

УДК 629.463.3

©Булгакова Ю.В.*

**РАССМОТРЕНИЕ МНОГОПРОДУКТОВОЙ СИСТЕМЫ КАНБАН
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОЦЕССУ ПРОИЗВОДСТВА ВАГОН-ЦИСТЕРН**

Модель многопродуктовой системы Канбан, представленная в виде последовательных фаз сборки продукции разных видов партиями, рассмотрена применительно к процессу производства вагон-цистерн. Для математического описания применен аппарат сетей Маркова, в качестве критериев оптимизации выбраны: среднее количество запасов незавершенного производства в системе, среднее количество немедленно удовлетворенных требований.

Ключевые слова: производство вагон-цистерн, система Канбан, сеть Маркова.

Булгакова Ю.В. Розгляд багато продуктової системи Канбан стосовно до процесу виробництва вагон-цистерн. Модель багатопродуктової системи Канбан, що представлена у вигляді послідовних фаз збирання продукції різних видів партіями, розглянута стосовно до процесу виробництва вагон-цистерн. Для математичного опису застосовано апарат мереж Маркова, в якості критеріїв оптимізації обрані: середня кількість запасів незавершеного виробництва в системі, середня кількість негайно задоволених вимог.

Ключові слова: виробництво вагон-цистерн, система Канбан, мережа Маркова.

Ju.V. Bulgakova. Consideration of multi-product Kanban system for tank-cars assembly. The model of multi-product Kanban system, presented as successive lot size production phases of multi-product assembly, was analyzed with regard to the process of tank-car production. For the mathematical description Markov chains apparatus was applied, as an optimization criterion average inventory level and average fill rate were selected.

Keywords: tank-cars production, Kanban system, Markov chain.

Постановка проблемы. Процесс выпуска вагон-цистерн представляет собой сложную систему, которая должна обеспечивать синхронизацию материального и информационного потоков для сохранения непрерывного выпуска готовой продукции в нужное время, в нужном количестве. Совершенствования системы может быть достигнуто путем организации ее работы по принципам Just-in-time и внедрения системы Канбан.

Укрупненный производственный цикл сборки вагон-цистерны состоит из изготовления узлов цистерны: котла (9 суток), рамы (11 суток), тележек (9 суток), и непосредственной сборки цистерны (2 суток). Общее время цикла – 13 суток. Изготовление узлов и деталей имеет разную длительность производственных циклов и начинается задолго до конечной сборки.

Производство организовано таким образом, что цистерны разных типов изготавливаются партиями. В цех поступает технологическая карта, после чего некоторое время происходит наладка линии под изготовление определенного вида продукции. После окончания производства партии вагон-цистерн поступает новая технологическая карта. Кроме того, некоторые производственные цеха выпускают разные виды комплектующих для разных видов вагон-цистерн.

Следовательно, работу цеха конечной сборки и некоторых цехов, поставляющих комплектующие (например, цеха производств котлов, рам), можно представить в виде многопродуктовой системы Канбан.

Анализ последних исследований и публикаций показал, что вопрос моделирования и оптимизации систем Канбан не рассматривался украинскими учеными ранее, поскольку отсутствует практический опыт внедрения систем Канбан в работу украинских предприятий.

В работах В.И. Сергеева [1] рассмотрен подход к построению систем Канбан, учитывающий стохастичность спроса и синхронизацию с производственным расписанием на основе сети

* аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», Мариуполь

Петри. Методика может быть применена в целях моделирования системы комбината «Азов-маш», но лишь для цехов выпускающих один вид продукции.

Среди зарубежных ученых важно выделить работы Г. Крейга [2], поскольку они охватывают широкий круг вопросов: моделирование одностадийных и многостадийных, однопродуктовых и многопродуктовых систем Канбан; декомпозицию и техники слияний систем Канбан. Однако не все этапы производственного процесса вагон-цистерн можно описать с помощью предложенных методик. Требуются разработки новых моделей подсистем.

Целью статьи является описание модели цеха производства вагон-цистерн с применением модели многостадийной системы Канбан.

Изложение основного материала. Моделирование системы Канбан заключается в поиске оптимального количества карточек канбан и объема канбан-партии при которых запасы незавершенного производства обеспечивают бесперебойный процесс выпуска продукции, но сведен к минимуму [3].

Специфика производства вагон-цистерн затрудняет в большинстве случаев поставку именно оптимальной канбан-партии, поскольку продукция доставляется на значительные расстояния (из соседних цехов), и возможно нерациональное использование подвижного состава. Поэтому в данной статье поставлен вопрос поиска оптимального количество карточек канбан при заданном объеме канбан-партии.

В общем виде многопродуктовую систему Канбан можно представить как систему массового обслуживания. Примем, что входящий поток требований в систему подчиняется закону Пуассона с параметром λ , время производства продукта подчиняется экспоненциальному закону распределения с параметром μ (рис. 1). Эквивалентом такой системы является модель сети Маркова вида $M / M / 1 / N$ [4].

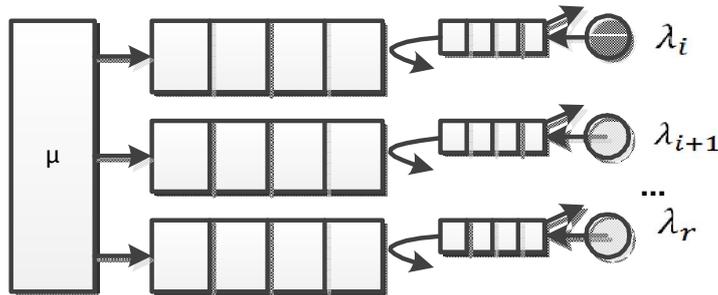


Рис. 1 – Модель многопродуктовой системы Канбан

Описание модели. Производственная мощность настраивается на выпуск продукта $1, \dots, i-1, i+1, \dots, r$ в соответствии с производственным планом. Если планом предусмотрен выпуск продукта i и в системе находится хотя бы одна активная карточка канбан (не прикрепленная к канбан-партии) для продукта i , начинается выпуск этого вида продукта до тех пор, пока количество активных карточек канбан не станет равным нулю. Если в этот момент времени в системе нет активных карточек канбан, тогда производственная мощность простаивает. Для того, что бы происходила немедленная настройка производства под выпуск следующего вида продукции, необходимо наличие в системе хотя бы одной карточки канбан.

Рассмотрим модель с точки зрения одного продукта i . Пусть производственная мощность «отдыхает», в случае если не выпускает продукт i . Период «отдыха» длится с момента настройки производственной мощности на выпуск продукции, отличной от i , либо с момента прекращения выпуска продукта i и начала периода простоя до момента настройки производственной мощности под выпуск продукции i в соответствии с производственным планом. Если каждый продукт имеет одну позицию в производственном плане, период отдыха состоит из $r-1$ фаз.

Состояниями производственной мощности для продукта i являются: настройка (S), производство (B), простой (I), «отдых» (состоит из фаз «отдыха» (V_j) для каждого продукта $j, j = 1, \dots, r; j \neq i$) (рис. 2).

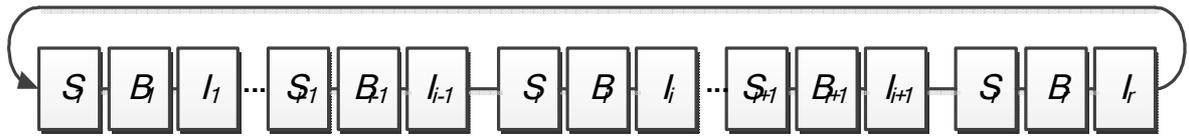


Рис.2 – Модель производственного процесса с r наименований выпускаемого продукта

Как было указано ранее, моделью, наиболее точно отображающей последовательность состояний описанной системы, является система массового обслуживания типа $M / M / 1 / N$.

$N_i(t)$ определяет количество активных карт канбан в системе для продукта i в момент времени $t (i = 1, \dots, r; t \geq 0)$. Тогда $\{N_i(t), t \geq 0\}$ – стохастический процесс в пространстве $\square_i = \{0, \dots, K_i\}$, которому соответствует распределение стационарных вероятностей $p_i(n)$, где K_i количество карточек канбан для продукта i .

$Z_i(t)$ определяет состояние производства для продукта i в момент времени t . Тогда $\{Z_i(t), t \geq 0\}$ – стохастический процесс в пространстве состояний $\square_i = \{S, B, I, V_j, j = 1, \dots, r; j \neq i\}$ и распределением стационарных вероятностей $g_i(n)$.

Определен стохастический процесс $\{[N_i(t), Z_i(t)], t \geq 0\}$. Предположим, что процесс подчиняется экспоненциальному закону распределения с параметром $t_{SBI}^{(j)}$ распределения продолжительности фазы «отдыха».

Процесс $\{[N_i(t), Z_i(t)], t \geq 0\}$ можно представить в виде сети Маркова в пространстве состояний $I_i = \left\{ [(n, S), (n, B), n \in \square_i \setminus \{0\}; (0, I); (n, V_j), n \in \square_i, j = 1, \dots, r; j \neq i] \right\}$ с распределением стационарных вероятностей $q_i(n)$.

$$p_i(n) = \begin{cases} \sum_{z \in \square_i \setminus \{S, B\}} q_i(n, z), \text{ при } n = 0 \\ \sum_{z \in \square_i \setminus \{I\}} q_i(n, z), \text{ при } n \in \square_i \setminus \{0\}, \end{cases} \quad (1)$$

$$g_i(n) = \begin{cases} \sum_{n \in \square_i \setminus \{0\}} q_i(n, z), \text{ при } z = S, B; \\ q_i(0, z), \text{ при } z = I, \\ \sum_{n \in \square_i} q_i(n, z), \text{ при } z = V_j, j = 1, \dots, r; j \neq i. \end{cases} \quad (2)$$

Пусть $t_S^{(i)} (t_B^{(i)}, t_I^{(i)})$ среднее время нахождения производственной мощности в состоянии $S (B, I)$ между двумя периодами «отдыха», $t_{SBI}^{(i)}$ среднее время с момента окончания «отдыха» и началом следующего «отдыха». Поскольку производство может быть только в состояниях S, B, I , время между двумя соседними периодами отдыха определяется как $t_{SBI}^{(i)} = t_B^{(i)} + t_S^{(i)} + t_I^{(i)}$.

Пусть T_i – время от момента окончания периода «отдыха» до момента окончания следующего периода отдыха (рис. 3). Эту величину можно назвать средним временем цикла. $t_V^{(i)}$ определяет среднее время периода отдыха и определяется:

$$t_V^{(i)} = \sum_{j=1, j \neq i}^r t_{SBI}^{(j)}. \quad (3)$$

Тогда время цикла равно

$$T_i = t_{SBI}^{(i)} + t_V^{(i)}. \tag{4}$$

Из распределения $g_i(n)$ распределение среднего времени периода «отдыха» определяется как $g_V^{(i)} = \sum_{j=1; j \neq i}^r g_i(V_j)$. Поскольку $g_V^{(i)} T_i = t_V^{(i)}$, имеем

$$T_i = \frac{t_V^{(i)}}{g_V^{(i)}}. \tag{5}$$

Определим $t_{SBI}^{(i)}$,

$$t_{SBI}^{(i)} = T_i - t_V^{(i)}. \tag{6}$$

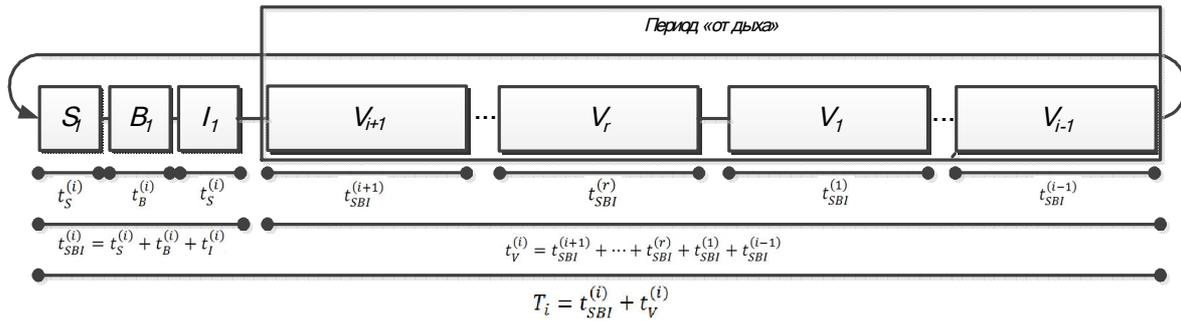


Рис. 3 – Фазовая модель производственного процесса

Вероятности переходов. Переход $(1, B) \rightarrow (0, I)$ определяет переход в состояние постоа в конце периода производства с интенсивностью μ_i' . Такая ситуация наблюдается в случае отсутствия карточек канбан для любого продукта. Иначе производство настраивается на выпуск другого продукта, отличного от i , то есть переходит в стадию «отдыха» - переход $(1, B) \rightarrow (0, V_{i+1})$ с интенсивностью перехода μ_i'' . Пусть E_i означает событие, при котором в конце периода производства отсутствуют активные карточки канбан для продукта i , а $P(E_i)$ – вероятность этого события, тогда мы имеем

$$\mu_i' = P(E_i) \mu_i, \tag{7}$$

$$\mu_i'' = [1 - P(E_i)] \mu_i. \tag{8}$$

Пусть E_{ij} – событие, при котором отсутствуют активные карточки канбан для продукта j в конце периода производства продукта i . Событие E_i появляется только в случае, когда событие E_{ij} появляется для всех $j = 1, \dots, r$ одновременно, тогда

$$P(E_i) = \prod_{j=1}^r P(E_{ij}). \tag{9}$$

По определению $P(E_{ii}) = 1$. Для всех комбинаций $i, j = 1, \dots, r; j \neq i$ $P(E_{ij})$ определяется как условная вероятность того, что отсутствуют активные карточки канбан для продукта j (событие A). Дано, что производственная мощность производит продукт i (событие B), следовательно

$$P(E_{ij}) \approx P(A | B). \tag{10}$$

Для $P(B) > 0$ условная вероятность события A при данном событии B :

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}. \quad (11)$$

Вероятность появления события A и B одновременно, $P(A \cap B)$, приближенно к $q_i(0, V_j)$, вероятность события B , $P(B)$, приближенно к $g_i(V_i)$, следовательно:

$$P(E_{ij}) \approx \frac{q_j(0, V_i)}{g_i(V_i)}. \quad (12)$$

Как было определено ранее, $P(E_{ij})$ – вероятность отсутствия карточек канбан для продукта j в конце производственного цикла продукта i . Такое возможно в случае отсутствия поступления требования на продукт j в период времени с конца производственного цикла продукта j до конца производственного цикла продукта i - t_{ij}

$$t_{ij} = \begin{cases} 0, \text{ при } i = j, \\ \sum_{u=j+1}^{i-1} t_{SBI}^{(u)} + t_S^{(i)} + t_B^{(i)}, \text{ при } i > j, \\ \sum_{u=j+1}^r t_{SBI}^{(u)} + \sum_{u=1}^{i-1} t_{SBI}^{(u)} + t_S^{(i)} + t_B^{(i)}, \text{ при } i < j. \end{cases} \quad (13)$$

Можно определить $P(E_{ij})$ путем расчета вероятности того, что требование для выпуска продукта j не поступит в промежутке t_{ij} . Поскольку поступление требований на продукт j подчиняется закону Пуассона с параметром λ_j ,

$$P(E_{ij}) = e^{-\lambda_j t_{ij}}. \quad (14)$$

В качестве ограничительных параметров определены – среднее количество требований, удовлетворенных немедленно:

$$f_i = 1 - \sum_{n=K_i}^{K_i} p_i(n) \rightarrow 1, \quad (15)$$

средний запас незавершенного производства (среднее количество канбан-партий продукта i , хранящихся выходе производственной стадии):

$$y_i = \sum_{n=0}^{K_i-1} (K_i - n) p_i(n) \rightarrow \min. \quad (16)$$

Применение данной методики требует громоздких расчетов, которые связаны с затратами временных ресурсов, однако автоматизация расчетов (реализация модели в среде программного обеспечения) позволит определить оптимальные параметры системы практически моментально.

Рассмотренная модель может быть использована для расчета параметров отдельно стоящей производственной стадии, в таких условиях сферы ее применения ограничиваются моделированием параметров производственной линии в целом. В реальных условиях все производственные стадии могут быть разбиты на множество взаимосвязанных подсистем. Следовательно, будущие исследования будут направлены на поиск методов слияния отдельных подсистем Канбан в сложную многостадийную, многопродуктовую систему.

Выводы

1. Моделирование системы Канбан заключается в поиске оптимального количества карточек канбан, оборот которых минимизирует запас незавершенного производства, и обеспечит поставку комплектующих на все стадии точно в срок.
2. Предложенная модель многопродуктовой системы Канбан в виде последовательных фаз сборки продукции разных видов партиями точно отображает поведение отдельных стадий производственно-транспортной системы изготовления вагон-цистерн.
3. Сфера применения модели ограничена ввиду ее рассмотрения вне связи с другими производственными стадиями. Дальнейшие исследования направлены на разработку методик слияния подсистем Канбан.

Список использованных источников:

1. Сергеев В.И. Менеджмент в бизнес-логистике. М.: ФИЛИНЪ, 1997. – 772 с.
2. Kreig, G.N., H.Kuhn (2002b) Performance evaluation of two-stage multiproduct kanban systems, IE Transactions 40, 265-283.
3. C. Sendil Kumar, R. Panneerselvam (2007) Literature review of JIT-KANBAN system. Int J Adv Manuf Technol 32: 393-408.
4. Нагаєвський В.І. Методика моделювання системи Канбан на участі сборки вагон-цистер/ В.І. Нагаєвський, Ю.В. Булгакова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: Науковий журнал. – Луганськ, 2011. – Вип. 14. – 2011. – С. 34-37.

Bibliography:

1. Sergeyev V.I. Management in Business and Logistics. M.: FILIN, 1997. – 772 p. (Rus.)
2. Kreig, G.N., H.Kuhn (2002b) Performance evaluation of two-stage multiproduct kanban systems, IE Transactions 40, P. 265-283.
3. C. Sendil Kumar, R. Panneerselvam (2007) Literature review of JIT-KANBAN system. Int J Adv Manuf Technol 32: 393-408.
4. Nagaievskiy V.I. Kanban system simulation for tank cars tracks assembly/ V.I. Nagaievskiy, Yu.V. Bulgakova // Visnik Skhidnoukrainskogo natsionalnogo universitetu imeni Volodimira Dallya: Naukoviy zhurnal. – Lugansk, 2011. – Vip. 14. – 2011. – S. 34-37. (Rus.)

Рецензент: В.К. Губенко
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ЛГТУ»

Статья поступила 01.04.2012