

УДК 517.977.58

Т.В. Гурьянова

Донецкий национальный технический университет
gurianova_taya@ukr.net

Анализ эффективности алгоритмов динамического управления капиталом при различных методах оптимизации расчетов

В статье рассмотрены вопросы оптимизации количества элементарных операций при реализации на ЭВМ различных алгоритмов динамического управления капиталом. Доказано, что метод секущих совместно с предложенными алгоритмами обеспечивает максимум отношений величин экономических показателей к количеству элементарных операций при реализации на ЭВМ.

Ключевые слова: управление капиталом, экономическая эффективность.

Введение

Для повышения эффективности торговых систем можно реинвестировать полученную прибыль в новые инвестиционные проекты или в расширение старых. Американский ученый Р. Винс разработал теорию «оптимального f » [1] – нахождения части капитала, которую следует реинвестировать для умножения первоначального капитала инвестора в необходимое число раз за кратчайшее время. Однако практическое использование теории «оптимального f » Р. Винса из-за грубых математических допущений весьма рискованно

В [2] нами были предложены оригинальные алгоритмы динамического управления капиталом (ДУК), основанные на теории Р. Винса. В [3] и [4] оригинальные алгоритмы и алгоритм Р. Винса были сравнены по различным критериям и по функции мощности. В расчетах для нахождения оптимальной доли для реинвестирования первоначально был использован метод простого перебора.

Цель исследований

Целью исследований является выбор метода оптимизации проведения расчетов применительно к алгоритму Р. Винса и предложенным алгоритмам ДУК [2] для минимизации количества элементарных операций при их реализации на ЭВМ. Дополнительной целью исследований является определение эффективности рассмотренных алгоритмов ДУК по критерию максимального отношения приращений экономических эффектов к требуемому количеству элементарных операций.

Для реализации перечисленных выше целей необходимо решить следующие частные задачи:

- разработать блок-схемы известных методов оптимизации расчетов применительно к

исследуемым алгоритмам ДУК и на их основе оценить количество требуемых элементарных операций;

- по предложенному критерию эффективности найти такие сочетания алгоритмов ДУК и алгоритмов оптимизации расчетов, которые приводят к максимальной удельной эффективности на одну операцию.

Анализ соотношения Р. Винса

При определении доли капитала для реинвестирования в нашем исследовании используется формула Р. Винса [1]:

$$K|_{\max} = \prod_{j=1}^n \left(1 + \frac{(-x_j)}{x_{\min}} \cdot f \right), \quad (1)$$

где n – интервал оценки поведения исследуемого временного ряда $\{x_j\}$.

Для определения оптимального значения f , необходимо найти максимальное значение функции $K(f)$, где $f \in [0;1]$. Таким образом, функция $K(f)$ является многочленом n -ой степени. Для удобства последующего анализа введем обозначение:

$$x_j^* = \frac{-x_j}{x_{\min}}, \quad (2)$$

где $(-x_j)$ – величина выигрыша или проигрыша системы (исторические данные), взятая с противоположным знаком; x_{\min} – самый большой проигрыш системы (всегда со знаком «-»). Тогда x_j^* (приведенное значение) будет иметь смысл кратности превышения j -тым выигрышем или проигрышем системы ее наибольшего проигрыша на интервале анализа n . Причем эти значения будут положительными для выигрышей и отрицательными для проигрышей системы. В этом случае выражение (1) с учетом выражения (2) может быть переписано в виде:

$$K(f)|_{\max} = \prod_{j=1}^n (1 + x_j^* \cdot f) \quad (3)$$

Коэффициенты $\{x_j^*\}$, входящие в выражение (3) имеют следующие свойства:

- 1) $x_j^{*(-)}$ $\in [-1, 0)$ - отрицательные коэффициенты $x_j^{*(-)}$, входящие в выражение (3) не меньше значения -1 , т.к. любой проигрыш торговой системы не превышает максимального проигрыша на исследуемом интервале. При этом обязательно найдутся такие коэффициенты $x_{k_i}^{*(-)} = -1$: $i = 1$ в случае, если на исследуемом интервале временного ряда исторических данных был только один максимальный проигрыш; $i > 1$, если на исследуемом интервале было несколько одинаковых максимальных проигрышей;
- 2) $x_j^{*(+)} \in [0; \infty)$ - неотрицательные коэффициенты $x_j^{*(+)}$, входящие в выражение (3) могут принимать любое значение от 0 до $+\infty$, т.к. если наибольший проигрыш системы на исследуемом периоде $x_{\min} \rightarrow 0$, то $x_j^{*(+)} \rightarrow +\infty$.

Рассмотрим уравнение

$$K(f) = \prod_{j=1}^n (1 + x_j^* \cdot f) = 0, \quad (4)$$

определяющее значение корней многочлена (3). Исходя из вышеприведенных свойств, для корней этого уравнения могут быть сформулированы следующие утверждения:

- 1) в общем случае уравнение (4) имеет n различных действительных корней (f_j), которые могут быть вычислены как

$$f_j = -\frac{1}{x_j^*}. \quad (5)$$

В случае наличия одинаковых значений величин выигрышей (проигрышей) системы корни уравнения будут кратными;

- 2) положительные корни уравнения (4)

$$f_j^{(+)} = -\frac{1}{x_j^{*(-)}} \text{ могут принимать значения на}$$

полуинтервале $[1; +\infty)$. Причем уравнение (4) обязательно имеет хотя бы один корень $f_k^{(+)} = +1$;

- 3) отрицательные корни уравнения (4)

$$f_j^{(-)} = -\frac{1}{x_j^{*(+)}} \text{ могут принимать значения на}$$

интервале $(-\infty; 0)$, причем $K(0) = 1$.

Т.к. мы ищем оптимальную долю капитала f^* для реинвестирования, т.е. то значение величины $f \in [0; 1]$, при котором множитель

капитала $K(f)$ будет максимальным. То нас интересует поведение графика функции на отрезке $f \in [0; 1]$.

Исходя из свойств многочлена (3) и свойств корней уравнения (4) на указанном отрезке функция $K(f)$ либо будет иметь один (и только один) экстремум, либо будет достигать своего максимального значения ($K = 1$) в точке $f^* = 0$. При этом, при увеличении среднего значения приведенного выигрыша $K \rightarrow \infty$, $f^* \rightarrow 1$. Эти результаты дают возможность использовать методы ускорения расчетов.

Метод простого перебора

На первом этапе исследования в [2-6] для нахождения значения $f^* \in [0; 1]$, при котором значение функции (3) достигает своего максимального значения, нами был использован метод простого перебора.

Метод простого перебора был реализован в виде компьютерной программы, где при проведении расчетов оптимальная доля капитала для реинвестирования f^* рассчитывается с заданной точностью ε .

Оценим количество операций, необходимое для проведения вычислений f^* для приведенных в [2] алгоритмов ДУК методом простого перебора. Будем считать, что точность расчетов равна $\varepsilon = \frac{1}{2 \cdot k_\varepsilon}$, где k_ε - количество шагов при

полном переборе. Блок-схема расчетов методом простого перебора для алгоритма ДУК Р. Винса приведена на рис.1.

Считая за элементарную операцию 1 операцию сложения (умножения, сравнения, присвоения) оценим количество требуемых операций для алгоритма ДУК Р. Винса методом простого перебора $T_{пер}$:

$$T_{пер} = (n+3)^{(1)} + 2^{(2)} + (k_\varepsilon + 1) \cdot (1^{(3)} + 4^{(4)} + n \cdot (1^{(5)} + 5^{(6)} + 2^{(7)}) + 1^{(8)} + 1^{(9)} + 2^{(10)} + 1^{(11)}) = 9n + 15 + (9 + 8n)k_\varepsilon. \quad (6)$$

Здесь верхний индекс в круглых скобках обозначает номер блока блок-схемы, а само число - количество операций, выполняемых в этом блоке.

Для алгоритма F_1 [2] (алгоритма, использующего интервальные оценки f^*) вместо x_1, x_2, \dots, x_n в блок 1 должны подаваться x_1, x_2, \dots, x_{2n} и вместо x_{\min} - $x_{1\min}, \dots, x_{n\min}$. Расчеты, проведенные в блоках 2-10 блок-схемы на рис. 1 должны быть повторены n раз, кроме того, в блоке 11 рассчитывается: $\bar{f} = n + 2$

операций, $\sigma_f - (2n + 3)$ операции и $F_1 - 5$ операций. Тогда количество операций $T_{пер}^{F_1}$ для расчета оптимальной доли для реинвестирования методом перебора для алгоритма F_1 равно:

$$T_{пер}^{F_1} = (3n + 2)^{(1)} + (2^{(2)} + (k_\epsilon + 1) * (9 + 8n)^{(3-10)}) \cdot n + (3n + 10)^{(11)} = 8n + 12 + (k_\epsilon + 1)(9 + 8n) \cdot n \quad (7)$$

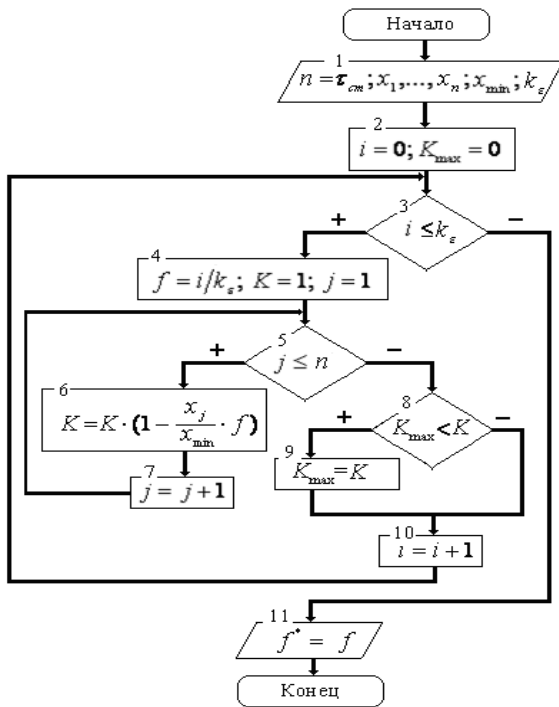


Рисунок 1 – Блок-схема для расчетов методом простого перебора для алгоритма Р. Винса.

Для алгоритма F_2 [2] (алгоритма усреднения $\{x_i\}$) расчеты имеют такой же вид, как в блок-схеме на рис. 1, только в блок 1 вместо значений x_1, \dots, x_n подаются значения $EMA(x_1), \dots, EMA(x_n)$ - $6n$ операций. Объем вычислений в этом случае равен:

$$T_{пер}^{F_2} = (6n + 2)^{(1)} + 2^{(2)} + (k_\epsilon + 1) * (9n + 8)^{(3-10)} + 1^{(11)} = 15n + 13 + (9n + 8)k_\epsilon. \quad (8)$$

Для алгоритма F_3 [2] (алгоритм усреднения $\{f_i\}$) вместо x_1, x_2, \dots, x_n в блок 1 должны подаваться x_1, x_2, \dots, x_{2n} и вместо $x_{\min} - x_{1 \min}, x_{2 \min}, \dots, x_{n \min}$. Операции, приведенные в блок-схеме на рис. 1 в блоках 2-10 должны быть повторены n раз, а в блоке 11 рассчитывается F_3 - $6n$ операций. Тогда, объем вычислений равен:

$$T_{пер}^{F_3} = (3n + 2)^{(1)} + (2^{(2)} + (k_\epsilon + 1) * (9 + 8n)^{(3-10)}) \cdot n + 6n^{(11)} = 11n + 2 + (k_\epsilon + 1)(9 + 8n) \cdot n. \quad (9)$$

Метод дихотомии

Для ускорения расчетов может быть предложен метод дихотомии. Для применения метода уравнение (1) должно быть приведено к виду [7, 8]:

$$\varphi(f) = 0, \quad (10)$$

где $\varphi(f)$ – некоторая функция, $f \in [0; 1]$.

Исходя из свойств выражения (1) в качестве функции $\varphi(f)$ для определения оптимальной доли реинвестирования капитала может быть выбрана функция:

$$\frac{\partial(K(f))}{\partial f} = \sum_{i=1}^n \frac{-x_i}{x_{\min}} \cdot \prod_{j \neq i=1}^n (1 + \frac{-x_j}{x_{\min}} \cdot f). \quad (11)$$

На рис. 2 приведена блок-схема расчета методом дихотомии.

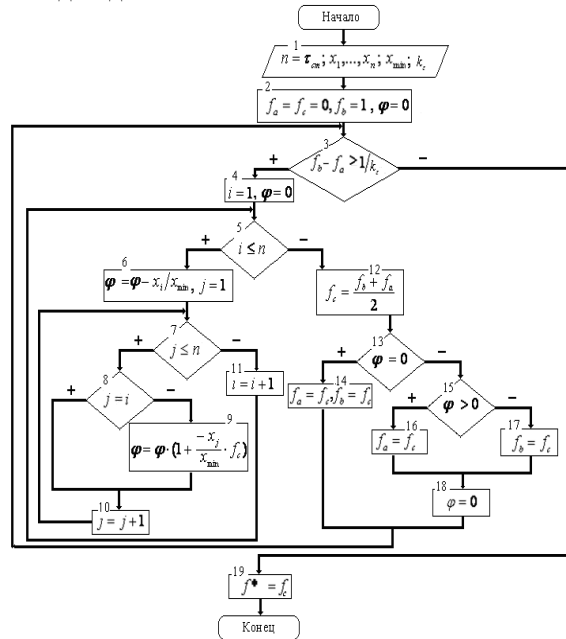


Рисунок 2 – Блок-схема для расчетов методом дихотомии для алгоритма Р. Винса.

В этом случае при тех же исходных предположениях относительно значений $n = \tau_{см}$ и необходимой точности вычисления ϵ , оценка количества требуемых операций для алгоритма Винса дает значение:

$$T_{дих} = n + 8 + (14 + 7n + 9n^2) \cdot \log_2 k_\epsilon. \quad (12)$$

Для F_1 , F_2 и F_3 соответственно:

$$T_{дих}^{F_1} = 10n + 12 + (14 + 7n + 9n^2) \cdot \log_2 k_\epsilon \cdot n. \quad (13)$$

$$T_{дих}^{F_2} = 6n + 6 + (14 + 7n + 9n^2) \cdot \log_2 k_\epsilon. \quad (14)$$

$$T_{дих}^{F_3} = 13n + 2 + (14 + 7n + 9n^2) \cdot \log_2 k_\epsilon \cdot n. \quad (15)$$

Метод Ньютона

Достаточно эффективным может быть и использование методов оптимизации второго порядка, хотя в этом случае эффект будет проявляться при необходимости достижения более высокой, чем $\varepsilon = 0,001$ точности вычислений. В частности, при использовании метода Ньютона, итерационная процедура решения уравнения (10) строится по формуле [7]:

$$f_k = f_{k-1} - \frac{\varphi(f_{k-1})}{\left. \frac{\partial \varphi(f)}{\partial f} \right|_{f=f_{k-1}}}, \quad (16)$$

где

$$\frac{\partial \varphi(f)}{\partial f} = \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n \frac{x_i \cdot x_j}{x_{\min}^2} \cdot \prod_{l \neq i \neq j} (1 + \frac{-x_l}{x_{\min}} \cdot f). \quad (17)$$

В этом случае для достижения заданной степени точности потребуется меньшее количество итераций, но больший объем расчетов. Блок-схема расчета методом Ньютона приведена на рис. 3.

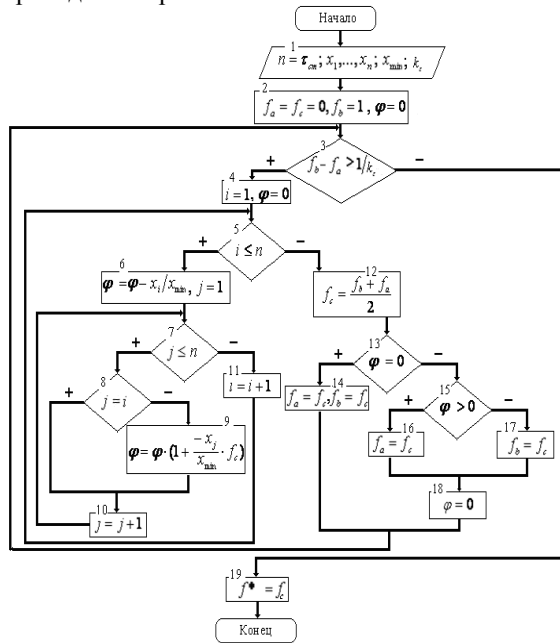


Рисунок 3 – Блок-схема для расчетов методом Ньютона для алгоритма Р. Винса.

Нами были проведены оценки количества требуемых операций для этого случая:

$$T_{\text{ньют}} = n + 8 + (10 + 7n + 17n^2 + 12n^3) \ln \ln k_\varepsilon, \quad (18)$$

$$T_{\text{ньют}}^{F_1} = 10n + 12 + (10 + 7n + 17n^2 + 12n^3) \cdot n \cdot \ln \ln k_\varepsilon, \quad (19)$$

$$T_{\text{ньют}}^{F_2} = 6n + 7 + (10 + 7n + 17n^2 + 12n^3) \cdot \ln \ln k_\varepsilon, \quad (20)$$

$$T_{\text{ньют}}^{F_3} = 13n + 2 + (10 + 7n + 17n^2 + 12n^3) \cdot n \cdot \ln \ln k_\varepsilon. \quad (21)$$

Метод секущих

Для ускорения расчетов также может быть предложен метод секущих. Метод состоит в следующем [7, 8]: в процессе итераций фиксируется некоторая точка f^0 . Приближение f^{n+1} находится как абсцисса точки пересечения прямой, проходящей через точки $(f^{n-1}, K(f^{n-1}))$ и $(f^n, K(f^n))$. Уравнение этой прямой

$$y_n(f) = K(f^n) + (f - f^n) \cdot \frac{K(f^n) - K(f^{n-1})}{f^n - f^{n-1}}. \quad (22)$$

Из условия $y_n(f^{n+1}) = 0$ получаем

$$f^{n+1} = f^n - \frac{K(f^n) \cdot (f^n - f^{n-1})}{K(f^n) - K(f^{n-1})}. \quad (23)$$

Вычисление прекращают, когда одна из величин $|f^{n+1} - f^n|$ или $|K(f^{n+1}) - K(f^n)|$ становится меньше некоторого заранее заданного $\varepsilon > 0$.

На рис. 4 приведена блок-схема расчета методом секущих.

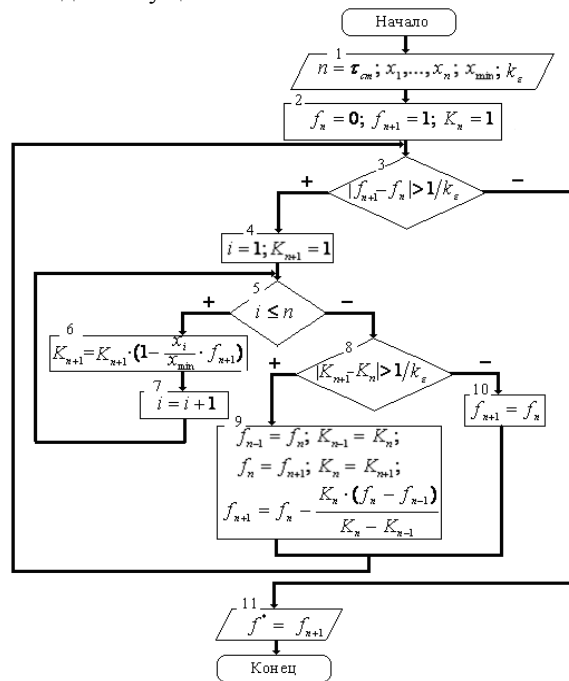


Рисунок 4 – Блок-схема для расчетов методом секущих для алгоритма Р. Винса.

Оценка количества требуемых операций при проведении расчетов методом секущих дает следующие соотношения:

$$T_{\text{сек}} = n + 7 + (6 + 21n) \cdot \ln \ln k_\varepsilon, \quad (24)$$

$$T_{\text{сек}}^{F_1} = 9n + 12 + (6 + 21n) \cdot n \cdot \ln \ln k_\varepsilon, \quad (25)$$

$$T_{\text{сек}}^{F_2} = 6n + 6 + (6 + 21n) \cdot \ln \ln k_\varepsilon, \quad (26)$$

$$T_{\text{сек}}^{F_3} = 12n + 2 + (6 + 21n) \cdot n \cdot \ln \ln k_\varepsilon. \quad (27)$$

Сравнение быстродействия алгоритмов динамического управления капиталом

Количество операций при различных $\varepsilon = 0,005$ и $\varepsilon = 0,05$ и $n = 20$ приведено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение количества операций для алгоритмов ДУК при различных методах оптимизации.

$\varepsilon = 0,005, k_\varepsilon = 100, n = 20$				
	$T_{пер}$	$T_{дих}$	$T_{ньют}$	$T_{сек}$
Винс	17095	26305	205928	879
F_1	341552	525772	4118212	17232
F_2	17213	26404	206027	978
F_3	341602	525822	4118262	17282
$\varepsilon = 0,05, k_\varepsilon = 10, n = 20$				
Винс	1885	15043	102978	453
F_1	37352	300532	2059212	8712
F_2	2003	15142	103077	552
F_3	37402	300582	2059262	8762

Из таблицы следует, что при точности расчетов порядка $\varepsilon = 0,005$ расчеты с помощью метода секущих по сравнению с методом перебора ускоряются в 20 раз; при точности $\varepsilon = 0,05$ расчеты ускоряются в 4 раза. Остальные методы оптимизации, такие как метод дихотомии и метод Ньютона, только увеличивают количество операций. Таким образом, для уменьшения количества операций необходимо оптимизировать расчеты с помощью метода секущих.

Эффективность используемых компьютерных технологий

Экономическая эффективность - результативность экономической системы, выражающаяся в отношении полезных конечных результатов ее функционирования к затраченным ресурсам [9].

В качестве меры сравнения эффективности предлагается использовать показатели, которые определяются как отношения:

$$I_K = \frac{K - K'}{T - T'}, \quad (28)$$

$$I_\sigma = \frac{\sigma - \sigma'}{T - T'}, \quad (29)$$

$$I_{PF} = \frac{PF - PF'}{T - T'}, \quad (30)$$

$$I_{K_{III}} = \frac{K_{III} - K'_{III}}{T - T'}, \quad (31)$$

где K - множитель капитала, полученный при применении оригинального алгоритма ДУК, K' -

множитель капитала, полученный при применении алгоритма ДУК Р.Винса; σ - среднееквадратическое отклонение кривой доходности относительно ее среднего значения при применении оригинального алгоритма ДУК, σ' - среднееквадратическое отклонение кривой доходности относительно ее среднего значения при применении алгоритма Р.Винса; PF - профит-фактор, полученный при применении оригинального алгоритма ДУК, PF' - профит-фактор, полученный при применении алгоритма Р.Винса; K_{III} - коэффициент Шарпа, полученный при применении оригинального алгоритма ДУК, K'_{III} - коэффициент Шарпа, полученный при применении алгоритма Р.Винса; T, T' - общее количество элементарных операций, необходимых для подсчета доли капитала для реинвестирования для, соответственно, оригинального алгоритма и алгоритма Р.Винса.

Для сравнения воспользуемся коэффициентами, рассчитанными в [3] для ряда «медленных» $\{x_i\}$, $i = 1, \dots, 557$, что при $n = 20$ соответствует 537 шагам адаптации. Данные приведены в таблице 2.

Таблица 2. Коэффициенты, полученные для ряда «медленных» $\{x_i\}$.

	K	σ	PF	K_{III}
Винс	$4,54 \cdot 10^{25}$	$5,3 \cdot 10^{31}$	1,078	11,13
F_1	$5,45 \cdot 10^{25}$	$5,23 \cdot 10^{31}$	1,249	11,14
F_2	$5,95 \cdot 10^{27}$	$6,62 \cdot 10^{33}$	1,219	11,52
F_3	$4,33 \cdot 10^{25}$	$4,62 \cdot 10^{31}$	1,124	11,13

Проведем расчеты (при точности $\varepsilon = 0,05$ определения доли для реинвестирования) для алгоритма F_1 , где $K = 5,45 \cdot 10^{25}$, $K' = 4,54 \cdot 10^{25}$, $\sigma = 5,23 \cdot 10^{31}$, $\sigma' = 5,3 \cdot 10^{31}$, $PF = 1,249$, $PF' = 1,078$, $K_{III} = 11,14$, $K'_{III} = 11,13$ (из табл. 2), при проведении расчетов методом перебора: $T = 37352$, $T' = 1885$ (из табл. 1).

$$\text{Тогда}$$

$$I_K = \frac{5,45 \cdot 10^{25} - 4,54 \cdot 10^{25}}{37352 - 1885} \approx 2,6 \cdot 10^{20},$$

$$I_\sigma = \frac{5,23 \cdot 10^{31} - 5,3 \cdot 10^{31}}{37352 - 1885} \approx -2 \cdot 10^{25},$$

$$I_{PF} = \frac{1,249 - 1,078}{37352 - 1885} \approx 4,8 \cdot 10^{-6},$$

$$I_{K_{III}} = \frac{11,14 - 11,13}{37352 - 1885} \approx 2,8 \cdot 10^{-7}.$$

Остальные расчеты проведем аналогично и полученные показатели сведем в таблицу 3.

Таблица 3. Показатели экономической эффективности для ряда «медленных» $\{x_i\}$.

	I_K	I_σ	I_{PF}	$I_{Ш}$
Метод перебора				
F_1	$2,6 \cdot 10^{20}$	$2 \cdot 10^{25}$	$4,8 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$
F_2	$5 \cdot 10^{25}$	$5,6 \cdot 10^{31}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$
F_3	$5,9 \cdot 10^{19}$	$1,9 \cdot 10^{26}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	0
Метод дихотомии				
F_1	$3,2 \cdot 10^{19}$	$2,5 \cdot 10^{24}$	$6 \cdot 10^{-7}$	$3,5 \cdot 10^{-8}$
F_2	$6 \cdot 10^{25}$	$6,6 \cdot 10^{31}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
F_3	$7,4 \cdot 10^{18}$	$2,4 \cdot 10^{25}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	0
Метод Ньютона				
F_1	$4,7 \cdot 10^{18}$	$3,6 \cdot 10^{23}$	$8,7 \cdot 10^{-8}$	$5,1 \cdot 10^{-9}$
F_2	$6 \cdot 10^{25}$	$6,6 \cdot 10^{31}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
F_3	$1,1 \cdot 10^{18}$	$3,5 \cdot 10^{24}$	$2,4 \cdot 10^{-8}$	0
Метод секущих				
F_1	$1,1 \cdot 10^{21}$	$8,5 \cdot 10^{25}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$
F_2	$6 \cdot 10^{25}$	$6,6 \cdot 10^{31}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
F_3	$2,5 \cdot 10^{20}$	$8,2 \cdot 10^{26}$	$5,5 \cdot 10^{-6}$	0

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. При точности расчетов определения доли капитала для реинвестирования, $\varepsilon = 0,05$, количество операций при использовании метода секущих меньше в 4 раза, чем при использовании метода перебора. При точности $\varepsilon = 0,005$ количество операций - меньше в 20 раз.

2. Экономическая эффективность при использовании метода секущих для алгоритмов F_1 и F_3 возрастает в 4,2 раза (при $\varepsilon = 0,05$). Экономическая эффективность для этих алгоритмов убывает при использовании метода дихотомии в 8 раз, при использовании метода Ньютона в 55 раз (вследствие увеличения количества операций).

3. Для алгоритма F_2 нахождения доли капитала при реинвестировании экономическая эффективность при использовании методов дихотомии, Ньютона и секущих одинакова (т.к. разность $T - T'$ одинакова для всех трех методов). Экономическая эффективность при использовании этих методов расчетов превышает экономическую эффективность от применения метода простого перебора в 1,2 раза.

4. Таким образом, для уменьшения количества операций при расчетах доли капитала при реинвестировании и увеличения экономической эффективности целесообразно использовать метод секущих совместно с ранее предложенными в [2] алгоритмами.

Литература

1. Винс Р. Математика управления капиталом. Методы анализа риска для трейдеров и портфельных менеджеров: пер. с англ. / Р. Винс. – М.: Альпина Паблишер, 2001. – 400 с.
2. Смирнов А.В. Новое в динамическом управлении / А.В. Смирнов, Т.В. Гурьянова // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». – 2009. – Вып. 10 (153). – С. 230-233.
3. Смирнов А.В. Многокритериальный анализ эффективности алгоритмов динамического управления капиталом. Смирнов А.В., Гурьянова Т.В. Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». – 2009. – Вып. 10 (153). – С. 320-323.
4. Гурьянова Т.В. Сравнение эффективности алгоритмов динамического управления капиталом по функции мощности / Т.В. Гурьянова // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». – 2010. – Вып. 12 (165). – С. 106-110.
5. Смирнов А.В. Об «оптимальном f » Ральфа Винса / А.В. Смирнов, Т.В. Гурьянова // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». – 2008. – Вып. 9 (132). – С. 216-220.
6. Гурьянова Т.В. Определение интервалов квазистационарности экономических систем / Т.В. Гурьянова // Научно-теоретический журнал «Искусственный интеллект». – 2010. – № 1. – С. 129-134.
7. Бахвалов Н.С. Численные методы / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2008. – 636 с.
8. Амосов А.А. Вычислительные методы для инженеров / А.А. Амосов, Ю.А. Дубинский, Н.П. Копченкова. – М.: Мир, 1998. – 332 с.
9. Мелкумов Я.С. Экономическая оценка эффективности инвестиций и финансирования инвестиционных проектов / Я.С. Мелкумов. – М.: ИКЦ «ДИС», 1997. – 160 с.

Надійшла до редакції 17.01.2011