

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СКЛАДА

Курочкина А.А.<sup>1</sup>, Бикезина Т.В.<sup>1</sup>, Сергеев С.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – *Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия, kurochkinaanna@yandex.ru*

<sup>2</sup> – *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия*

**Аннотация.** Изучен гибко перестраиваемый склад с различными степенями перегруппировки для стохастического товарного потока, существующего в гибкой производственной системе.

Ключевые слова: модель, автоматизация, анализ, склад

Внедрение интерактивных цифровых технологий обеспечило широкое применение гибких производственных систем (FMS). Это позволяет обобщать их составные элементы для придания им формы [1], в которой автоматический склад (AW) является одним из важнейших элементов, в значительной степени определяющих показатели всего производства. Согласно информации, предоставленной производственными компаниями, средняя фабрика использует до 40% промышленных площадей для складских помещений имеющих высокую стоимость, в то время как их объемное пространство используется очень мало [2]. Хотя проблема повышения гибкости базового оборудования FMS решается в целом как разработкой программного обеспечения, так и большим разнообразием инструментов и приспособлений для обработки, в настоящее время для автоматических складов в основном совершенствуются алгоритмы работы робота - штабелера, имеющие определенный предел, обусловленный жестко определенной структурой подавляющего большинства [3] конструкций AW. Поскольку все товары, поступающие в AW, имеют цифровую маркировку (штрих-код, QR-коды, RFID), что позволяет осуществлять межмашинное взаимодействие (M2M), информация о размерах и весе товаров доступна для сервера управления складом.

Чтобы повысить степень гибкости [4] автоматических складов и сделать ее более релевантной другим элементам FMS, необходимо обеспечить возможность гибкой перестройки ее конструкции для соответствия параметрам товаров, подлежащих хранению. Исследования и анализ современных складов доказывают, что в настоящее время, принимая во внимание технические возможности, наиболее рациональным решением является реализация автоматических складов с ячейками перестраиваемых размеров. Для эффективного развития таких систем необходимо разработать методы расчета их основных показателей [5] с учетом основных особенностей работы как компонента FMS [6].

Автоматизированные склады, спроектированные и эксплуатируемые в настоящее время, представляют собой систему многоячейстых стеллажей, обслуживаемых роботом-штабелером, размеры ячеек определяются во время проектирования и не изменяются после строительства склада. Объем  $V$  товаров, хранящихся на складе, является переменным, а пределы диапазона его изменения обусловлены производительностью оборудования, используемого в ФМС и вспомогательных объектах (транспорт, роботы и т. п.), известны заранее, что может быть выражено отношением  $V_{\min} < V < V_{\max}$ .

Кроме того, объемы товаров в потоке поставок на такие склады имеют стохастические значения, которые могут характеризоваться плотностью распределения, на которую также влияют такие основные факторы, как ориентация производства, используемое оборудование а также производственная программа. Алгоритмы управления, реализованные для производственной программы, являются тем конкретным рычагом, который можно использовать для воздействия на индексы FMS в целом и работу автоматического склада в частности.

Пусть  $n$  - количество единиц товаров в ячейке в зависимости от объема  $V$  (характеристика  $D_1$ ); другая характеристика  $D_2$ , соответствующая идеальному варианту размещения, включающая различные объемы товаров на складе, в то время как любая характеристика размещения на жестком складе всегда будет ниже  $D_2$ . Для оценки показателей автоматического склада использовались данные о распределении объемов в товарном потоке. Если предположить, что  $V_1 = V_{\max}$ ,  $V_2 \dots V_p = V_{\min}$  это ступени на характеристической кривой размещения  $D_1$ , то  $C_N$  - количество ячеек, необходимое для размещения единиц товара, будет рассчитано по формуле:

$C_N = \sum_{i=1}^{p-1} \text{entier} \left( \frac{N}{i} \int_{V_{i-1}}^{V_i} P_V(V) dV \right)$ . Для оптимальной расстановки товаров существуют

следующие значения:  $C_N = \text{entier} \left( \frac{N}{n^*} \int_{V_{\min}}^{V_{\max}/n^*} P_V(V) dV \right) + \sum_{i=1}^{n^*-1} \text{entier} \left( \frac{N}{i} \int_{\frac{V_{\max}}{i+1}}^{\frac{V_{\max}}{i}} P_V(V) dV \right)$ .

Очевидно, что  $C_N \geq \bar{C}_N$ . На основании полученных значений можно определить наиболее важный параметр склада, то есть коэффициент использования объема, который численно равен значению отношения занятого объема ячеек, где складываются товары, к их общему количеству и обозначается как  $K_V$ . Принимая это во внимание, для жесткого складирования (индекс "r") имеем:  $V_{\max} K_V^{(r)} = V_N / C_N V_{\max}$ ,

где  $V_N = N \int_{V_{\min}}^{V_{\max}} P_V(V) dV$  - собственно количество  $N$  товаров на складе, а при оценке

значения  $K_V^{(r)}$  необходимо использовать соотношение:  $K_V^{(r)} \leq \bar{K}_V^{(r)}$ , где  $\bar{K}_V^{(r)} = V_N / \bar{C}_N V_{\max}$ . Следует отметить, что  $K_V$  зависит от  $P_V(V)$ ,  $V_{\min}$ ,  $V_{\max}$ ,  $n^*$ , кроме того, оно зависит в определенной степени от  $N$ , однако при больших значениях  $N$  его влияние настолько незначительно, что им можно пренебречь в большинстве случаев. Кроме того, с обычно используемым нормализованным распределением влияние оказывает только значение отношения  $q = V_{\max} / V_{\min}$ .

### Литература

1. Сергеев С.М. Моделирование клиентских потоков в узле ритейлера // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2012. №3 (149). с. 129-133.
2. Сергеев С.М. К вопросу моделирования рыночных стратегий при неполной информации // Современные методы прикладной математики, теории управления и компьютерных технологий (ПМТУКТ-2015) Сборник трудов VIII Международной конференции. 2015. с. 326-328.

3. Sergeev S.M. Expansion of DEA methodology on the multimodal conception for the 3PL // В сборнике: Modern informatization problems in simulation and social technologies Proceedings of the XXIII-th International Open Science Conference. Editor in Chief O.Ja. Kravets. 2018. С. 169-176.
4. Курочкина А.А., Сергеев С.М. Моделирование и оптимизация расчета омниканального взаимодействия в гостиничной индустрии // Проблемы современной экономики. 2018. № 1 (65). С. 170-173.
5. Курочкина А.А., Лукина О.В., Сергеев С.М. Планирование ресурсной загрузки самых посещаемых мегаполисов мира // Наука и бизнес: пути развития. 2018. № 3 (81). С. 123-127.
6. Курочкина А.А., Сергеев С.М. Социально-экономическое моделирование ресурсной загрузки мегаполисов // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2018. № 4 (112). С. 98-105.

## MODELING OF ADAPTIVE AUTOMATED WAREHOUSE

**Kurochkina A.A.<sup>1</sup>, Bikezina T.V.<sup>1</sup>, Sergeev S.M.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> – *Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, kurochkinaanna@yandex.ru*

<sup>2</sup> – *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia*

**Abstract.** The article is devoted to the results of the study of flexible warehouse with different degrees of rearrangement for the stochastic flow of goods existing in a flexible production system.

**Key words:** model, automation, analysis, warehouse