УПРАВЛЕНИЕ

УДК 681.3

Е.П. Чураков

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ПРИ VaR И CaR РИСКАХ

Применительно к управляющим банковским системам решается задача синтеза оптимального портфеля ценных бумаг при использовании показателя риска в форме критерия VaR. Проводится сопоставление с результатами решения аналогичной задачи, но при использовании риска в форме CaR. На примере ряда отечественных компаний получены результаты численного моделирования алгоритмов и приведены соответствующие результаты.

Ключевые слова: *управляющая система, оптимальный портфель, показатели рисков в форме VaR и CaR, прямая и обратная задачи.*

Постановка задачи и цель исследования. В работах [1, 2] поставлена и решена задача построения оптимального портфеля ценных бумаг на гиперсфере определенного радиуса при использовании показателя риска в форме критерия CaR. Изучены два варианта задачи. Прямая задача построения оптимального портфеля заключается в максимизации стоимости $m_s(T)$ портфеля на горизонте T при ограниченном риске $CaR = C$, где C - задано. Формально: $m_s(T) \to \max_{x}$ при ограничении $CaR = C$. Обратная задача формулируется в виде: $CaR \to \min_{x}$ при ограничении $m_s(T) = k$, k - задано. Здесь: $\boldsymbol{x}$ - вектор весов рисковых активов в составе портфеля;

$$m_s(T) = m_0 \exp\left\{\left(r + \boldsymbol{B}^T \boldsymbol{x}\right)T\right\}; \tag{1}$$

CaR - показатель риска, определяемый в форме:

$$CaR = m_0 e^{rT}\left(1 - \exp\left\{\begin{matrix} \boldsymbol{B}^T \boldsymbol{x} T - \frac{1}{2}\left\|\boldsymbol{\sigma}^T \boldsymbol{x}\right\|^2 T - \\ -\left|u_\alpha\right|\left\|\boldsymbol{\sigma}^T \boldsymbol{x}\right\|\sqrt{T} \end{matrix}\right\}\right). \tag{2}$$

Используемые в этих выражениях обозначения соответствуют работе [2]. Содержательно CaR представляет собой разность между стоимостью безрискового актива в момент T и такой стоимостью всего портфеля в тот же момент времени, вероятность быть ниже которой равна выбранной величине α (т.е. $\alpha-$квантилем стоимости). И именно этой величиной инвестор готов пожертвовать в случае непредвиденных форсмажорных обстоятельств.

Наряду с показателем CaR в последние годы для количественной оценки рисков широко используют (например, [3-6]) альтернативный критерий, известный в литературе под аббревиатурой VaR и не имеющий однозначно воспринимаемого перевода. По своему смыслу величина VaR является разностью между стоимостью всего портфеля в момент T и тем же самым $\alpha-$квантилем стоимости, который используется в определении CaR. Эта величина задается выражением

$$VaR = m_0 \exp\left\{\left(r + \boldsymbol{B}^T \boldsymbol{x}\right)T\right\}\left(1 - \exp\left\{\begin{matrix} -\left|u_\alpha\right|\left\|\boldsymbol{\sigma}^T \boldsymbol{x}\right\|\sqrt{T} - \\ -\frac{1}{2}\left\|\boldsymbol{\sigma}^T \boldsymbol{x}\right\|^2 T \end{matrix}\right\}\right), \tag{3}$$

в силу чего

$$VaR - CaR = m_0 e^{rT}\left(e^{\boldsymbol{B}^T \boldsymbol{x} T} - 1\right).$$

Так как для оптимального портфеля мы вправе ожидать $\boldsymbol{B}^T \boldsymbol{x} > 0$, то справедливо неравенство $VaR > CaR$, т.е. для одного и того же портфеля VaR-риск всегда превышает CaR-риск. Целью настоящей работы является решение прямой и обратной задач построения оптимального портфеля ценных бумаг при описании риска в терминах критерия VaR и сопоставление с соответствующими результатами из [2].

Прямая задача оптимизации портфеля. Как и выше, прямая задача заключается в максимизации стоимости (1), но при ограничении $VaR = V$, где V задано. Формально

$$\boldsymbol{B}^T \boldsymbol{x} \to \max_{x \in G},$$

$$G = \left\{ \begin{array}{l} \boldsymbol{x} : m_0 \exp\left\{ \left(r + \boldsymbol{B}^T \boldsymbol{x} \right) T \right\} \times \\ \left(1 - \exp\left\{ -\left|u_\alpha\right| \left\| \boldsymbol{\sigma}^T \boldsymbol{x} \right\| \sqrt{T} - \frac{1}{2} \left\| \boldsymbol{\sigma}^T \boldsymbol{x} \right\|^2 T \right\} \right) = V \end{array} \right\}.$$

Перепишем ограничение в виде:

$$G : e^{\boldsymbol{B}^T \boldsymbol{x} T} \left(1 - \exp\left\{ -\left|u_\alpha\right| \left\| \boldsymbol{\sigma}^T \boldsymbol{x} \right\| \sqrt{T} - \frac{1}{2} \left\| \boldsymbol{\sigma}^T \boldsymbol{x} \right\|^2 T \right\} \right) = \\ = \frac{V}{m_0} e^{-rT}.$$

Представим

$$\frac{V}{m_0} e^{-rT} = \beta \gamma,$$

где β и γ - некоторые сомножители, и потребуем

$$e^{\boldsymbol{B}^T \boldsymbol{x} T} = \beta,$$

$$1 - \exp\left\{ -\left|u_\alpha\right| \left\| \boldsymbol{\sigma}^T \boldsymbol{x} \right\| \sqrt{T} - \frac{1}{2} \left\| \boldsymbol{\sigma}^T \boldsymbol{x} \right\|^2 T \right\} = \gamma$$

или в другой редакции

$$-\left|u_\alpha\right| \left\| \boldsymbol{\sigma}^T \boldsymbol{x} \right\| \sqrt{T} - \frac{1}{2} \left\| \boldsymbol{\sigma}^T \boldsymbol{x} \right\|^2 T = k_1, \; k_1 = \ln\left(1 - \gamma\right),$$

$$\boldsymbol{B}^T \boldsymbol{x} T = k_2, \; k_2 = \ln \beta .$$

Величины k_1, k_2 удовлетворяют равенству

$$e^{k_2} \left(1 - e^{k_1} \right) = \frac{V}{m_0} e^{-rT} \tag{4}$$

и определяются при последующем решении оптимизационной задачи. Далее, как и в [2], вводим новую переменную $\boldsymbol{z} = \boldsymbol{\sigma}^T \boldsymbol{x}$ с ограничением $\left\| \boldsymbol{z} \right\| = d$ и записываем функцию Лагранжа:

$$L = \left(\boldsymbol{\sigma}^{-1} \boldsymbol{B} \right)^T \boldsymbol{z} + \lambda_1 \left(-\left|u_\alpha\right| \left\| \boldsymbol{z} \right\| \sqrt{T} - \frac{1}{2} \left\| \boldsymbol{z} \right\|^2 T - k_1 \right) + \\ + \lambda_2 \left(\left(\boldsymbol{\sigma}^{-1} \boldsymbol{B} \right)^T T \boldsymbol{z} - k_2 \right) + \lambda_3 \left(\left\| \boldsymbol{z} \right\| - d \right),$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ - множители Лагранжа. Стационарные точки находятся из системы уравнений:

$$\boldsymbol{\sigma}^{-1} \boldsymbol{B} + \lambda_1 \left(-\boldsymbol{z} T - \left|u_\alpha\right| \frac{\boldsymbol{z}}{\left\| \boldsymbol{z} \right\|} \sqrt{T} \right) + \lambda_2 \boldsymbol{\sigma}^{-1} \boldsymbol{B} T + \lambda_3 \frac{\boldsymbol{z}}{\left\| \boldsymbol{z} \right\|} = \boldsymbol{0};$$

$$-\left|u_\alpha\right| \left\| \boldsymbol{z} \right\| \sqrt{T} - \frac{1}{2} \left\| \boldsymbol{z} \right\|^2 T = k_1;$$

$$\left(\boldsymbol{\sigma}^{-1} \boldsymbol{B} \right)^T T \boldsymbol{z} = k_2, \; \left\| \boldsymbol{z} \right\| = d.$$

Из первого и четвертого уравнений этой системы находим:

$$\boldsymbol{z} = \frac{\boldsymbol{\sigma}^{-1} \boldsymbol{B} \left(1 + \lambda_2 T \right)}{\lambda_1 \left(T + \frac{\left|u_\alpha\right|}{d} \sqrt{T} \right) - \frac{\lambda_1}{d}}.$$

Тогда из третьего и четвертого уравнений следует:

$$\frac{1 + \lambda_2 T}{\lambda_1 \left(T + \frac{\left|u_\alpha\right|}{d} \sqrt{T} \right) - \frac{\lambda_3}{d}} = \frac{k_2}{\left\| \boldsymbol{\sigma}^{-1} \boldsymbol{B} \right\|^2 T},$$

$$\left| \frac{1 + \lambda_2 T}{\lambda_1 \left(T + \frac{\left|u_\alpha\right|}{d} \sqrt{T} \right) - \frac{\lambda_3}{d}} \right| = \frac{d}{\left\| \boldsymbol{\sigma}^{-1} \boldsymbol{B} \right\|}, \text{ т.е.}$$

$$\left| k_2 \right| = d \left\| \boldsymbol{\sigma}^{-1} \boldsymbol{B} \right\| T, \tag{5}$$

причем параметр d является положительным корнем уравнения

$$-\left|u_\alpha\right| d \sqrt{T} - \frac{1}{2} d^2 T = k_1. \tag{6}$$

Решая замкнутую систему уравнений (3) - (6), находим параметры k_1, k_2, d и получаем после возвращения к исходной переменной $\boldsymbol{x}$ структуру оптимального портфеля в следующих формах записи:

$$x = \frac{k_2 \left(\boldsymbol{\sigma} \boldsymbol{\sigma}^T \right)^{-1} \boldsymbol{B}}{\left\| \boldsymbol{\sigma}^{-1} \boldsymbol{B} \right\|^2 T} = \frac{d \left(\boldsymbol{\sigma} \boldsymbol{\sigma}^T \right)^{-1} \boldsymbol{B}}{\left\| \boldsymbol{\sigma}^{-1} \boldsymbol{B} \right\|}. \tag{7}$$

Обратим внимание на то, что вторая редакция этой записи полностью совпадает с [2], но параметр d имеет иное определение. Подставляя этот вектор в выражение (1), находим стоимость оптимального портфеля при ограниченном риске VaR.

Обратная задача оптимизации портфеля. Содержательно эта задача формулируется так: $VaR \to \min_{x}$ при ограничении $m_s\left(T\right) = k$. Ограничение в случае (1) сводится к эквивалентному виду:

$$\boldsymbol{B}^T \boldsymbol{x} T = c,\ c = \ln\frac{k}{m_0} - rT. \qquad (8)$$

При этом процедура минимизации функции (3) принимает вид:

$$k\left(1-\exp\left\{-|u_\alpha|\left\|\boldsymbol{\sigma}^T\boldsymbol{x}\right\|\sqrt{T}-\frac{1}{2}\left\|\boldsymbol{\sigma}^T\boldsymbol{x}\right\|^2 T\right\}\right) \to \min_x$$

или, что эквивалентно,

$$|u_\alpha|\left\|\boldsymbol{\sigma}^T\boldsymbol{x}\right\|\sqrt{T}+\frac{1}{2}\left\|\boldsymbol{\sigma}^T\boldsymbol{x}\right\|^2 T \to \min_x. \qquad (9)$$

Таким образом, обратная задача сводится к выполнению операции (9) при ограничении (8). После перехода к новой переменной $\boldsymbol{z} = \boldsymbol{\sigma}^T\boldsymbol{x}$ с ограниченной нормой $\|\boldsymbol{z}\| = d$ окончательно приходим к следующей редакции задачи на условный экстремум:

$$\begin{gathered} |u_\alpha|\|\boldsymbol{z}\|\sqrt{T}+\frac{1}{2}\|\boldsymbol{z}\|^2 T \to \min_{z\in G}, \\ G = \left\{\boldsymbol{z} : \left(\boldsymbol{\sigma}^{-1}\boldsymbol{B}\right)^T \boldsymbol{z} = \frac{c}{T},\ \|\boldsymbol{z}\| = d\right\}. \end{gathered} \qquad (10)$$

Стационарные точки в этой задаче находятся на основании соответствующей функции Лагранжа и определяются уравнениями:

$$\begin{gathered} \boldsymbol{z}T + |u_\alpha|\frac{\boldsymbol{z}}{\|\boldsymbol{z}\|}\sqrt{T} + \lambda_1\boldsymbol{\sigma}^{-1}\boldsymbol{B} + \lambda_2\frac{\boldsymbol{z}}{\|\boldsymbol{z}\|} = \boldsymbol{0}, \\ \left(\boldsymbol{\sigma}^{-1}\boldsymbol{B}\right)^T \boldsymbol{z} - \frac{c}{T} = 0,\ \ \|\boldsymbol{z}\| - d = 0, \end{gathered} \qquad (11)$$

где, как и выше, λ_1, λ_2 − множители Лагранжа. Тогда с учетом $\|\boldsymbol{z}\| = d$ из первого уравнения следует:

$$\boldsymbol{z} = \frac{-\lambda_1}{T + \frac{1}{d}\left(|u_\alpha|\sqrt{T} + \lambda_2\right)}\boldsymbol{\sigma}^{-1}\boldsymbol{B},$$

а второе и третье приводят к равенствам:

$$\frac{-\lambda_1}{T + \frac{1}{d}\left(|u_\alpha|\sqrt{T} + \lambda_2\right)} = \frac{c}{T\left\|\boldsymbol{\sigma}^{-1}\boldsymbol{B}\right\|^2},$$

$$\left|\frac{-\lambda_1}{T + \frac{1}{d}\left(|u_\alpha|\sqrt{T} + \lambda_2\right)}\right| = \frac{d}{\left\|\boldsymbol{\sigma}^{-1}\boldsymbol{B}\right\|}.$$

Полагая неравенство $c > 0$ необременительным и совершенно оправданным, выражаем величину d через известные параметры задачи

$$d = \frac{c}{T\left\|\boldsymbol{\sigma}^{-1}\boldsymbol{B}\right\|} \qquad (12)$$

и получаем после перехода от $\boldsymbol{z}$ к $\boldsymbol{x}$ два варианта представления структуры оптимального портфеля при постановке и решении обратной задачи

$$\boldsymbol{x} = \frac{c\left(\boldsymbol{\sigma}\boldsymbol{\sigma}^T\right)^{-1}\boldsymbol{B}}{T\left\|\boldsymbol{\sigma}^{-1}\boldsymbol{B}\right\|^2} = \frac{d\boldsymbol{\sigma}^{-1}\boldsymbol{B}}{\left\|\boldsymbol{\sigma}^{-1}\boldsymbol{B}\right\|}. \qquad (13)$$

Минимальный риск при этом оказывается равным

$$\min VaR = k\left(1-\exp\left\{-|u_\alpha| d\sqrt{T} - \frac{1}{2}d^2 T\right\}\right). \qquad (14)$$

Результаты численного моделирования алгоритмов. Для количественной оценки основных свойств алгоритмов проведем их моделирование применительно к исходным данным, заимствованным из [2], т.е. примем

$$\boldsymbol{B} = \begin{bmatrix} 1.584 \\ 2.412 \\ 1.98 \end{bmatrix}, \qquad r = 0.072,$$

$$\boldsymbol{\sigma} = \begin{bmatrix} 7.53 & 0.029 & 0.275 \\ 0.392 & 9.025 & 0.636 \\ 0.52 & 0.41 & 7.065 \end{bmatrix}.$$

Результаты решения **прямой** задачи при $V = 10^3$ и $m_0 = 10^3$, осуществленного в пакете Mathcad, приводятся в таблице 1:

Таблица 1

T	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
d	1.973	1.237	0.932	0.759	0.644
x	$\begin{bmatrix} 0.113 \\ 0.123 \\ 0.159 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.071 \\ 0.077 \\ 0.1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.053 \\ 0.058 \\ 0.075 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.044 \\ 0.047 \\ 0.061 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.037 \\ 0.04 \\ 0.052 \end{bmatrix}$
$\sum \boldsymbol{x}$	0.396	0.248	0.187	0.152	0.129
$1-\sum \boldsymbol{x}$	0.604	0.752	0.813	0.848	0.871
max $m_s(T)$	1189	1255	1307	1352	1392
VaR	10^3	10^3	10^3	10^3	10^3
CaR	825.775	773.224	736.995	707.567	682.389

Как и в [2], стоимость портфеля $m_0(T)$ с ростом T возрастает (что вполне ожидаемо), при этом состав портфеля также меняется в пользу безрискового актива. Обращает на себя внимание то, что величина риска CaR, рассчитанная по (2) при фиксированном VaR, существенно уменьшается с ростом T. Также подчеркнем и то, что стоимость портфеля при постоянном $VaR = 10^3$ значительно ниже, чем при фиксированном на том же уровне CaR [2]. Это можно объяснить тем, что при $CaR = 10^3$ имеем $VaR > 10^3$, и это не отражается таблицей 1. Если же строить портфели по методике [2], но при значениях CaR, приведенных в таблице 1, которым соответствует $VaR = 10^3$, получаем точно такие же результаты, которые отражены в этой таблице. Таким образом, оба подхода к построению портфели при ограничениях на CaR и VaR приводят к общему результату, если только надлежащим образом осуществить переход от VaR к CaR и наоборот. Но это соответствие можно установить только после проведения расчетов по какому-либо одному из критериев.

Результаты решения **обратной** задачи отражены в таблице 2. Желаемая стоимость портфеля была принята равной $m_s(T) = k = 1.392 \cdot 10^3$ при всех T, т.е. равной стоимости портфеля, достигаемой при решении прямой задачи на горизонте $T = 1$. Поэтому данные последних столбцов в обеих таблицах совпадают. Увеличение желаемой стоимости сопровождается естественным возрастанием риска VaR по сравнению с его значением в прямой задаче, что хорошо отражается таблицей 2.

Таблица 2

T	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
d	3.937	1.879	1.193	0.85	0.644
x	$\begin{bmatrix} 0.226 \\ 0.246 \\ 0.318 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.108 \\ 0.118 \\ 0.152 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.068 \\ 0.075 \\ 0.096 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.049 \\ 0.053 \\ 0.069 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.037 \\ 0.04 \\ 0.052 \end{bmatrix}$
$\sum \boldsymbol{x}$	0.79	0.377	0.239	0.171	0.129
$1-\sum \boldsymbol{x}$	0.21	0.623	0.761	0.829	0.871
$m_s(T)$	1392	1392	1392	1392	1392
min VaR	1376	1295	1193	1093	999.862
CaR	998.194	931.051	845.496	760.687	682.517

Обращает на себя внимание то, что в обратной задаче при малых T в структуре портфеля более заметную роль играют рисковые активы, что, возможно, также объясняется стремлением иметь более “дорогой” портфель.

Заключение. В работе решена задача построения оптимального портфеля ценных бумаг при описании риска средствами критерия VaR. Проведено сопоставление с портфелями, синтезированными при рисках, описываемых в терминах понятия CaR. Показано, что в задаче максимизации стоимости портфеля при фиксированном риске VaR риск CaR существенно уменьшается при возрастании горизонта T. Если же сравнивать два оптимальных по критерию стоимости портфеля, но с ограниченными на одном и том же уровне рисками CaR и VaR, то $CaR-$портфель обеспечивает более высокую стоимость портфеля, нежели его “визави”. Наконец, полезно обратить внимание еще на одну особенность оптимальных портфелей: независимо от способа их построения в структуре оптимального портфеля присутствует множитель $\left(\boldsymbol{\sigma\sigma}^T\right)^{-1}\boldsymbol{B}$. Поэтому, если вектор $\boldsymbol{B}$ таков, что среди компонентов вектора $\left(\boldsymbol{\sigma\sigma}^T\right)^{-1}\boldsymbol{B}$ есть отрицательные, то такой набор эмитентов следует подкорректировать, устранив выявленную отрицательность. Это замечание относится к портфелям, которые не предполагают использование так называемых “коротких позиций”, т.е. у которых все компоненты вектора $\boldsymbol{x}$ $x_i \ge 0,\ i = \overline{0,m}$.

Библиографический список

1. *Чураков Е.П.* О моделировании портфеля ценных бумаг // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: материалы 16-й международной научно-технической конференции. – Рязань, 2010.

2. *Чураков Е.П., Быков С.Н.* Оптимизация портфеля ценных бумаг при использовании стохастической дифференциальной модели //Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. Вып. 38.- Рязань: РГРТУ, 2011.

3. *K. F. C. Yiu.* Optimal portfolios under a value-at-risk constraint. Journal of Economic Dynamics and Control (2004), no 28.

4. *C. Atcinson and M. Papakokinou.* Theory of optimal consumption and portfolio selection under capital-at-risk (car) and value-at-risk (var) constraint. IMA Journal of Management Mathematics, (2005), no 16.

5. *T.A. Pirvu.* Portfolio optimization under the Value-at-Risk constraint. Quantitative Fi-nance, (2007), (2) 7.

6. Santiego Moreno-Bromberg, Traian A. Pirvy, Anthony Reveillac. CRRA Utility Maximization under Risk Constraints. http:// sfb649. wiwi, Hu-berlin.de (2011-0.43, pdf).

УДК 62.2.

Ю.Д Лазутин, В.В. Сускин, В.Ф. Шевченко

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА БАЗЕ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ И CALS-ТЕХНОЛОГИЙ

В данной статье обобщены результаты проведенных авторами теоретических, экспериментальных исследований и полученных при этом практических результатов в виде теории управления качеством изделий электронных средств на разных этапах ЖЦИ.

Ключевые слова: *жизненный цикл, качество, формализация, изделие.*

Введение. На современном рынке наукоемких промышленных изделий одной из главных тенденций является повышение конкуренции. Решение проблемы повышения конкурентоспособности изделий проводится в нескольких направлениях, и одним из главных направлений является «тотальное управление качеством» (стандарт ISO 9000) на основе эффективного управления жизненным циклом изделий (ЖЦИ) с использованием CALS-технологий.

Теоретическая часть. Так, в работе [1] впервые введено понятие жизненного цикла качества изделия (ЖЦКИ). На основе стандарта ISO 9000 выделены основные этапы исследования, сформулированы задачи и принципы формализации исследования ЖЦКИ. Показано, что их решения связаны с необходимостью разработки систем управления ЖЦКИ и научного обоснования в этих системах контроля, прогнозирования и управления качеством выпускаемых изделий на каждом этапе ЖЦИ, начиная с маркетинга и кончая утилизацией изделия.

Следует особо отметить, что решение проблемы обеспечения качества выпускаемых изделий на всех этапах ЖЦИ связано, прежде всего, с использованием системного подхода к их исследованиям. Это позволит одну и ту же методологию анализа и синтеза ЖЦКИ адаптировать к различным видам продукции и производственным условиям, что даст возможность существенно сократить сроки и себестоимость изделий.

В то же время проведенный анализ опубликованных работ по теории систем позволил сделать вывод о том, что системный подход к исследованию ЖЦКИ связан с необходимостью постановки и решения целого ряда задач методического, математического и технического характера, т.е. связан с формализацией методов исследования ЖЦКИ. Первоочередной задачей в этом направлении является задача определения таких основных понятий, как «система ЖЦКИ», «элемент», «связь», «критерий функционирования» системы ЖЦКИ.

На основе существующего в системной теории понятия «система», с учетом специфических признаков, которыми наделены этапы ЖЦИ, сформулированы понятия «система ЖЦКИ», «связи» между элементами системы ЖЦКИ и установлены их отличия от других систем.

На основе сформулированных понятий разработан системно-структурный метод, формализующий изучение ЖЦКИ. Данный метод включает поэтапную, взаимосвязанную, формализованную процедуру составления содержательного описания, абстрактного исследования и количественного изучения основных закономерностей функционирования систем ЖЦКИ.

Остановимся на краткой характеристике каждого из этапов.

Формализация ЖЦКИ на этапе содержательного описания начинается с анализа конкурентоспособности, намеченного на выпуск изделия. Результатом этого анализа является разработка ТЗ и конструкторско-технической документации, в которых отражены все необходимые требования к обеспечению качества выпускаемых изделий.

На этапе содержательного описания системы ЖЦКИ анализ ее свойств имеет качественных характер. Главной чертой этого этапа является то, что в описании системы указываются цели исследования, выявляются целостные и структурные свойства и проводится описание основных информационных взаимосвязей, характеризующих структуру ЖЦКИ. На основе содержательного описания целесообразно разработать общую функциональную схему ЖЦКИ. Такая схема в простой и наглядной форме фиксирует целостные и структурные свойства цикла и облегчает работу по дальнейшему исследованию и моделированию ЖЦКИ.

Установленная на этапе содержательного описания множественная характеристика свойств структуры конкретных этапов ЖЦКИ позволяет обоснованно подойти к этапу теоретического изучения выявленных свойств структуры ЖЦКИ. В связи с этим на этапе теоретического изучения системы ЖЦКИ вводится понятие «абстрактной системы», выступающей в форме теоретико-множественных математических моделей.

Необходимость введения понятия «абстрактной системы» обуславливается следующими положениями.

Поскольку система ЖЦКИ, с одной стороны, включает в себя множество действующих операций, множество связей и отношений, а с другой – образует определенную целостность, с точки зрения строения такая система должна характеризоваться соответствующей упорядоченностью, организацией и иерархичностью структуры.

Раскрытие этих системных свойств связано с фиксацией в системе определенного порядка операций, отношений и связей; с установлением для системы ЖЦКИ взаимоотношениий между ее частями, подсистемами, уровнями и т.д. и степенью их вклада в общее функционирование системы; с выделением существенных связей и отношений системы.

Решение отмеченных выше задач возможно лишь на основе соответствующих математических моделей. Введение и исследование на этом этапе теоретико-множественных моделей системы ЖЦКИ позволяет выполнить анализ и раскрыть упорядоченность, организованность и иерархичность структуры с помощью таких форм, как отношения, определяемые декартовым или прямым произведением и теоретико-множественными и алгебраическими операциями, выполняемыми над множествами; отношения эквивалентности и изоморфности, эквивалентного и изоморфного включения и продолжения, отношений между классами эквивалентности и минимальной формой структуры множеств.

Абстрактный этап исследования позволяет решать многие структурные задачи на качественном уровне: выявлять внешнее сходство между структурами системы ЖЦКИ (изоморфизм, эквивалентность, эквивалентное включение и продолжение структур и т.д.); определять минимальную форму структуры системы, наиболее существенные свойства и структурные взаимосвязи процесса; решать задачи анализа и синтеза системы и обосновывать необходимый объем дальнейших теоретических и экспериментальных исследований ЖЦКИ, связанных с этапом количественного описания его производства, эксплуатации, диагностики и дальнейшей утилизации.

Основные теоретические положения исследования ЖЦКИ ЭС изложены в работах [1-5], а достигнутые практические результаты использования теоретических положений отражены в последующих работах.

Остановимся на некоторых из этих исследований, выполненных в последние годы. В работе [6] рассмотрены этапы маркетинговой и конструкторской подготовки газовых лазеров. Проанализировав полученные данные маркетинговых исследований, приходим к выводу, что основной проблемой существующих газовых лазеров является стабилизация основного параметра – мощности лазерного излучения, зависящая в основном от стабильности выходного тока источника питания.

На основе маркетинговых исследований был выбран один из газовых лазеров, применяемый в быстродействующем контрольно-измерительном оборудовании, скорректировано техническое задание с целью уменьшения нестабильности мощности лазерного излучения.

На этапе структурного проектирования уточнялись основные функциональные части «системы ЖЦКИ», распределялись функции между отдельными узлами и модулями. При этом учитывались требования производства и возможность использования унифицированных изделий, выпускаемых промышленностью. Формализация содержательного уровня с применением абстрактного подхода к поставленной задаче позволила оптимизировать структуру изделия [7].

На этапе схемного проектирования изделия на содержательном уровне системного подхода был применен графо-теоретический метод, а не топографический метод, где приоритет отдается метрическому аспекту задачи. Графо-теоретический метод предполагает предварительный анализ планарности графа схемы с последующей ликвидацией пересечений при использовании соответствующих технологических приемов [8].

На основе рассмотренных выше системных принципов авторы перешли к конструкторскому этапу исследования ЖЦКИ. Здесь были выполнены системные исследования различных конструкций лазера, проведены необходимые теоретические и экспериментальные исследования с использованием теории оптимизации и чувствительности.

В результате проведенной конструкторской подготовки были разработаны новая схема и конструкция газового лазера, включая блок питания, при этом учитывались электрические, магнитные, механические, тепловые и другие связи, имеющие место между элементами конструкции [6].

Новизна результатов разработки подтверждена полученным патентом [9].

На этапе технологической подготовки производства газового лазера разработаны структурные схемы сборочных единиц и сборки гелий-неонового лазера. Разработаны графоаналитические модели, которые обеспечили прогнозирование и управление качеством изготовления лазера [10].

В настоящее время лазер ЛГН-212М с повышенной стабильностью мощности лазерного излучения начал поставляться как на внутренний рынок, так и в Индию, Китай, Беларусь и другие страны.

На этапе эксплуатации, при диагностике ЭС оборонной техники, были использованы те же системные принципы исследования ЖЦКИ, которые нашли отражение в работах [11-13] и внедрены на ряде оборонных предприятий страны.

На всех рассмотренных выше этапах ЖЦКИ для информационной поддержки была использована CALS-технология, которая в наши дни становится обязательной частью любой производственной и экономической деятельности предприятия. Это позволяет обеспечить жизнеспособность производству и дать ему возможность развиваться в нынешних условиях чрезвычайно жесткой рыночной конкуренции.

CALS-технология в основном строится на базе САПР, АСИР, АСТПП, ГПС и АСУП, функции которых покрывают такие области деятельности предприятия, как маркетинг, проектирование, инженерные расчёты, технологическая подготовка производства, гибкое производство и управление, эксплуатация, ремонт и утилизация. Здесь CALS-технология означает, что все области связаны единой информационной базой данных.

Объединение системы управления качеством ЖЦКИ, CALS-технологии и социальных сетей позволяет построить новый вариант организации предприятия в виде компьютерно-интегрированного предприятия (КИП) [14], основные преимущества которого в следующем: повышается качество; снижается стоимость продукции; сокращается время разработки; применяются прогрессивные технологии и их управление; повышается инженерное качество производственной деятельности.

Заключение. Использование основных положений исследования управления качеством ЖЦКИ позволило:

1) выявить основные закономерности и связи между этапами ЖЦКИ в количественнных и качественных отношениях при производстве ЭС;

2) разработать отраслевые стандарты (ОСТ) по интегральным микросхемам, магнитоуправляемым контактам и генераторным модуляторным лампам;

3) спроектировать оптимальные автоматизированные системы управления (АСУ) качеством при производстве ленточных магнитопроводов, магнитоуправляемых контактов и оптических элементов. Это позволило получить значительный экономический эффект;

4) впервые формализовать теоретический подход к исследованию и управлению ЖЦКИ на всех его этапах, который находит в настоящее время широкое применение в промышленности при изготовлении конкретных изделий ЭС, а также в учебном процессе.

Библиографический список

1. *Лазутин Ю.Д.* Структурный анализ и выбор управляемых параметров в производстве электронных приборов. - М.:ЦНТИ «Электроника», 1978. - 52 с.

2. *Лазутин Ю.Д.* Методы исследования абстрактных технологических процессов. - М.: ЦНТИ «Электроника», 1980. - 89 с.

3. *Лазутин Ю.Д.* Методы теории чувствительности в технологии производства электронных приборов. - М.: ЦНТИ «Электроника», 1979. - 128 с.

4. *Шевченко В.Ф., Лазутин В.Ю.* Принципы формализации исследования жизненного цикла качества изделий // Труды Международного форума по проблемам науки, техники и образования. Т. 2. - М., 2008. - С. 108-130.

5. *Шевченко В.Ф., Лазутин В.Ю.* Основы расчета физической взаимозаменяемости жизненного цикла электронных средств // Труды Международного форума по проблемам науки, техники и образования. Т.3. - М., 2008. - С. 16-19.

6. *Калинина А.О., Лазутин Ю.Д., Сускин В.В.* Системные принципы исследования и расчета физической взаимозаменяемости элементов гелий-неонового лазера для повышения стабильности мощности лазерного излучения // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – М.: ФГУП НПП ВНИИЭМ, 2011. - Т. 122. № 3. С. 37-40.

7. *Сускин В.В.* Формализация задачи компоновки конструкции радиоэлектронной аппаратуры на этапе структурного проектирования // Приборы и

системы. Управление, контроль, диагностика. 2002. № 9. С. 15-19.

8. *Суськин В.В.* Оптимизация ПЛИС технологии // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2003. № 4. С. 6-14.

9. *Дубов А.В., Капранов А.П., Лазутин В.Ю., Суськин В.В.* Патент № 2419183 «Устройство питания гелий-неонового лазера» 03.06.09.

10. *Суськин В.В.* Автоматизация технологической подготовки сборочных операций // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2001. № 3. С. 18-20.

11. *Суськин В.В., Дубов А.В., Капранов А.П.* Программно-аппаратный комплекс системы автоматизированного контроля радиоэлектронных устройств // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2010. № 4. С. 45-48.

12. Построение и анализ абстрактных моделей при диагностике радиоэлектронных устройств: методические указания в лаб. раб. / РГРТУ; сост. А.В. Дубов, А.В. Капранов, В.В. Суськин. Рязань, 2011. 16 с.

13. *Дубов А.В.* Программный комплекс системного анализа точности функционирования диагностируемых РЭУ «DUE1.0». Свидетельство о гос. Рег. Программ для ЭВМ № 2010616661.

14. *Суськин В.В.* Вариант компьютерно-интегрированной технической подготовки производства изделий радиоэлектронных средств // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2001. № 4. С. 9-14.