

# Система автоматизированного проектирования иерархических меню

А.И. Даниленко

Учреждение Российской академии наук  
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН  
danilenko.alexander@gmail.com

## Аннотация

Описана автоматизированная система оптимизации иерархической структуры меню. Сформулированы требования к интерактивному процессу проектирования. В качестве математической формализации задачи предложена модель на базе теории оптимизации иерархических структур. Описаны полученные теоретические результаты и реализованная на их основе интерактивная система проектирования меню. Подход проиллюстрирован на примере оптимизации меню мобильного телефона.

## 1. Введение

С развитием графических интерфейсов иерархические командные меню стали важной частью компьютерных программ и до сих пор удерживают свою позицию. Меню обычно является если не единственным, то самым полным каталогом команд или ссылок в системе, поэтому удобство меню является важным критерием качества интерфейса в целом. Но применение иерархических меню не ограничивается компьютерными программами. Различного рода меню применяются для управления каталогов сайтов (рис. 1), а также в мобильных и бытовых устройствах.

Эффективность меню, как правило, определяется средним временем поиска элементов в нем [1, 2].

<b>Бизнес</b> Работа, Недвижимость, Инвестиции, ...	<b>Искусство</b> Кино, Телевидение, Музыка, ...	<b>Общество</b> Люди, Актюаг
<b>Дом</b> Семья, Потребитель, Кулинария, ...	<b>История</b> Карты	
<b>Досуг</b> Туризм, Гастрономия, На улице, Юмор, ...	<b>Компьютер</b> Интернет	<b>Кино</b> Искусство > Кино
<b>Здоровье</b> Фитнес, Медицина, Альтернативная, ...	<b>Наука</b> Биология	<b>Разделы</b>
<b>Игры</b> Компьютерные, Ролевые, Азартные, ...	<b>Новости</b> Газеты	DVD (7)      Кинотеатры (7) Актеры (343)      Кинофестивали Анимация (240)      Музыка (4) Беларусь (2)      Новости и СМИ Киностудии (21)      Обзоры (2)

Рис. 1. Фрагмент Интернет-каталога Google™ Directory

Заданный набор элементов можно организовать в осмысленную иерархию категорий множеством различных способов. Таким образом, задача поиска оптимальной структуры меню состоит в выборе допустимой иерархии, минимизирующей критерий оптимизации – среднее время поиска. При этом множество допустимых иерархий содержательно ограничено (например, элементы меню можно группировать только в осмысленные категории). Подобные ограничения крайне сложно учесть в математической постановке задачи, т.к. они носят неформальный характер. Например, за проверкой допустимости той или иной группировки элементов в меню необходимо обращаться к эксперту – разработчику меню. Аналогичная ситуация возникает при наличии помимо главного критерия (среднего времени поиска) еще и ряда неформальных (удобство для пользователя, привлекательность). Полностью автоматическое решение задачи с такими неформальными компонентами невозможно – необходима интерактивная автоматизированная система (АС), основная цель которой обеспечить поиск оптимальной структуры меню с минимальными трудозатратами эксперта. Такая АС предполагает определенную степень развитости математической теории. В последующих разделах подробнее обсуждаются принципы работы и требования к АС, предлагается математическая модель оптимизации меню и основанная на ней интерактивная система построения меню.

## 2. Обзор литературы

Активная разработка формальных методов оптимизации структуры меню началась в 80-х годах прошлого века в связи с широким распространением графических интерфейсов (обзор по состоянию на 1991 год приведен в [1]). В настоящее время больше внимания уделяется улучшению пользовательских качеств Интернет-сайтов, мобильных устройств и бытовой электроники [3, 4].

Отдельное направление исследований – влияние ширины и глубины иерархии на время поиска. Главный вопрос заключается в том, сколько альтернатив следует предлагать пользователю на одной панели меню (это число называется шириной иерархии) и сколько при этом должно быть уровней в иерархии (глубина иерархии). Существуют различные подходы к этому вопросу. Классическая модель [5] (позже расширенная в [6, 7]) рассматривает построение симметричного меню постоянной ширины над элементами с одинаковой популярностью. Модель, предлагаемую в настоящем докладе, можно рассматривать как продолжение этих работ, так как она, снимая ряд ограничений, обобщает подходы, описанные в них.

Несколько работ затрагивают вопрос переменной ширины иерархии в меню. Так, в [8] показывается, что более широкие на последних уровнях меню эффективнее, чем меню, сужающиеся к концу. Однако, например, в [9] существенных различий между такими структурами выявлено не было.

Важную роль в исследовании структур меню играют многочисленные экспериментальные исследования [8, 10, 11], базирующиеся на различных моделях и предположениях. Несмотря на выявленные в ходе исследований общие принципы, различие подходов и искусственность экспериментов не позволили прийти к единому мнению о влиянии ширины и глубины иерархии на удобство меню.

Таким образом, существующие исследования структуры иерархических меню существенно различаются как в предположениях о свойствах системы и поведении пользователей, так и в применяемых методах. Кроме того, полученные результаты, как теоретические, так и экспериментальные, сложно применять на практике. Теоретические результаты получены при сильных ограничениях, не применимых к реальным меню. Экспериментальные методы исследуют отдельно взятую область, и их результаты не всегда возможно обобщить.

Такая ситуация привела к появлению работ [2], в которых сравниваются различные методы и определяется их применимость в зависимости от условий и стратегий пользователей. Но до сих пор не существует единой методики, описывающей принципы построения меню для различных случаев. Эта методика должна содержать элементы оптимизации структуры меню и позволять сравнивать различные типы и структуры меню на предмет их удобства для пользователей.

В настоящем докладе исследуется математическая модель, отвечающая на поставленные вопросы с помощью результатов математической теории оптимизации иерархических структур [12, 13]. Предлагаемый подход позволяет ослабить ряд допущений существующих моделей и использовать полученные теоретические результаты для разработки средств автоматизации построения меню.

### 3. Требования к автоматизированной процедуре оптимизации меню

Как отмечалось выше, на практике постановка задачи оптимизации иерархического меню содержит ряд неформальных аспектов, потому не может решаться в полностью автоматическом режиме без взаимодействия с экспертом.

Интерактивные процедуры оптимизации обычно основаны на методе последовательных улучшений (локального поиска [14]). Сам метод состоит в том, что эксперт небольшими изменениями улучшает текущий вариант решения до тех пор, пока видит такую возможность. Например, в задаче оптимизации меню в качестве стартовой можно использовать любую допустимую структуру и искать пути ее улучшения, меняя структуру отдельных панелей меню. В [15] был выделен ряд требований, выполнение которых необходимо для того, чтобы эта процедура заработала на практике:

1. АС на каждом шаге должна вычислять значение критерия оптимальности (среднего времени поиска в меню) для текущего варианта решения.

2. АС должна уметь вычислять значение критерия или его оценку для оптимального меню. Разница текущего и минимального значения позволяет оценить расстояние до цели, малая разница служит основанием для остановки процесса улучшения.

3. АС должна описывать, к чему следует стремиться, т.е. вид оптимальной структуры (например, количество вариантов на различных уровнях иерархической структуры меню).

4. АС должна подсказывать эксперту, куда в данный момент необходимо прикладывать усилия для улучшения текущего решения. Это особенно важно для оптимизации сложных структур: локальные улучшения структуры меню сводятся к улучшению ее отдельных панелей, и, если система не покажет, какая панель меню нуждается в улучшении, эксперт будет вынужден перебирать их все (что очень трудоемко) или оптимизировать случайную панель меню (что снижает эффективность работы). Таким образом, для каждой панели текущего меню АС должна вычислять степень ее неоптимальности. Кроме того, необходимо показывать, как данная панель меню должна выглядеть «в идеале», чтобы эксперт видел, к чему следует стремиться. Эксперт может следовать рекомендациям системы, а может выбрать свой путь, но система всегда показывает текущее положение, рекомендуемую точку приложения усилий и направления улучшений.

5. АС должна учитывать неформальные ограничения при оптимизации меню и должна предлагать семантически корректные структуры.

6. АС должна минимизировать трудозатраты эксперта, предоставляя удобные инструменты как

для автоматического построения оптимальной структуры, так и для ручного улучшения.

Для реализации перечисленных требований в основе АС должны лежать развитые и гибкие математические инструменты оптимизации. Такие инструменты были разработаны в рамках теории оптимизации иерархических структур [12, 13].

#### 4. Математическая модель оптимизации иерархического меню

Подробно математическая модель оптимизации иерархических меню описана в [16, 17]. В настоящем докладе ограничимся обсуждением основных выводов, важных для реализации автоматизированной системы.

Иерархическое меню строится на основе множества элементов  $N = \{1, \dots, n\}$  (например, команд или ссылок в Интернет-каталоге), к которым необходимо обеспечить доступ посредством меню. Через  $\mu(w)$  обозначим популярность элемента  $w \in N$  (вероятность того, что этот элемент потребуется пользователю). Для построения меню эксперту необходимо решить, на какие категории следует разбить элементы, как далее следует разбить элементы каждой категории на подкатегории и т.д., как назвать категории и в каком виде представить их пользователю, что бы меню было удобно для использования. В качестве критерия удобства меню примем среднее время доступа к искомому элементу (время одной пользовательской сессии).

Для каждой категории, содержащей элементы  $s \subseteq N$ , можно определить ее популярность как сумму популярностей входящих в нее элементов  $\mu_s = \sum_{w \in s} \mu(w)$ . Пользователь в меню проводит все время, просматривая панели меню в поисках искомого элемента, поэтому среднее время одной пользовательской сессии в иерархии  $H$  определяется взвешенной суммой

$$T = \sum_{s \in H} \mu_s t_s, \quad (1)$$

где  $t_s$  – среднее время пребывания пользователя в панели меню  $s$ . Таким образом, задача состоит в поиске меню, минимизирующего среднее время пользовательской сессии  $T$ . Оптимальное меню определяется выбором структуры категорий, а также внешнего вида и пользовательских качеств меню, совокупность которых будем называть типом меню.

В [13, 16] доказано, что для критерия оптимизации вида (1), представимого как сумма однородных функций, оптимальным является т.н. однородное дерево, в котором каждая категория имеет одинаковое число подкатегорий с популярностями, распределенными в одной и той же пропорции  $y_1, \dots, y_k$  ( $y_1 + \dots + y_k = 1$ ).

Среднее время поиска в иерархии  $H$  ширины  $k$  с

пропорцией  $y_1, \dots, y_k$  можно записать в виде:

$$T(H) = - \sum_{w \in N} \mu(w) \ln \mu(w) \cdot \frac{t_s(y_1, \dots, y_k)}{- \sum_{i=1}^k y_i \ln y_i}. \quad (2)$$

В [13] показано, что задача поиска оптимальной древовидной иерархии сводится к вычислению параметров дерева, минимизирующих выражение (2) по всем  $k = 2, \dots, n$  и пропорциям  $y_1, \dots, y_k$ , удовлетворяющим условию  $y_i \geq \min_{w \in N} \mu(w)$ :

$$T_L(N) = - \sum_{w \in N} \mu(w) \ln \mu(w) \cdot \min_{y_1, \dots, y_k} \min_{w \in N} \frac{t_s(y_1, \dots, y_k)}{- \sum_{i=1}^k y_i \ln y_i}. \quad (3)$$

В силу дискретности параметров и присутствия семантических ограничений наилучшее однородное дерево, как правило, невозможно построить точно. Однако среднее время поиска (3) в нем всегда может быть вычислено, и оно дает хорошую нижнюю оценку среднего времени поиска в оптимальной иерархии. При этом для любой структуры меню можно вычислить среднее время поиска элементов и сравнить с теоретическим минимумом, что бы определить качество текущей структуры.

Также важным элементом теоретической модели является возможность вычисления критерия качества для каждой отдельной панели меню и вклада этой панели в общее время поиска в меню [15]. Если для иерархии  $H$  за  $H_m$  обозначить поддереву, надстроенное над узлом  $m$ , то для произвольной панели меню  $t$  с подкатегориями  $m_1, \dots, m_k$  потери времени определяются выражением:

$$\Delta_m(H) = T(H_m) - T(H_{m_1}) - \dots - T(H_{m_k}) - [T_L(s) - T_L(s_1) - \dots - T_L(s_k)] \quad (4)$$

где  $s \subseteq N$  – набор элементов, соответствующий категории  $m$ ;  $s_i \subseteq N$  – наборы элементов, соответствующие категориям  $m_i$ .

В ходе последовательного улучшения меню именно критерий качества (4) позволяет найти наилучшую точку приложения усилий (см. пункт 4 требований к АС выше).

#### 5. Результаты

Как показано выше, в рамках рассматриваемой модели, оптимальная структура меню должна представлять собой однородную иерархию, т.е. каждая панель меню должна содержать по возможности одно и то же число вариантов с популярностями, поделенными в одной и той же пропорции.

Из того, что каждая панель в оптимальном меню имеет одну и ту же структуру, следует, что все панели меню должны иметь одинаковый тип. То есть все панели одного меню должны быть схожи в принципах организации вариантов. Например, неэффективно располагать в панели меню варианты

горизонтально, если в другой панели этого же меню они расположены вертикально.

Параметры оптимального меню зависят от применяемого типа меню, стратегии поведения пользователей, характеристик аппаратного обеспечения, каналов связи и ряда других факторов. В [16, 17] подробно рассмотрены несколько классических примеров расчета оптимальной структуры меню в зависимости от стратегии поведения пользователя.

Если при разработке меню известно, что пользователь из целевой аудитории сначала просматривает все варианты на панели меню и только после этого совершает выбор (стратегия исчерпывающего поиска, *exhaustive search* [2]), то оптимальной является симметричная структура меню со сравнительно небольшим числом вариантов на каждой панели. Если же пользователь совершает выбор сразу, как только встречает требуемый вариант (стратегия последовательного поиска, *sequential search* [2]), то панели оптимального меню будут сильно асимметричны, а именно, популярности элементов на одной панели распределены в геометрической прогрессии с самым популярным элементом в начале.

Ключевым свойством предложенной общей модели является возможность ее расширения на важные практические случаи. Например, в [16, 17] построена модель, учитывающая вероятность ошибки пользователя. При увеличении вероятности ошибки уменьшается оптимальное число вариантов в меню. Помимо этого можно рассмотреть популярные в Интернет-каталогах двухуровневые меню и прочие специфичные для различных областей примеры.

Таким образом, модель детально описывает оптимальное меню – теоретический идеал, к которому стоит стремиться в реальной системе. Кроме того, модель предоставляет аналитические выражения для расчета среднего времени поиска элемента в оптимальном меню, а также для определения качества, как всего меню, так и отдельно взятой панели. Другими словами, построенная математическая теория предоставляет достаточные средства для реализации интерактивной системы проектирования меню.

## **6. Автоматизированная система проектирования структуры меню**

Для поддержания семантического качества меню в процессе участвует эксперт. Один из вариантов упрощения работы эксперта – использование классификаций (плоских или иерархических) элементов по различным основаниям. Классификации позволяют АС автоматически строить в панелях меню структуры, близкие к оптимальным. Использование классификаций в этом процессе обеспечивает осмысленность создаваемых категорий. Таким обра-

зом, автоматизированная система базируется на следующих четырех компонентах:

1. Экспериментальные или экспертные оценки популярностей элементов и времени выбора элемента в панели меню.

2. Теоретическая модель оптимизации иерархических меню. Модель позволяет определить структуру оптимального меню и вычислить нижнюю оценку временных затрат в меню.

3. Набор классификаций элементов меню, который помогает автоматически разбить элементы в панели меню на осмысленные категории.

4. Эксперт, управляющий процессом последовательного улучшения структуры при помощи автоматических разбиений и ручного редактирования.

При этом взаимодействие пользователя (эксперта) с АС описывается следующими шагами [16, 18].

1. Эксперт загружает набор элементов с их популярностями (полученными из экспериментов или основанными на экспертных оценках) и классификацией по нескольким (желательно, независимым) основаниям. Эта классификация будет использована для автоматической группировки элементов.

2. Эксперт задает условия использования меню и целевую аудиторию и определяет множество допустимых типов меню (например, вертикальный список названий или матрица иконок).

3. АС оценивает среднее время навигации в панели меню. Для расчетов используется библиотека моделей, основанная на теоретических и экспериментальных исследованиях.

4. АС анализирует среднее время поиска для каждого типа меню и предлагает наилучший тип. В оптимальном меню этот тип следует использовать во всех панелях.

5. Если по каким-то неформальным причинам предложенный тип меню не подходит в рассматриваемых условиях, эксперт может изменить используемый тип меню.

6. Начинается итеративный процесс улучшения структуры меню. Базой для улучшения может служить существующая структура меню или структура, построенная системой на основе предоставленной классификации.

7. Для текущей структуры меню АС рассчитывает среднее время пользовательской сессии и сравнивает его с теоретическим минимумом. Также рассчитывается качество каждой панели меню по формуле (4).

8. Эксперт выбирает «узкое место» и улучшает его при помощи автоматических инструментов оптимизации или вручную, объединяя или разделяя категории, меняя их порядок, выбирая альтернативный тип меню и т.д.

9. Эксперт выбирает и улучшает следующую проблемную панель.

10. Процесс продолжается до достижения приемлемого качества меню или до момента, когда не видно направлений улучшения.

Прототип АС реализован на платформе Java 5. На рис. 2 приведен вид пользовательского интерфейса программы. Дополнительная информация о прототипе доступна на Интернет-сайте проекта <http://mgoubko.github.com/TheMenuDesigner/>.

Таким образом, описанная автоматизированная система предоставляет разработчику оптимальный шаблон, показывает направления возможных улучшений, но при этом дает возможность отклоняться от предлагаемой траектории для учета неформальных ограничений и улучшения семантического качества меню.

## 7. Пример оптимизации меню

Одной из платформ, где проблема оптимизации меню стоит особенно остро, являются мобильные телефоны. Так как экран мобильного телефона, как правило, сильно ограничен в размерах, иерархическое меню является практически единственной альтернативой организации доступа к множеству предоставляемых команд. При этом размеры экрана не позволяют охватить панель меню целиком, и пользователь вынужден просматривать варианты последовательно.

Рассмотрим меню отправки и приема сообщений мобильного телефона Nokia 7510, состоящее из 52 пунктов. В [4] было проведено статистическое исследование, позволившее вычислить популярности отдельных команд. Для вычисления временных за-

держек в меню были выбраны следующие усредненные параметры: время переключения в новую панель  $t_{resp} \approx 1$  с, среднее время чтения одного пункта  $t_{read} \approx 1$  с (включает время перелистывания пунктов меню на экране), время нажатия на кнопку выбора  $t_{click} \approx 0,5$  с. Считается, что пользователь с вероятностью  $p = 0,05$  может совершить ошибку в панели меню. В соответствии с [17], среднее время нахождения пользователя в панели меню, состоящего из  $k$  пунктов с относительными популярностями категорий  $y_1, \dots, y_k$

$$t_s = (1 + 2p)(t_{resp} + t_{click}) + pt_{read}k + (1 + p)t_{read} \sum_{i=1}^k i \cdot y_i \quad (5)$$

Для оригинального меню численный расчет в АС показывает, что среднее время одной пользовательской сессии составляет  $T \approx 8,53$  с. АС вычисляет параметры оптимального меню на основе приведенной математической модели. Оптимальное меню содержит  $k = 8$  вариантов в каждой панели меню, а оптимальная пропорция для популярностей  $y \approx (0,33; 0,23; 0,16; 0,11; 0,07; 0,05; 0,03; 0,02)$ , т.е. структура меню должна быть сильно асимметрична. Теоретический минимум среднего времени доступа для рассматриваемого набора команд вычисляется в АС по формуле (3) и с учетом (5) равен 6,70 сек.

На основе двух классификаций (по объекту и типу действия), используя АС удалось построить меню со временем доступа 6,86 с, что всего на 2% превышает теоретический минимум. При этом категории в меню осмыслены. Процесс формирования классификаций и оптимизации меню занял не более часа.

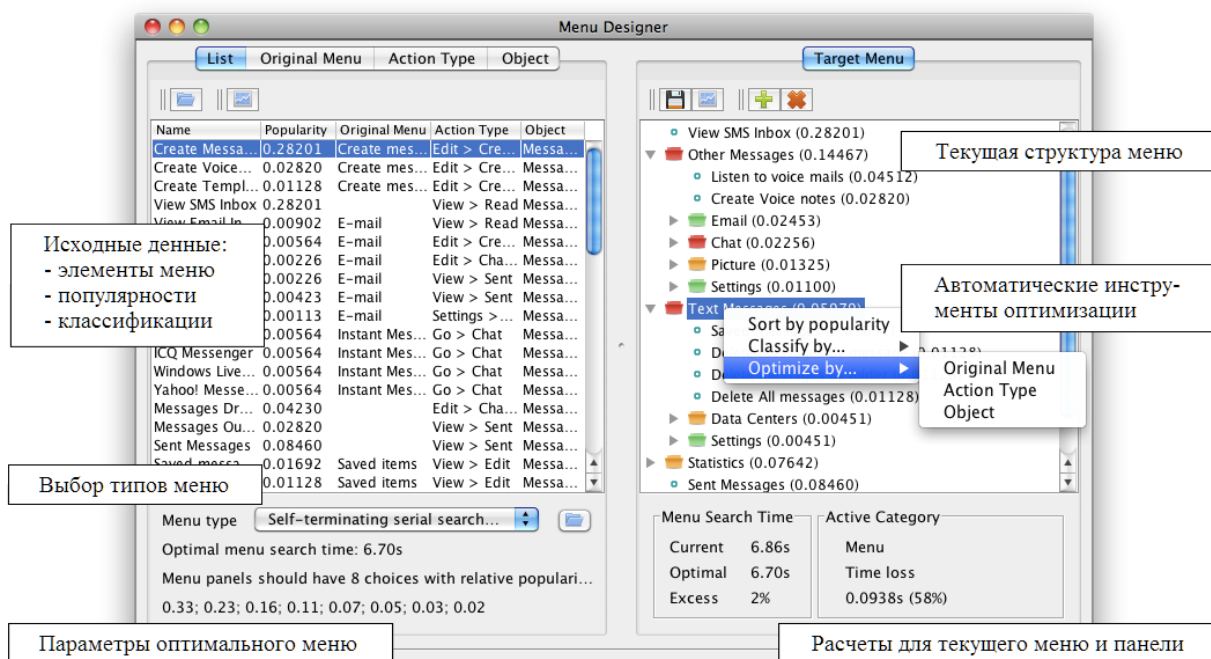


Рис. 2. Интерфейс автоматизированной системы проектирования меню

## 8. Перспективы

Дальнейшие перспективы включают как развитие математической модели, так и расширение возможностей автоматизированной системы.

Среди основных аспектов развития математической модели можно выделить следующие направления:

1. Добавление в модель понятия семантического качества той или иной группировки и соответствующее расширение алгоритмов оптимизации.

2. Учет множественных целей. Некоторые задачи навигации в меню подразумевают выбор последовательно нескольких связанных команд.

3. Разработка новых моделей поведения пользователя в меню.

В рамках улучшения АС основными задачами являются следующие:

1. Реализация в АС новых теоретических моделей по мере их разработки.

2. Экспериментальные исследования навигации в различных меню для пополнения библиотеки типов меню.

3. Обобщение подхода и применение инструмента в других предметных областях.

## 9. Заключение

В докладе описана автоматизированная система проектирования меню, учитывающая как формальные критерии оптимизации, так и семантические свойства меню. Показано, что построенная математическая модель, основанная на теории оптимизации иерархических структур, позволяет реализовать удобный интерактивный процесс, удовлетворяющий поставленным требованиям. Описана функциональность реализованного прототипа АС оптимизации иерархических меню и приведен пример оптимизации меню мобильного телефона. Намечены перспективы теоретических исследований и развития автоматизированной системы.

## 10. Литература

[1] Norman K.L., *The Psychology of Menu Selection: Designing Cognitive Control at the Human/Computer Interface*, Norwood, N.J.: Ablex Publishing Corporation, 1991.

[2] Hollink V., Van Someren M., Wielinga B., "Navigation behavior models for link structure optimization", *User Modeling and User-Adapted Interaction*, vol. 17 (4), 2007, pp. 339-377.

[3] Thimbleby H. *Press On: Principles of Interaction Programming*, The MIT Press, 2007.

[4] Andersson E., Isaksson I.-M. Exploring alternatives to the hierarchical menu structure used in mobile phones, Umea, 2007.

[5] Lee E., MacGregor J. "Minimizing User Search Time in Menu Retrieval Systems", *Human Factors*, vol. 27 (2), 1985, pp. 157-162.

[6] Paap K.R., Roske-Hofstrand R.J. "The Optimal Number of Menu Options per Panel", *Human Factors*, vol. 28 (4), 1986, pp. 377-385.

[7] Landauer T.K., Nachbar D.W. "Selection from alphabetic and numeric menu trees using a touch screen: depth, breadth and width", *Proc. of the SIGCHI conf. on Human Factors in Computing Systems*, 1985, pp. 73-78.

[8] Zaphiris P. "Depth vs. breadth in the arrangement of web links", *Proceedings of the 44th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2000, pp. 139-144.

[9] Bernard M.L. *Examining a metric for predicting the accessibility of information within hypertext structures (Ph.D. thesis)*, Wichita State University, 2002.

[10] Shneiderman B. *Software Psychology: Human Factors in Computer and Information Systems*, Cambridge, Mass.: Winthrop Publishers, 1980.

[11] Ahlström D. "Modeling and improving selection in cascading pull-down menus using Fitts' law, the steering law and force fields", *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, 2005, pp 61-70.

[12] Воронин А.А., Мишин С.П., *Оптимальные иерархические структуры*, М.: ИПУ РАН, 2003.

[13] Губко М.В., *Математические модели оптимизации иерархических структур*, М.: ЛЕНАНД, 2006.

[14] Сигал И.Х., Иванова А.П., *Введение в прикладное дискретное программирование*, М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.

[15] Губко М.В. "Интерактивные системы оптимизации иерархических структур", *Управление большими системами. Материалы VII Всероссийской школы-конференции молодых ученых, Том 2*, Пермь, Издательство ПГТУ, 2010, с. 236-243.

[16] Danilenko A., Goubko M. "An automated routine for menu structure optimization", *Proceedings of the 2nd ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems*, Berlin, Germany, 2010, pp. 67-76.

[17] Губко М.В., Даниленко А.И. "Математическая модель оптимизации структуры иерархического меню" *Проблемы управления*, № 4, 2010, с. 49-58.

[18] Даниленко А.И. "Система автоматизированного проектирования структуры иерархического меню", *Управление большими системами. Материалы VII Всероссийской школы-конференции молодых ученых, Том 2*, Пермь, Издательство ПГТУ, 2010, с. 244-248.