 на границу ОПС

Решение выбора варианта принимает система управления ОПС согласно некоторому правилу и текущей обстановке в среде, а также с учетом расположения входов и выходов материального потока.

Штриховкой показано свободное рабочее место элементарного модуля

Использование в каждом ЭПМ функционально-полного набора оборудования имеет свои недостатки, связанные со следующим:

- со снижением коэффициента использования всех ресурсов и снижением экономичности в целом;

- с ограниченной рабочей зоной технологического оборудования в каждом ЭПМ, что ведет к сложностям по взаимодействию модулей между собой при выполнении технологических операций, например при одновременной обработке крупногабаритных изделий элементарного производственного модуля;

- с ограничением зоны действия внутримодульных транспортных средств из-за накопителей, распределенных вдоль границ каждого ЭПМ, что ведет к снижению коэффициента использования производственных площадей и гибкости ОПС.

Расширение технологических и функциональных возможностей ОПС в некоторых случаях возможно при специализации элементарных модулей по технологическим и накопительным функциям. Их реализуют соответственно технологические и накопительные элементарные модули (ТЭПМ и НЭПМ). Модули расположены в пространстве таким образом, что каждый из них, являющийся центральным относительно окружающих его модулей, выполняет накопительные функции. Он установлен с возможностью доступа к нему любого из соприкасающихся (соседних) модулей, реализующих технологические операции. Основной принцип расположения НЭПМ поясняется рис. 3. Введенная специализация модулей изменяет параметры среды. Технологические модули вместо шести свя-

зей с соседними ЭПМ в новой компоновке имеют только три, что снижает число возможных транспортных маршрутов для объектов материального потока.

Сосредоточение накопительных функций в НЭПМ расширяет возможности ТЭПМ по координации совместных действий. Ячейки накопительной системы, ранее расположенные по периметру, не являются более конструктивным барьером для совместных действий модулей по обработке габаритных деталей.

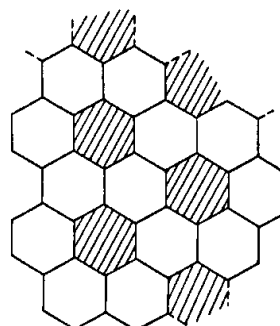


Рис. 3. ОПС со специализацией элементарных модулей. (штриховкой показано расположение распределенной накопительной системы в форме накопительных модулей)

Если рассматривать вопрос живучести применительно к ОПС со специализацией модулей, то при использовании стационарных модулей-накопителей некоторые объекты материального потока могут оказаться «замороженными». Это произойдет в том случае, если границы накопительного модуля будут распределены между ТЭПМ. Для повышения живучести таких ОПС можно предложить несколько вариантов. Среди них рассмотрим два.

Первый вариант связан с расширением рабочей зоны манипуляционных операций технологических модулей. Если модули будут иметь возможность доступа к накопи-

тельными граням соседних модулей, то живучесть накопительной системы существенно повысится. К каждой ячейке накопителя будут иметь доступ три ТЭПМ, что больше даже по сравнению с ОПС без специализации модулей, в которых к одной ячейке могут обратиться только два соседних модуля в среде с соседоточенными операциями. Рабочая область манипуляционных операций одного ТЭПМ показана на рис. 4.

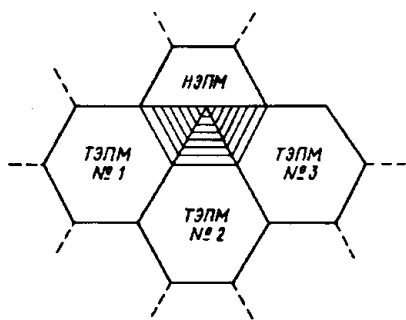


Рис. 4. Рабочая область манипуляционных операций второго ТЭПМ (показано штриховкой)

НЭПМ – накопительный элементарный модуль
ТЭПМ – технологический элементарный модуль

Второй вариант предусматривает использование вращающегося вокруг своей оси модуля-накопителя. Это обеспечивает доступ к каждой ячейке накопителя шести ТЭПМ, что приводит к дальнейшему повышению живучести накопительной системы. При этом сложность ТЭПМ, связанная с расширением рабочей области, не увеличивается. Технологические модули могут по-прежнему выполнять только соседоточенные операции. Этот путь предполагает повышенную связность ТЭПМ, имеющих доступ к одному НЭПМ, благодаря манипуляционным операциям. Вращение НЭПМ возможно лишь в те отрезки времени, когда ни один ТЭПМ не обменивается с накопителем. Координацию и согласованные движения шести ТЭПМ и одного НЭПМ выполняет система управления. Приоритеты обслуживания одним накопителем шести модулей могут быть различными. Эти приоритеты могут изменяться в процессе функционирования среды в зависимости от текущей производственной ситуации. Повышение производительности накопительных операций связано с возможностью вращения НЭПМ в обоих на-

правлениях. Подвижность накопительного модуля, несомненно, повышает качество ОПС, но одновременно увеличивает ее сложность как на этапе проектирования, так и на этапе эксплуатации.

Заключение

Инновационная экономика неразрывно связана с созданием и внедрением новых видов технологического оборудования, систем управления и производственных процессов, дающих наивысшую эффективность. Разработанные и предложенные в статье варианты компоновки стационарной ОПС с одновременной настройкой с индивидуальной накопительной системой, а также со специализацией элементарных модулей могут учитываться разработчиками в каждом случае решения оптимизационной задачи. Благодаря переходу к производственным системам, состоящим из однотипных модулей с регулярными информационными и материальными связями между ними, существенно упростится их разработка, изготовление, наладка и эксплуатация. В таких системах возможно достижение безызыточности компоновки, что наилучшим образом сможет соответствовать изменяющимся критериям функционирования производственных систем.

Список литературы

1. Konovalova O.A., Nurulin Yu.R., Redko S.G. Organizing Cyber-Physical Homogeneous Production Environments. 2020. International Russian Automation Conference, RusAutoCon. 2020. P. 93–97.
2. Аблязов В.И., Тисенко В.Н. Сущность процессов совершенствования бизнеса в целом и инновационного развития в частности // Инновации. 2017. Т. 11. С. 60–66.
3. Цветкова Н.А., Туккель И.Л. Модели распространения инноваций: от описания к управлению инновационными процессами // Инновации. 2017. № 11 (229). С. 106–111.
4. Сергеев В.А. Разработка и исследование алгоритмов диспетчеризации в линейных стационарных однородных производственных средах. автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ленинград, 1991. 15 с.
5. Коновалова О.А., Коновалов А.М. Классификационные признаки и параметры однородных производственных сред // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2019. № 6 (267). С. 43–50.
6. Сорокин С.О. Оптимизационное моделирование функционирования системы однородных объектов в многоаспектной цифровой среде // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. Т. 6. № 3 (22). С. 153–164.
7. Сорокин С.О. Цифровизация и оптимизация функционирования системы однородных объектов // Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах: сборник трудов международной молодежной научной школы. 2018. С. 25–30.