

УДК 658.011.56

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКЛАД- СКИМИ ЗАПАСАМИ НА БАЗЕ АППАРАТА КЛАССИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

А.В. Сергеев¹, А.А. Новиков²

¹ Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

² ООО «Сервис-Центр-Автоматика»
Россия, 446207, Самарская обл., г. Новокуйбышевск, территория промзоны ОАО «НК НПЗ»

Предлагается к рассмотрению вопрос о применимости математического аппарата и методов классической теории автоматического управления для анализа и синтеза систем управления производственными и бизнес-процессами предприятий. Изложены исходные предпосылки, дающие основание предполагать возможность получения практически значимых результатов в выбранном направлении исследований. Приведено описание математической модели системы управления страховыми запасами предприятия в форме дискретных передаточных функций. Сформулированы критерии решения задачи оптимального управления уровнем складских запасов предприятия, учитывающий различный характер дополнительных издержек их содержания, вызванных отклонениями уровня запаса в большую или меньшую сторону от заданного значения.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления производственными процессами, теория автоматического управления, модель управления запасами, склад, страховой запас, функциональная схема системы, ПИД-алгоритм регулирования, расходы на содержание запасов, критерий оптимального управления уровнем запасов, настройка регулятора.

Центральным вопросом предлагаемого авторами для рассмотрения в данной статье направления исследований является вопрос о применимости математического аппарата и методов классической теории автоматического управления (ТАУ) для анализа и синтеза систем управления производственными и бизнес-процессами предприятий. Исходными предпосылками, дающими основание рассчитывать на получение содержательных результатов в данном направлении, являются [1]:

– применение балансового принципа отражения в учете фактов хозяйственной деятельности предприятий (бухгалтерский баланс), являющегося полной аналогией законов сохранения энергии и материи, на основе которых строятся математические модели технических объектов;

– отсутствие ограничений на природу управляемых объектов и процессов в рамках ТАУ и, соответственно, универсальный характер полученных ею результатов.

Таким образом, в случае получения положительного ответа на обозначенный выше основной вопрос предпринятого автором исследования можно с большой

Антон Владимирович Сергеев (к.т.н.), доцент кафедры «Автоматика и управление в технических системах».

Алексей Александрович Новиков, начальник участка КИПиА.

степенью уверенности ожидать, что богатый арсенал методов ТАУ для построения систем автоматического управления техническими объектами и технологическими процессами, наработанный на сегодняшний день, будет доступен и для разработки автоматизированных систем управления производственными и бизнес-процессами предприятий. Этими ожиданиями определяется практическая значимость данной работы, поскольку конечным ее результатом должна стать разработка единой методологии и математического инструментария построения автоматизированных систем управления ресурсами предприятий (ERP-систем), в том числе и реализующих оптимальное управление предприятиями в строгом смысле этого термина.

Возможность применения методов ТАУ в сфере управленческой деятельности представляет интерес для решения задач управления как предприятиями в целом, так и их отдельными бизнес-процессами в равной степени. Если сконцентрироваться на последнем типе задач, то, обратившись к истории появления и развития ERP-систем, можно увидеть, что здесь на первый план выдвигается задача управления поставками сырья и комплектующих или их складскими запасами. Кроме того, склад как объект управления с точки зрения ТАУ представляет собой элементарное интегрирующее звено, т. е. является достаточно простым объектом управления, что также делает эту задачу привлекательной для первых шагов в данном направлении.

Исходя из приведенных выше соображений в работе [2] авторы предложили математическую модель автоматизированной системы управления складом в форме передаточных функций и выполнили ряд численных экспериментов с ее использованием в среде моделирования динамических систем Simulink пакета прикладных программ MATLAB.

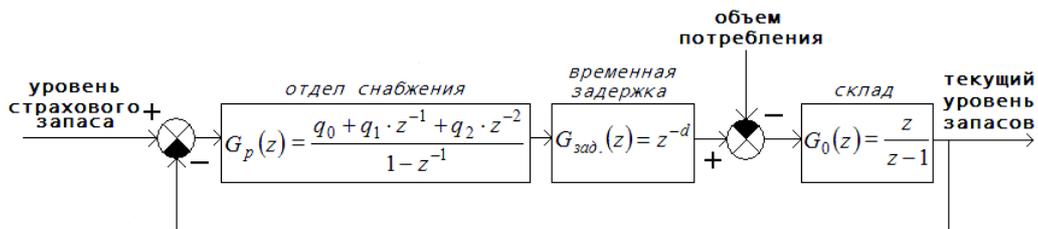
При построении модели системы авторы исходили из того, что, как правило, с целью снижения накладных расходов предприятия стремятся свести к минимуму уровень своих запасов. Одновременно с этим они предпочитают держать некоторый резерв на случай непредвиденных обстоятельств (задержки поставок, обнаружение брака, неожиданное увеличение спроса и т. д.), чтобы не допускать простоев производства или срыва поставок готовой продукции. Этот резерв получил название «страховой запас». В таком случае задача управления состоит в том, чтобы поддерживать постоянный заданный уровень страхового запаса при условии возможного проявления возмущающих факторов, упомянутых выше.

Кроме этого необходимо принять во внимание, что состояние складских запасов меняется не непрерывно, а только в моменты поступления товаров на склад или их списания со склада, и сам процесс формирования и выдачи заказа на пополнение складских запасов носит дискретный характер. В связи с этим было предложено остановиться на дискретном описании модели системы управления запасами.

В итоге процесс управления запасами был представлен в виде следующей функциональной схемы (см. рисунок).

Здесь входным сигналом модели является заданный уровень страхового запаса; объект управления – склад – представлен интегратором; на входе объекта управления действует возмущающее воздействие – потребление материалов со склада; управляющим органом (регулятором) является отдел снабжения, задачей которого является организация поставок для поддержания заданного уровня страхового запаса материалов на складе. В предложенной модели регулятор реализует типовой ПИД-алгоритм регулирования по отклонению текущего уровня

запаса от заданного. То есть в данной системе на основании информации о величине отклонения текущего уровня запаса от заданного в соответствии с ПИД-алгоритмом рассчитывается необходимый объем поставок. В связи с наличием временных задержек по поставкам в модель управления включено звено запаздывания. Процесс учета товарно-материальных ценностей на складе представляет собой обратную связь в системе управления запасами.



Структурно-функциональное представление модели управления запасами

Очевидно, что после того, как получена математическая модель системы и определена область ее устойчивого функционирования, возникает задача поиска настроек регулятора, обеспечивающих заданное качество управления, решение которой начинается с формулировки критерия управления, о выборе которого и пойдет речь далее.

Как известно, в практике построения автоматических систем управления применяются различные варианты критериев настройки регуляторов. При этом в каждом конкретном случае на выбор того или иного критерия существенное влияние оказывают стоящая перед системой управления задача и конструктивные или технологические особенности управляемого объекта или процесса соответственно. Так, в одних случаях важно избежать перерегулирования управляемой координаты и исключить колебательный характер переходных процессов в системе, в других требуется минимизировать время их протекания и т. д. То есть исходя из соображений технологического характера формируются требования к параметрам переходных процессов, возникающих в системе при реакции на внешние возмущающие воздействия.

В рассматриваемой здесь задаче управляемой координатой является уровень запасов, следовательно, выбор параметров алгоритма управления будет осуществляться по переходному процессу изменения во времени уровня запаса под воздействием внешних возмущений. Целью разрабатываемой системы управления является поддержание заданного уровня запаса L_0 на складе предприятия, откуда следует, что в оценку эффективности работы системы целесообразно положить отклонение его текущего уровня $l(k)$ от целевого L_0 (1):

$$e(k) = L_0 - l(k), \quad k = 0, 1, 2, \dots, k^{nn}, \quad (1)$$

где k – дискретные моменты времени, в которые производится оценка состояния системы и выработка управляющих воздействий (такты работы системы); k^{nn} – момент окончания переходных процессов в системе.

Отклонения в одну или другую сторону от заданного значения уровня напрямую или опосредованно сопряжены с увеличением издержек предприятия на управление запасами. Увеличение уровня запасов требует дополнительных

затрат на их хранение, и кроме того замораживает дополнительный объем оборотных средств. Снижение уровня создает потенциальный риск потерь от простоя производства и неудовлетворенного потребительского спроса. Данная угроза носит потенциальный характер, но в случае ее реализации она имеет для предприятия гораздо более тяжелые последствия, чем переизбыток запаса.

Так или иначе, если при синтезе управления сконцентрироваться на проблеме оптимизации расходов на содержание запасов, то из этого естественным образом вытекает задача минимизации совокупности отклонений текущего их объема от целевого уровня. Именно в этом случае совокупные издержки содержания запасов будут минимальными. В технических приложениях классической ТАУ подобные оптимизационные задачи обычно решаются путем поиска настроек регулятора, минимизирующих квадратичный показатель качества регулирования:

$$J_1(\Delta) = \sum_{k=0}^{k^{nn}} e(\Delta, k)^2 \rightarrow \min_{\Delta \in R^n}, \quad (2)$$

где Δ – вектор настраиваемых параметров регулятора.

Такая постановка задачи оптимального управления будет иметь смысл и для рассматриваемой здесь системы, в которой регулятор играет роль алгоритма расчета необходимого объема заказа, но только в том случае, если отклонения от требуемого уровня запасов в большую либо в меньшую сторону (при равных абсолютных величинах отклонений) будут приводить к одинаковым финансовым потерям. Однако в общем случае эти два вида потерь (от дефицита и от переизбытка запаса) имеют для предприятия разную цену и степень значимости. Следовательно, управление, построенное по критерию (2), не будет оптимальным в смысле минимума расходов на содержание запасов.

С учетом изложенных выше соображений суммарные потери предприятия от колебания уровня запасов в течение периода затухания переходных процессов в системе управления можно представить следующим образом:

$$J_2(\Delta) = \sum_{k=0}^{k^{nn}} c(k) \cdot e(\Delta, k), \quad \text{где } \begin{cases} c(k) = c_1, & \text{при } e(\Delta, k) \geq 0; \\ c(k) = -c_2, & \text{при } e(\Delta, k) < 0. \end{cases} \quad (3)$$

Здесь c_1 – удельные совокупные расходы предприятия на хранение единицы сырья; c_2 – оценка убытков от простоя производства и неудовлетворенного потребительского спроса, отнесенных на единицу сырья. Соответственно задача выбора оптимальных настроек регулятора (параметров алгоритма расчета объема заказа) будет сводиться к поиску минимума показателя качества регулирования $J_2(\Delta)$:

$$J_2(\Delta) \rightarrow \min_{\Delta \in R^n}. \quad (4)$$

Сформулированный таким образом критерий (3), (4) в общем случае исключает возможность получения решения задачи параметрической оптимизации алгоритма управления запасами в аналитическом виде. Однако он не представляет принципиальных трудностей для реализации численного алгоритма поиска оптимального решения.

Таким образом, очевидно, что следующей задачей на пути к построению автоматизированной системы, реализующей рассматриваемую здесь модель управ-

ления запасами, является поиск или разработка эффективной вычислительной процедуры для решения задачи (4).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сергеев А.В.* Предпосылки к применению классического аппарата теории автоматического управления в качестве методологической платформы для разработки ERP-систем // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2012. – № 2 (34). – С. 39-43.
2. *Сергеев А.В., Новиков А.А.* Разработка модели системы управления поставками материалов для промышленных предприятий на базе классической теории автоматического управления // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2013. – № 3 (39). – С. 41-47.

Статья поступила в редакцию 1 февраля 2016 г.

THE DEVELOPMENT OF MODELS AND OPTIMIZATION CRITERIA FOR AN INVENTORY MANAGEMENT AUTOMATIC SYSTEM ON THE BASIS OF THE TOOLS OF THE CLASSICAL AUTOMATIC-CONTROL THEORY

A.V. Sergeev¹, A.A. Novikov²

¹ Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

² "Service Centre Automatic" Ltd
Novokuybyshevsk, the territory of the industrial zone of OJSC "NK Refinery",
Samara region., 446207, Russian Federation

The paper treats of the possibility of applying the mathematical tools and methods of classical automatic-control theory for analysis and synthesis of a company's manufacturing and business processes management. The description of a mathematical model of a company's safety stock management in the form of discrete-time functions is given taking into account such factors as delays in delivery or unexpected increase in demand. The criterion of solving the problem of a company's optimum inventory management is defined. This criterion takes into account various additional expenses caused by the stock increasing or decreasing in comparison with the demand value.

Keywords: *inventory management, automatic control theory, inventory management model, warehouse, inventory items, insurance stock, stocks level, criterion, disturbance, PID-controller, functional blocks, transitional processes.*

*Anton V. Sergeev (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.
Aleksy A. Novikov, Chief of Area.*