

УДК 658.011.56

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПРОГРАММНОЙ ЧАСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДСКИМИ ЗАПАСАМИ НА БАЗЕ АППАРАТА КЛАССИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

А.В. Сергеев

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

Излагаются очередные результаты исследования вопроса о применимости математического аппарата и методов классической теории автоматического управления к построению систем управления производственными и бизнес-процессами предприятий. На основе предложенных ранее математической модели системы в форме дискретных передаточных функций и критерия решения задачи оптимального управления уровнем складских запасов предприятия разработана функциональная модель программной части соответствующей автоматизированной системы управления. Рассмотрены основные программные модули и блоки системы, информационные связи между ними. Приведено описание ключевых алгоритмов и базовых принципов работы системы. Сделан вывод о перспективах практической реализации предложенных моделей.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, теория автоматического управления, модель управления запасами, склад, страховой запас, функциональная схема, программные модули, ПИД-алгоритм регулирования, расходы на содержание запасов, критерий оптимального управления уровнем запасов, настройка регулятора.

Настоящая статья продолжает цикл работ автора и его коллег, посвященных исследованию вопроса о возможности применения математического аппарата и методов классической теории автоматического управления (ТАУ) для анализа и синтеза систем управления производственными и бизнес-процессами предприятий. В работе [1] была предложена математическая модель автоматизированной системы управления складом в форме дискретной передаточной функции (рис. 1).

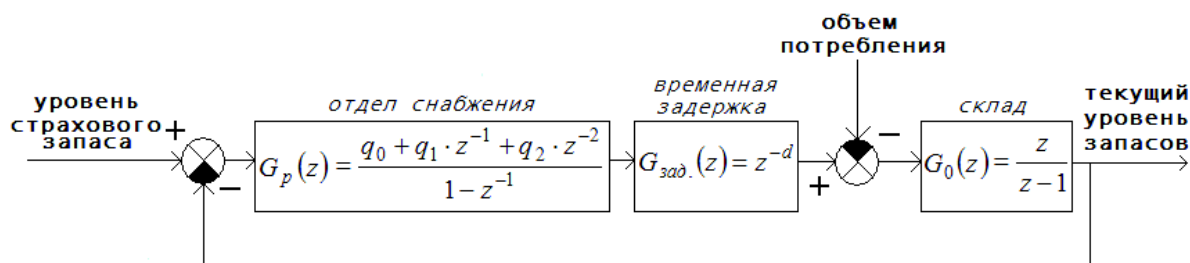


Рис. 1. Структурно-функциональное представление модели управления запасами

В приведенной модели входным сигналом является заданный уровень так называемого «страхового запаса». Объектом управления является склад, который представлен в модели интегрирующим звеном. На входе объекта управления действует возмущающее воздействие – потребление сырья и материалов со склада. Органом управления является структурное подразделение предприятия (например, отдел снабжения), отвечающее за обеспечение производственного процесса необходимыми материалами, или в более узком смысле – поддерживающее необходимый уровень запасов на складах. Его передаточная функция определяется применяемым в подразделении алгоритмом расчета необходимого объема заказа на основании информации о разнице между текущим и заданным уровнем запасов (т. е. принятым алгоритмом регулирования уровня запасов). Исходя из практики построения систем автоматического управления наиболее широко используемым алгоритмом регулирования является ПИД-алгоритм, который и предлагается применять здесь в указанных целях. 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.

В работе [2] исходя из предложенной модели управления запасами был сформулирован критерий решения задачи оптимального управления уровнем складских запасов предприятия, учитывающий различный характер дополнительных издержек их содержания, вызванных отклонениями уровня запаса в большую или в меньшую сторону от заданного значения (1):

$$J(q_0, q_1, q_2) = \sum_{k=0}^{k^f} c(k) \cdot e(q_0, q_1, q_2, k) \rightarrow \min_{q_0, q_1, q_2 \in R}, \quad (1)$$

$$\text{где } \begin{cases} c(k) = c_1, & \text{при } e(q_0, q_1, q_2, k) \geq 0; \\ c(k) = -c_2, & \text{при } e(q_0, q_1, q_2, k) < 0. \end{cases}$$

Здесь e – ошибка управления (отклонение запаса от заданного уровня);

(q_0, q_1, q_2) – вектор настраиваемых параметров регулятора;

k – дискретные моменты времени, в которые производится оценка состояния системы и выработка управляющих воздействий (такты работы системы);

k^f – момент окончания переходных процессов в системе;

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.

При этом, как было отмечено в [2], конечным результатом предпринятого исследования автору видится 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. В связи с этим не последним вопросом, на который предстоит получить ответ по ходу движения в выбранном направлении исследования, является вопрос о возможности технической реализации предлагаемых моделей управления. И для этого прежде всего отметим, что в автоматизированных системах управления бизнес-процессами (в отличие от систем управления техническими объектами и технологическими процессами) в подавляющем большинстве случаев существенные особенности их функциони-

рования реализуются программным путем. Не будет исключением и рассматриваемая здесь система управления запасами, отличительные особенности которой от предшествующих аналогов будут содержаться в ее программной части.

Исходя из этих соображений и приведенных выше метаматематической модели системы и постановки задачи управления автором была построена функциональная схема программного комплекса, в составе которого предполагается реализация рассмотренных ранее моделей и алгоритмов управления запасами (рис. 2).

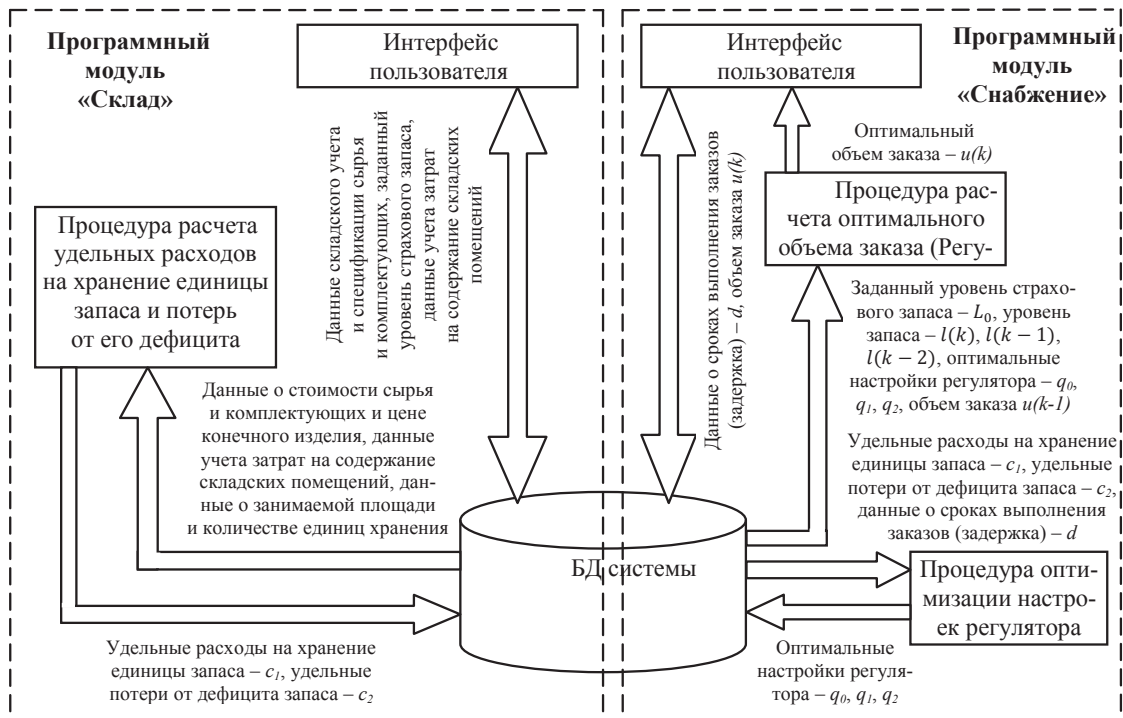


Рис. 2. Функциональная схема программной части АСУ управления запасами

Здесь необходимая нам функциональность достигается в результате интеграции двух типичных для ERP-систем модулей «Склад» и «Снабжение», дополненных нетипичными для них процедурами: расчетом удельных расходов на хранение единицы запаса и потерь от его дефицита, оптимизацией настроек регулятора, расчетом оптимального объема заказа. Общий порядок работы системы можно представить двумя циклами: настройка регулятора и управление запасами.

Цикл настройки регулятора состоит из последовательного выполнения двух из упомянутых выше процедур: расчета удельных расходов на хранение единицы запаса и потерь от его дефицита и оптимизации настроек регулятора.

В результате выполнения первой процедуры определяются параметры c_1 и c_2 критерия (1) оптимальной настройки регулятора.

Исходными данными, на основе которых производится расчет удельных расходов на хранение единицы запаса c_1 , являются данные управленческого учета затрат на содержание складских помещений и запасов, сведения об общей площади, предназначенной для складирования, и площади занимаемой хранимыми сырьем и материалами. Набор расходных статей, используемых при расчете дан-

ного параметра, определяется по усмотрению пользователя системы и, в частности, может включать в себя: стоимость аренды помещений; затраты на освещение, отопление и кондиционирование; упущенную выгоду от замораживания в запасах оборотных средств (исходя из данных о стоимости запасов).

Противоположный тип издержек c_2 , связанный с дефицитом запасов, ассоциируется с неудовлетворенным потребительским спросом, в качестве оценки потерь от которого можно предложить маржинальный доход (разницу между выручкой и переменными издержками), приходящийся на единицу готовой продукции, для изготовления которой предназначен хранимый материал. Учитывая гипотетический характер данного вида издержек, в программе можно предусмотреть опцию учета при его определении оценки вероятности возникновения ситуации дефицита.

Найденные значения параметров c_1 и c_2 заносятся в базу данных системы и обновляются либо по запросу пользователя, либо в том случае, если отклонение их текущих значений от хранящихся в базе данных превысит заданный пользователем порог.

На втором этапе цикла настройки регулятора на основе найденных значений удельных издержек c_1 и c_2 и информации о сроке выполнения заказа d производится непосредственный поиск оптимальных настроек регулятора (q_0, q_1, q_2) исходя из критерия (1). Решение этой задачи в рассматриваемой системе будет осуществляться в результате выполнения процедуры (программного блока) оптимизации настроек регулятора. При этом, поскольку предложенный критерий исключает возможность применения аналитических методов решения данной оптимизационной задачи, ее решение будет выполняться с помощью одного из поисковых методов, проблему выбора которого еще предстоит решить.

Вне зависимости от выбранного метода поиска кроме него самой процедура оптимизации регулятора должна включать в себя и алгоритм расчета величины показателя качества регулирования $J(q_0, q_1, q_2)$, зависящего от настраиваемых параметров регулятора, поскольку данная переменная является основным входным параметром для поискового алгоритма. Для ее определения исходя из выражения (1) должна быть в первую очередь вычислена ошибка регулирования для всего интервала управления.

Расчет ошибки регулирования может быть выполнен непосредственно с помощью математической модели системы, для чего исходя из ее передаточной функции по ошибке определяется реакция системы на единичное ступенчатое возмущающее воздействие.

Передаточная функция системы по ошибке от возмущающего воздействия имеет следующий вид:

$$G_e(z) = \frac{G_o(z)}{1 + G(z)}, \quad (2)$$

$$G_o(z) = \frac{1}{1 - z^{-1}}, \quad (3)$$

$$G(z) = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2}}{1 - z^{-1}} \cdot z^{-d} \cdot \frac{1}{1 - z^{-1}} = \frac{q_0 z^{-d} + q_1 z^{-(1+d)} + q_2 z^{-(2+d)}}{(1 - z^{-1})(1 - z^{-1})}, \quad (4)$$

где $G_o(z)$ – передаточная функция объекта управления (склада),

$G(z)$ – передаточная функция разомкнутой системы.

После подстановки (3) и (4) в (2) и проведения соответствующих преобразований передаточная функция системы по ошибке окончательно примет вид

$$G_e(z) = \frac{1 - z^{-1}}{1 - 2z^{-1} + z^{-2} + q_0 z^{-d} + q_1 z^{-(1+d)} + q_2 z^{-(2+d)}}. \quad (5)$$

На этом основании изображение реакции системы на единичное ступенчатое возмущающее воздействие будет выглядеть следующим образом:

$$e(z) = \frac{(1 - z^{-1}) \cdot 1(z)}{1 - 2z^{-1} + z^{-2} + q_0 z^{-d} + q_1 z^{-(1+d)} + q_2 z^{-(2+d)}}, \quad (6)$$

где $1(z)$ – изображение единичной ступенчатой функции.

Из (6) получаем уравнение, связывающее между собой изображения сигнала ошибки и возмущающего воздействия:

$$\begin{aligned} e(z) - 2z^{-1}e(z) + z^{-2}e(z) + q_0 z^{-d}e(z) + q_1 z^{-(1+d)}e(z) + q_2 z^{-(2+d)}e(z) = \\ = 1(z) - z^{-1}1(z). \end{aligned} \quad (7)$$

Переходя от изображения сигналов в частотной области к их оригиналам во временной, из уравнения (7) получаем рекуррентное выражение для вычисления значений временной последовательности, соответствующей ошибке регулирования:

$$\begin{aligned} e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) + q_0 e(k-d) + q_1 e(k-1-d) + q_2 e(k-2-d) = \\ = 1(k) - 1(k-1), \quad k = \overline{0, k^f}, \end{aligned} \quad (8)$$

или с учетом того, что $1(k) = 1(k-1)$, для всех $k = \overline{1, k^f}$ и $e(0) = 1$, как следует из уравнения (8),

$$\begin{cases} e(0) = 1 \\ e(k) = 2e(k-1) - e(k-2) - q_0 e(k-d) - q_1 e(k-1-d) - q_2 e(k-2-d), \quad k = \overline{1, k^f}. \end{cases} \quad (9)$$

Далее исходя из полученного временного ряда по алгоритму, определяемому выражением (1), рассчитывается величина показателя качества регулирования $J(q_0, q_1, q_2)$, задачу минимизации которой, как уже было отмечено выше, предполагается решать с помощью некоторого поискового метода оптимизации.

Применение любого поискового метода оптимизации предполагает итерационную организацию процедуры настройки регулятора, последовательно выполняющую расчет показателя качества регулирования, для некоторого значения вектора настраиваемых параметров и определение нового вектора настроек исходя из динамики изменения показателя качества.

Цикл управления запасами также состоит из двух последовательно выполняемых функций: учет запасов и формирование заказа на поставку сырья и материалов.

Учет запасов в системе осуществляется посредством выполнения набора типовых складских операций, таких как приемка, размещение, отгрузка товара и т. п., представляющих базовый функционал любого программного решения для

управления складами. В результате выполнения данной функции в конце каждой операционных суток в системе будет содержаться актуальная информация о текущем уровне запаса по каждому наименованию хранимого сырья или материалов. Эти данные вместе с заданным уровнем страхового запаса являются входными параметрами для процедуры расчета оптимального объема заказа, по результатам выполнения которой в системе формируется заказ на поставку требуемого сырья или материалов. Расчет заказываемого объема товара производится по ПИД-алгоритму исходя из разницы между текущим и необходимым уровнем его запаса, представляющей собой ошибку регулирования:

$$u(k) = u(k-1) + q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 e(k-2). \quad (10)$$

Здесь $u(k)$ – формируемый в текущих операционных сутках объем заказа, $u(k-1)$ – объем заказа, сформированный в предыдущих операционных сутках.

Таким образом, для выполнения процедуры расчета оптимального объема заказа необходимы данные не только о текущем отклонении запасов от заданного уровня, но и о предыдущем заказе и отклонениях за предыдущие двое суток, а также о параметрах регулятора q_0 , q_1 , q_2 , определенных в результате выполнения цикла настройки.

Выполнение процедуры расчета заказа в зависимости от настроек системы может осуществляться либо вне рабочего времени по заданному расписанию, предоставляя пользователю в начале следующих операционных суток уже готовые результаты, либо в это же время по его запросу. Выдачей заказа заканчивается очередной операционный цикл управления запасами.

Подводя итог приведенному выше описанию функциональной модели программной части автоматизированной системы управления запасами, можно констатировать, что предложенный новый подход к построению данного вида систем не требует внесения существенных изменений в уже отработанный на текущий момент их программный функционал. Данное обстоятельство является, по мнению автора, дополнительным аргументом в пользу практической значимости исследования, результаты которого представлены в настоящей статье.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *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.
2. *Сергеев А.В., Новиков А.А.* Разработка модели и критерия оптимизации автоматизированной системы управления складскими запасами на базе аппарата классической теории автоматического управления // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2016. – № 1(49). – С. 36–40.

Статья поступила в редакцию 25 марта 2016 г.

DESIGNING OF FUNCTIONAL MODEL OF SOFTWARE PART OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR WAREHOUSE STOCKS ON THE BASIS OF THE CLASSICAL AUTOMATIC CONTROL THEORY METHODS

A.V. Sergeev

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

The next research results of question of applicability of mathematical apparatus and methods of the classical theory of automatic control for the analysis and synthesis of control systems for production and business processes of the enterprises is offered to examination. On the basis of offered earlier: mathematical model of system in the form of discrete transfer functions, and criterion of the solution of a task of optimum control of the warehouse stocks the functional model of software part of the corresponding automated control system is designed. The base software modules and blocks of system and information communications between them are considered. The description of key algorithms and basic principles of work of system is provided. The conclusion about prospects of practical realization of the offered models is drawn.

Keywords: *automated control systems, theory of automatic control, stockpile management model, warehouse, insurance stock, function chart, software modules, PID-algorithm of regulation, maintenance costs of stocks, criterion of optimum control of a stock rate, setup of the regulator.*