

Л.А. Баев, докт. экон. наук, профессор,
Н.С. Дзензелюк, канд. экон. наук,¹
г. Челябинск

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ В НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЭКОНОМИКЕ

Статья посвящена разработке методологических принципов, которые позволяют развивать новые теоретические подходы к построению работоспособных адаптивных систем управления запасами, пригодных для использования в достаточно широком спектре практических приложений. Предложенные авторами статьи методологические принципы позволяют разработать новые теоретические подходы к построению работоспособных адаптивных систем управления запасами, пригодных для использования в достаточно широком спектре практических приложений.

Ключевые слова: системы управления запасами, проблемы построения адаптивных систем, имитационное моделирование, практически реализуемые системы управления запасами.

Проблематика управления запасами предприятий развивается давно и перманентно в силу их существенного влияния на эффективность использования инвестированного в бизнес капитала [8, 9, 10, 11]. Вполне понятно, что за этот период получен ряд значительных результатов. Однако в части практического решения задачи эффективного оптимального управления запасами полученные результаты в значительной части нельзя признать в полной мере корректными. Это обусловлено тем, что экономико-математические модели, связанные с корректными аналитическими решениями задачи оптимизации, существенно упрощают описание объекта исследования и получают частные решения мало соответствующие реальной практической

ситуации. С точки зрения же «чисто экономических подходов», модели логистических потоков чаще всего строятся вообще без каких-либо строгих обоснований, после чего их предлагается использовать в решениях задачи оптимизации.

Для общности постановки задачи развития теории управления запасами следует констатировать также нерешенность задачи критериев оптимизации. Так, например, критерий минимизации затрат формирования и хранения запасов (логистический подход) по сути своей противоречит критерию минимизации потерь от недопоставок продукции в силу ее возможного отсутствия на складе (маркетинговый подход). Все это еще более актуализирует задачу переноса исследований из области «чистой» теории в область научных исследований с действительно реализуемыми, адекватными и эффективными практическими результатами. И здесь на передний план выходит формирование методологических принципов построения соответствующих систем регулирования запасами, с одной стороны, и корректное описание объекта управления с

¹ Баев Леонид Александрович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики и управления проектами Южно-Уральского государственного университета; e-mail: baevla74@mail.ru.

Дзензелюк Наталья Сергеевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и управления проектами Южно-Уральского государственного университета; e-mail: dns@susu.ac.ru.

учетом всей полноты управленчески значимого взаимодействия объекта управления со средой. Соответствующую постановку задач управления постулирует все более популярный в последнее время проектный подход, который по сути своей является практически ориентированной реализацией так или иначе упоминаемого в подавляющем большинстве научных исследований системного подхода.

Говоря о системном подходе, чаще всего отмечают необходимость учета всего комплекса значимых связей и рассмотрения их в динамике. Безусловно, принципы связности и динамизма развития – это всего лишь два из примерно десятка основополагающих принципов функционирования и развития самоорганизующихся систем [1, 4, 5, 6]. Однако на этапе постановки прикладного научного исследования профессиональное использование даже этих общеизвестных принципов позволяет получить конструктивные результаты. Для этого прежде всего необходимо не простое перечисления учитываемых внешних факторов, а выделение существенных изменений окружающей среды, оказывающих значимое воздействие на основополагающие принципы управления [7]. И если изменения окружающей среды действительно качественны и значимы, то они требуют и соответствующего изменения методологических принципов принятия управленческих решений.

Применительно к решению задачи эффективного управления запасами промышленного предприятия следует отметить, что рыночная среда стала существенно нестационарной. Что это означает? В узком смысле, в теории случайных процессов, под нестационарностью случайной функции понимается не просто случайное изменение ее переменных и значений, а изменчивость стохастических характеристик этих величин, таких как математическое ожидание, дисперсия и сама функция плотности распределения. Именно это сейчас происходит и со спросом на товары и услу-

ги и с их ценами. В этой связи проблематичной становится возможность сколь-нибудь устойчивого прогнозирования изменений не только самих случайных величин, но и их стохастических характеристик. В такой ситуации практически неработоспособными становятся любые аналитические решения задач оптимального управления.

Более того, практически в любой сколь-нибудь серьезной управленческой системе наблюдается нестационарность подмножества значимых факторов управления [3]. То есть вместо одних важных для управления переменных и параметров возникают другие. При этом прежние значимые факторы могут терять свою значимость.

Означает ли сказанное, что экономические решения принимаются в условиях полной неопределенности и не могут быть эффективными в принципе? Совсем нет. И функции плотности распределения случайных экономических переменных изменяются «не каждый день» и их тренды на релевантных интервалах времени могут быть выявлены, да и множество значимых для конкретных задач управления переменных относительно устойчиво.

Однако применительно к рассматриваемой нами задаче оптимального управления запасами все вышесказанное указывает на два принципиальных момента:

1. Существенная нестационарность рыночной среды означает отсутствие каких-либо гарантий практической оптимальности «аналитически оптимальных» решений.
2. Для практического осуществления эффективного управления запасами, соответствующие системы управления должны достаточно оперативно и объективно оценивать значимые изменения характеристик окружающей рыночной среды и учитывать их в моделях принятия управленческих решений.

По нашему мнению, дальнейшее развитие теории и практики управления запаса-

ми должно базироваться на четырех основополагающих принципах:

1. Принцип нестационарности рыночной среды.
2. Принцип адаптивности систем управления.
3. Принцип адекватной сложности и динамизма методов и алгоритмов управления.
4. Принцип генерации многокритериальных квазиоптимальных решений на базе эвристического имитационного моделирования в реальном режиме времени.

В рамках принципа нестационарности рыночной среды следует прежде всего учитывать как случайный характер самих переменных модели, так и изменчивость их стохастических характеристик и случайных функций изменения значимых для управления переменных.

Принцип адаптивности акцентирует значимость решения задач адаптивного управления в рамках квазиоптимальных, непрерывно оцениваемых, многокритериальных решений, а не задач «чистой» аналитической оптимизации [2].

Принцип адекватной сложности и динамизма указывает на то, что в рамках принятия многокритериальных квазиоптимальных решений следует применять обоснованные упрощения моделей оптимизации, позволяющие без потери адекватности с необходимой быстротой оценивать изменения внешней среды и входных сигналов и получать своевременные и реализуемые управленческие решения. Кроме того, задача адекватного упрощения и «прозрачного» содержательного раскрытия существа используемых моделей и систем управления запасами объективно обусловливается ограниченными уровнями компетенции специалистов производственных предприятий и требованиями эффективной практической реализации научных результатов.

Наиболее рациональным, если не единственным методом исследования и приня-

тия управленческих решений в условиях высокой сложности и неопределенности нестационарного объекта управления, является метод имитационного моделирования.

На первом этапе моделирования осуществляется оценка и параметризация используемой модели системы и среды управления путем моделирования реальных ситуаций и сопоставления практических и модельных результатов. Второй этап – это этап принятия управленческого решения, которое осуществляется путем многократной имитации различных вариантов развития и эвристического выбора наиболее рационального (квазиоптимального) решения.

Вполне понятно, что будучи «вшитыми» в систему адаптивного управления, такие модели и алгоритмы должны работать в режиме реального времени и обеспечивать возможность получения управленческих решений за период, не превышающий дискреты времени оптимальной поставки. Это условие предъявляет высокие требования к качеству соответствующих научных решений. Такие же требования предъявляются и к самой системе управления запасами. Она должна работать достаточно динамично и точно. Кроме того, как мы уже отмечали, все это должно быть понятным специалистам-практикам.

Справедливости ради следует отметить, что выделенные нами методологические принципы так или иначе учитываются в теории и практике управления запасами. Но именно «так или иначе», «не явно», «по умолчанию» и далеко не всегда. По нашему мнению, современное развитие теории и практики управления запасами требует возведения этих принципов в ранг методологического базиса.

Анализ современного этапа развития методологии управления запасами как совокупности принципов, методов, моделей, технологий и методик позволяет констатировать следующее:

1. Активизацию использования аппарата современной теории систем автоматического управления и адаптацию его для решения задач управления запасами, осуществляемую специалистами в области экономико-математических методов и технических САУ.
2. Определенное сближение результатов теоретических исследований с требованиями практики как за счет усложнения моделей управления с целью приближения их к практическим реалиям, так и за счет уменьшения требований к априорной и текущей информации с целью сведения ее к реальным возможностям практического получения.
3. По-прежнему отвлеченный теоретический характер и высокую сложность предлагаемых моделей и методов и частный характер получаемых решений.

В этих условиях, как нам представляется, первоочередными задачами разработки современной методологии управления запасами являются:

- изучение специфических характеристик нестационарного рынка как внешней среды систем управления запасами (далее – СУЗ);
- разработка методов и методик определения значимых параметров рыночной среды в реальном режиме времени;
- разработка и обоснование адекватности достаточно простых методов и моделей многокритериальной оптимизации в области управления запасами;
- построение морфологии и алгоритмов работы простых, практически реализуемых адаптивных систем управления запасами.

Предъявляемые требования к разрабатываемой СУЗ естественно предполагают ее построение путем «от простого к слож-

ному». На первом этапе исследований нами была решена «классическая задача» теории управления запасами, сформулированная А.А. Первозванским [8]. В предлагаемом подходе изучаемая СУЗ рассматривается как система управления, которая может быть представлена структурой, состоящей из объекта управления, в качестве которого выступает регулируемый запас на складе, и управляющей системы, состоящей из исполнительного органа (регулятора) – поставщика, действующего на основе сигнала управления – заказа на поставку, который формируется на основе прогноза внешнего возмущения – спроса, и измерений состояния объекта управления – текущего уровня запасов. Однако при ее решении автором был принят целый ряд существенных ограничений, которые не соответствуют реальным условиям функционирования СУЗ, актуальных для современных предприятий (прежде всего, значительная стохастическая нестационарность внешней среды и недоказанная возможность раздельного оптимального регулирования страховых и текущих запасов в такой среде) [8]. Поэтому возможность практического применения результатов, полученных в нуждаетеся в дополнительном исследовании [8].

В то же время, с точки зрения предлагаемого нами методологического подхода к синтезу СУЗ, результаты [8] обладают особой привлекательностью, которая заключается в их наглядном характере, позволяющем определить общую морфологическую структуру СУЗ по спросу.

При использовании аппарата прикладной теории систем и теории систем автоматического управления постановка задачи создания оптимальной СУЗ в рамках постулируемых нами принципов позволяет синтезировать общую морфологическую структуру СУЗ по спросу (рис. 1).

Указанная структура может быть просто преобразована в структуру, обладающую большей гибкостью, а следовательно, и эффективностью в условиях нестационарной

динамической среды. С учетом принципа имитационного моделирования построение такой модели позволяет оценить возможность распространения результатов, полученных с ее помощью, на более общие условия функционирования СУЗ. Последние соображения имеют важные последствия, так как снимают целый ряд ограничений, используемых в известных теоретических подходах к решению задачи оптимального управления запасами.

В соответствии с вышеприведенными принципами одним из авторов данной статьи были проведены статистические исследования, подтвердившие возможность формирования эффективных адаптивных алгоритмов оперативного управления запасами в условиях нестационарной среды.

Остановившись на вопросе критерия эффективности СУЗ, следует отметить, что основой критерия может служить двухкомпонентная формула Дюпона для определения рентабельности активов, так как она позволяет оценить интегрально финансовый аспект деятельности фирмы. Однако проведенный обзор возможности ее применения в качестве интегрального критерия (с

использованием различных вариантов его расчета издержек) позволяет сделать вывод о том, что в общем случае при включении в расчет всех видов издержек он сходен с показателем минимизации суммарных затрат. Во всех остальных случаях функция рентабельности запасов либо вообще не имеет оптимума, либо возникают трудности с объяснением причин использования тех или иных составляющих и адекватности полученных результатов. Поэтому в дальнейшем используется критерий минимизации суммарных затрат управления, так как он, по сравнению с остальными, дает интегральную оценку и, кроме того, уже методологически проработан.

В целях упрощения на первом этапе синтеза системы управления было принято допущение об известности характеристик среды с точностью до параметров, а в качестве учитываемого фактора среды был выбран случайный спрос x_t . Для преодоления получаемой в этом случае ситуации параметрической априорной неопределенности в рассматриваемых условиях целесообразно использовать наиболее просто реализуемый вариант адаптивного подхода,

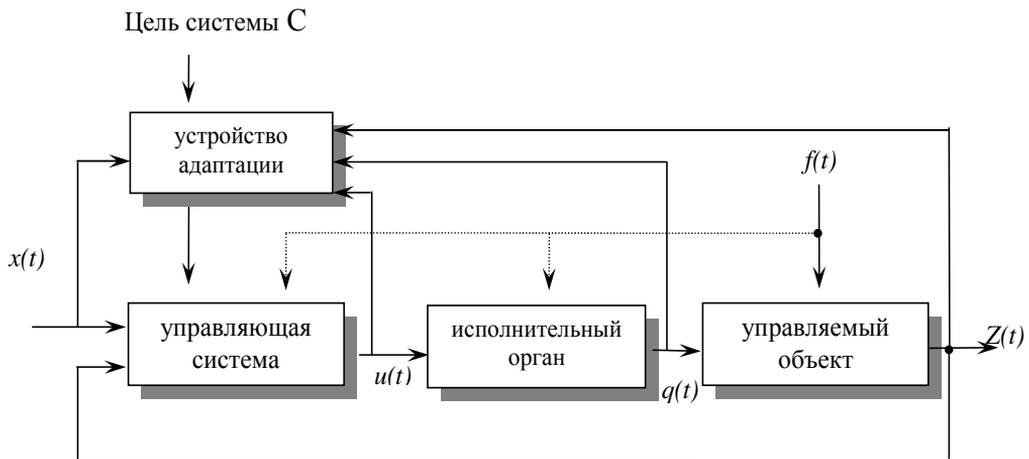


Рис. 1. Общая морфологическая схема системы управления запасами:
 $x(t)$ – регулярное возмущение внешней среды; $u(t)$ – параметр управления;
 $f(t)$ – внешнее воздействие среды (нерегулярное возмущение); $z(t)$ – текущее состояние запасов;
 $q(t)$ – поставка товаров

основанный на замене неизвестных параметров оптимального правила решения их точечными оценками.

Адаптивный подход выглядит очень привлекательным по двум причинам. Во-первых, адаптивным стратегиям свойственна универсальность в смысле инвариантности структуры и параметров систем управления к изменению факторов среды их функционирования (здесь спрос и его детерминанты – x_t, f). Во-вторых, адаптивные модели обладают хорошими конструктивными качествами, а именно простотой используемой структуры. В нашем случае это означает возможность обоснованного использования в качестве базовых (основных) стратегий управления запасами хорошо известные решения – двухуровневые стратегии управления запасами и структуры с обратной связью по спросу. При этом структура адаптивной системы также выглядит прозрачной: она отличается от исходной только наличием подсистемы, формулирующей оценки неизвестных факторов (\hat{x}_t, \hat{f}), с помощью которых осуществляется процесс восстановления соответствия между значениями факторов \hat{x}_t, \hat{f} и параметрами управления \bar{q}, r , т. е. уточнение $U(\bar{q}, r)$ по его оценке:

$$U(\bar{q}, r, \hat{x}_t, \hat{f}) \equiv \hat{U}(\bar{q}, r). \quad (1)$$

Тогда, в соответствии с указанным методом, квазиоптимальная (адаптивная) стратегия управления запасами будет представлять собой частный случай двухуровневой (R, r) – стратегии вида:

$$U(q, r) = \begin{cases} R - z, & z \leq r, \\ 0, & z > r \end{cases}, \quad (2)$$

где z – текущее состояние запаса;

r – точка заказа, а неизвестные параметры спроса (его математическое ожидание \bar{x}_t и коэффициент вариации $\text{var}\{x_t\}$), через которые определяется вектор управления $U(q, r)$, заменены их точечными оценками ($\hat{x}_t, \text{var}\{x_t\}$).

Оперативное правило решения данной стратегии соответствует модели, оптимизи-

рующей размер q и точку заказа r в предстоящем периоде $t + T$ на основе процедур идентификации и прогнозирования спроса

x_t и оценки \hat{z}_t текущего состояния запаса z_t , осуществляемых в базисном периоде t , так, что

$$q_{t+\tau} = \begin{cases} q_{t+\tau}^*, & \hat{z}_t \leq r_t + \tau \cdot \hat{x}_t, \\ 0, & \hat{z}_t > r_t + \tau \cdot \hat{x}_t, \end{cases} \quad \text{при } T > \tau, \quad (3)$$

где τ – время поставки,

$$r_{t+T}^* = \{r \in \Omega_r / C_r(\text{var}\{x_t\}) = \min\},$$

Ω_r – область возможных значений r ,

$C_r(\text{var}\{x_t\})$ – суммарные издержки управления страховым запасом, зависящие от случайной компоненты спроса – его вариации, которая представлена оценкой ее показателей (коэффициентом вариации спроса $\text{var}\{x_t\}$).

Полученная при этом структура оптимального размера заказа q_{t+T}^* формально аналогична структуре заказа при линейном законе управления, предложенном А.А. Первозванским и рассмотренном выше: также состоит из детерминированной \bar{q}_{t+T}^* и случайной \tilde{q}_{t+T}^* составляющих:

$$q_{t+T}^* = \bar{q}_{t+T}^* + \tilde{q}_{t+T}^*, \quad (4)$$

которые определяются независимо друг от друга.

Однако сама процедура нахождения компонент \bar{q}_{t+T}^* и \tilde{q}_{t+T}^* обладает рядом существенных особенностей адаптивного метода, принципиально отличающих рекомендуемую стратегию от известных подходов.

В частности, формирование детерминированной составляющей \bar{q}_{t+T}^* , которая обеспечивает учет устойчивой (средней) компоненты спроса x из условия минимизации издержек создания A и хранения h оперативного запаса в системе без дефицита, хотя и определяется также согласно формуле Уилсона, базируется на использовании

предварительной оценки \widehat{x}_t величины интенсивности спроса \bar{x}_t так, что

$$\bar{q}_{t+T}^* = \sqrt{\frac{2 \cdot \widehat{x}_t \cdot A}{h}}. \quad (5)$$

Составляющая заказа \bar{q}_{t+T}^* , предназначенная для компенсации стохастической компоненты спроса x_t и обеспечивающая заданный уровень гарантированного удовлетворенного спроса, также образуется на основе процедуры идентификации. Она определяется как отклонение уровней запаса r , который здесь имеет смысл порога срабатывания, в виде

$$\bar{q}_{t+T}^* = \Delta \hat{r}_t^* = \hat{r}_t^* - \hat{r}_{t-T}^*. \quad (6)$$

Следовательно, предлагаемая в работе адаптивная постановка задачи синтеза СУЗ предполагает введение гибкой обратной связи не только по детерминированной, но и по случайной компоненте спроса, что существенно расширяет возможности активного управления запасами за счет включения в контур управления страхового запаса r как функции показателя колеблемости спроса x_t . Структура канала формирования случайной компоненты заказа \bar{q}_{t+T}^* в этом случае имеет вид, аналогичный структуре канала оперативного управления, формирующего детерминированную составляющую q_{t+T}^* . Понятно, что в качестве измеряемого параметра спроса здесь должны использоваться параметры, которые характеризуют не его устойчивую составляющую (средняя интенсивность x_t), а вариацию, колеблемость, например, коэффициент вариации $\text{var}\{x_t\}$, стандартное отклонение σ_{x_t} .

Именно коэффициент вариации определяет среднее число дней дефицита $\bar{\eta}$ в каждом цикле оперативного управления длительности T по случайной компоненте спроса. Данный параметр ($\bar{\eta}$) используется на этапе синтеза системы для оценки эффективности ее работы, впоследствии

может использоваться как управляющее воздействие.

Условие оптимизации параметра r издержек хранения страхового запаса C_{ir} и издержек собственно дефицита $C_{v\eta}$ имеет вид

$$r^* = \{r \in \Omega_r / (C_{ir} + C_{v\eta}) = \min\}, \quad (7)$$

где $C_{ir} = k_{ir}r$, k_{ir} – коэффициент, отражающий доходность альтернативного вложения капитала;

$C_{v\eta} = k_{\eta} \cdot \bar{\eta}(r)$, k_{η} – удельные издержки в день, связанные с неудовлетворенным спросом по причине дефицита;

$\bar{\eta}(r)$ – функция связи среднего числа дней дефицита $\bar{\eta}$ за анализируемый период и уровня страхового запаса r , имеющая обратный пропорциональный характер.

В рассматриваемом здесь адаптивном варианте значение $\bar{\eta}$ зависит дополнительно от оценки вариации спроса $\text{var}\{x_t\}$, т. е. от частных оценок его интенсивности

\bar{x}_t и СКО σ_{x_t} так, что $\bar{\eta}(r) \equiv \bar{\eta}(r; \bar{x}_t; \sigma_{x_t})$. Очевидно, что в общем случае широкого класса исходных условий (параметров и законов плотности распределения спроса)

вид функции $\bar{\eta}(r; \bar{x}_t; \sigma_{x_t})$ будет различен и может быть получен экспериментально в процессе имитационного моделирования в форме семейства кривых $\bar{\eta}(r; \text{var}\{x_t\})$. Последние могут быть трансформированы в соответствующее семейство кривых издержек $C_{v\eta}(r; \text{var}\{x_t\})$ для использования в целевой функции C_r при нахождении оптимальных значений r^* и установлению функционального соответствия между параметром управления r^* и значениями оценок вариации спроса $\text{var}\{x_t\}$. С учетом сказанного условие оптимизации примет вид:

$$r^* = \{r \in \Omega_r / (k_{ir} \cdot r + k_{\eta} \cdot \bar{\eta}(r; \text{var}\{x_t\})) = \min\}, \quad (8)$$

Очевидно, что как в силу принятого при ее синтезе условия раздельной минимизации издержек управления оперативного и страхового запасов, так и по причине ее

адаптивного характера, она не может обеспечить строго оптимального решения.

Структура адаптивной СУЗ, соответствующая изложенной стратегии и модели управления запасами представлена на рис. 2.

Применение такой стратегии и структуры, с одной стороны, позволяет радикально упростить решение задачи выбора параметров управления СУЗ, с другой – использовать преимущества адаптивного метода как наиболее эффективной и в то же время лег-

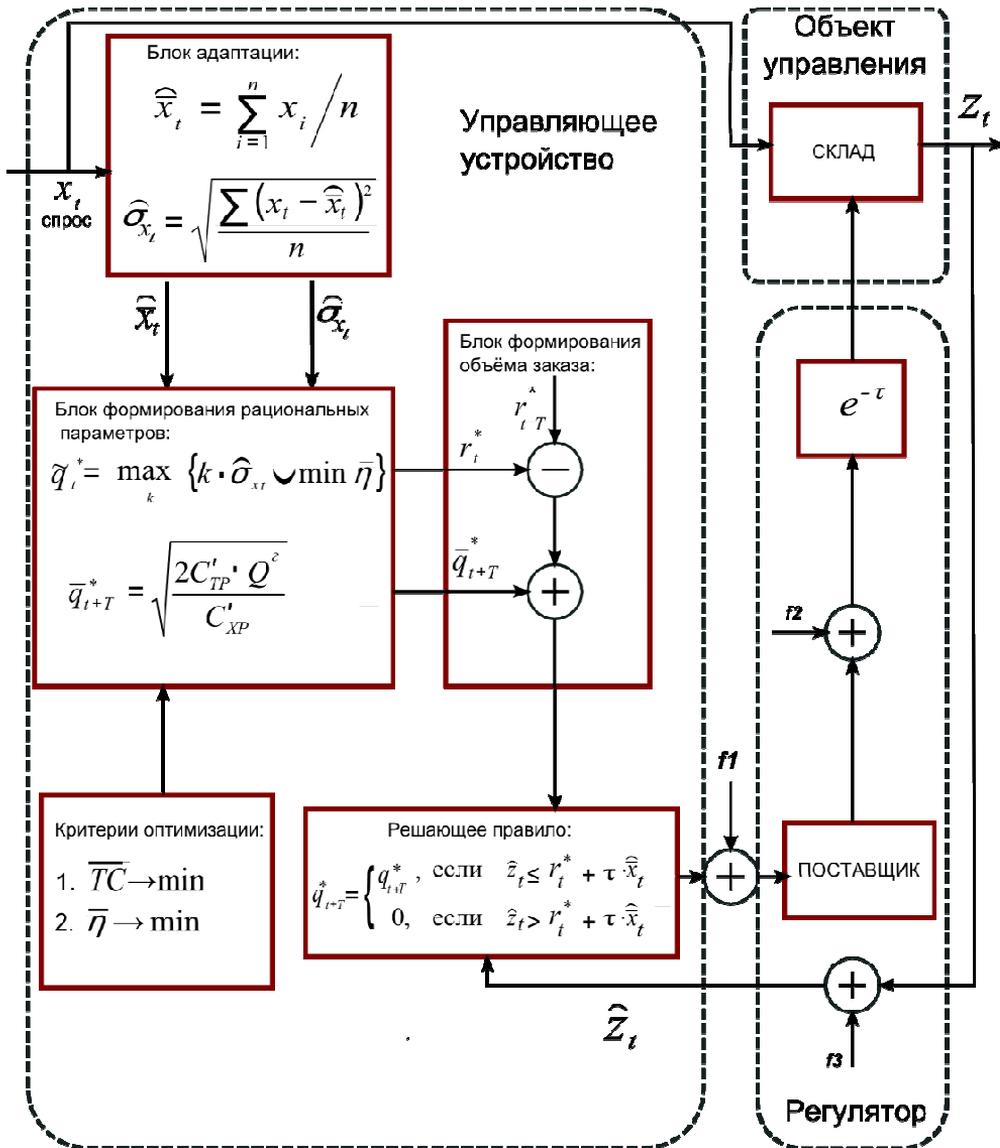


Рис. 2. Структура адаптивной системы управления запасами

ко интерпретируемой, а следовательно, и практически реализуемой стратегии управления запасами в нестационарных условиях функционирования.

Обязательным условием эффективности адаптивных решений, т. е. близости адаптивного $\hat{U}(q, r)$ и «оптимального» $U^*(q, r)$ правила решения в СУЗ, является сходимость, состоятельность и эффективность оценок неизвестных параметров спроса, определяющих параметры управления запасами q и r . В рассматриваемом приложении на данные требования дополнительно накладывается еще одно условие. Это ограничение на минимально допустимую скорость сходимости вычисляемых оценок.

Очевидно, что исходя из практических соображений формирование значений оценок параметров спроса $\hat{\bar{x}}_t, \hat{\sigma}_{x_t}$, близких к истинным значениям \bar{x}_t и σ_{x_t} при оперативном управлении запасами имеет смысл лишь в том случае, если оно возможно за период времени не более периода поставки за вычетом времени выполнения заказа $T - \tau$. Проведенные эксперименты показали, что скорость сходимости оценок спроса $\hat{\bar{x}}_t, \hat{\sigma}_{x_t}$ к истинным значениям \bar{x}_t, σ_{x_t} с погрешностью менее 0,5 % не превышает величины времени поставки за вычетом времени выполнения заказа в диапазоне изменения коэффициента вариации $\text{var}\{x_t\}$ от 0,2 до 2, а при $\text{var}\{x_t\} = 5$, крайне редко встречающемся на практике, не превышает времени поставки.

Приведенные данные свидетельствуют о конструктивности предложенных принципов построения современной методологии построения систем управления запасами и работоспособности предложенных алгоритмов оценивания неизвестных параметров спроса, а следовательно, и адаптивной стратегии для оперативного управления запасами в целом в жестких условиях, характеризующихся непредвиденными и существенными флуктуациями стохастических параметров спроса в течение периода поставки.

Основные результаты и выводы проведенного авторами исследования сводятся к следующим:

1. Настоящий период разработки теории управления запасами характеризуется все большим использованием современного математического аппарата и методологии общей и специальной теории систем автоматического управления – принципа максимума, динамического программирования, статистической оптимизации, идентификации и фильтрации, адаптивного подхода и инвариантных стратегий. В этой связи важно отметить существенные трудности методологического и математического характера, которые несомненно возникнут у специалистов-практиков при внедрении известных теоретических моделей, стратегий и аспектов расчета параметров управления запасами.

2. Предложенные авторами статьи методологические принципы позволяют разработать новые теоретические подходы к построению работоспособных адаптивных систем управления запасами, пригодных для использования в достаточно широком спектре практических приложений. В рамках указанного подхода осуществлен синтез структуры квазиоптимальной двухуровневой адаптивной модели СУЗ методом сравнительного анализа вариантов путем вероятностного имитационного моделирования. Полученные результаты обладают определенной привлекательностью. В частности, модель структуры и алгоритмы параметрического синтеза СУЗ обладают наглядностью, позволяющей определить общую морфологическую структуру СУЗ по спросу. Одновременно разработанная модель дает возможность использовать преимущества адаптивного метода как наиболее эффективной и в то же время также легко интерпретируемой, а следовательно, и практически реализуемой стратегией управления системами в нестационарных условиях функционирования. Наконец, важно и то обстоятельство, что такая мо-

дель позволяет оценить возможность распространения любых результатов, полученных с ее помощью, на более общие условия функционирования СУЗ с помощью метода имитационного моделирования.

3. Необходимое с позиции практического осмысления и реализуемости упрощение

практической постановки задачи управления запасами путем использования относительно простых моделей, стратегий и алгоритмов управления нуждается в получении доказательства близости их качества к оптимальному в рассматриваемых приложениях.

Список использованных источников

1. Баев Л.А. К вопросу о системном подходе к управлению социально-экономическими объектами // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика». 2003. № 13(29).
2. Беллман Р. Процессы регулирования с адаптацией. М.: Наука, 1964.
3. Ефимова Ю.В., Беляева Ж.С. Моделирование системы стратегического управления в условиях нестабильности бизнес-среды // Вестник УГТУ–УПИ. Серия «Экономика и управление». 2010. № 3.
4. Гиг Д. ван Прикладная общая теория систем : в 2-х кн. Кн. 2 / пер. с англ. под ред. и с предисл. Б.Г. Сушкова, В.С. Тюхтина. М.: Мир, 1981.
5. Моисеев Н.Н. Алгоритмы развития. М.: Наука, 1987.
6. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации / пер. с англ. В.Ф. Пастушенко; под ред. Ю.А. Чизмадзе. М.: Мир, 1979.
7. Пельмская И.С., Полуяхтов Л.Б. Стратегическое управление как инструмент устойчивого развития предприятия // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. 2012. № 3.
8. Первозванский А.А. Математические модели в управлении производством и запасами. М.: Наука, 1975.
9. Стерлигова А.Н. Управление запасами в цепях поставок : учебник. М.: ИНФРА-М, 2008.
10. Хедли Дж., Уайтин Т. Анализ систем управления запасами / пер. с англ. М.: Наука, 1969.
11. Шрайбфедер Дж. Эффективное управление запасами / пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2005.