

DOI: 10.18721/JCSTCS.10401

УДК 004.92:311.218

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СТРУКТУР ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ПОТОКОВЫХ ДИАГРАММ В ВЕБ-АНАЛИТИКЕ

*В.В. Лаптев, П.А. Орлов, О.В. Драгунова*

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Потоковые диаграммы относятся к инструменту графического представления структуры данных, которая имеет динамический семантический контекст. Он основан на идее деления целого на составные части и их визуальное разделение между ними. Структуры данных часто играют роль индикаторов в управлении и веб-аналитике. В статье описана форма потоковых диаграмм в веб-аналитике, исследованная на основе методов ай-трекинга. Получено подтверждение эффективности использования рекомендаций по построению потоковых диаграмм. Выявлены проблемы формы потоковых диаграмм в системах Google Analytics и предложено решение в виде концепта сервиса по визуализации статистической информации.

**Ключевые слова:** инфографика; визуализация данных; потоковые диаграммы; диаграммы сэнкей; веб-аналитика; гугл аналитикс; ай-трекинг.

**Ссылка при цитировании:** Лаптев В.В., Орлов П.А., Драгунова О.В. Визуализация динамических структур данных с помощью потоковых диаграмм в веб-аналитике // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2017. Т. 10. № 4. С. 7–16. DOI: 10.18721/JCSTCS.10401

## VISUALIZATION OF DYNAMIC DATA STRUCTURES WITH FLOW CHARTS IN WEB ANALYTICS

*V.V. Laptev, P.A. Orlov, O.V. Dragunova*

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation

Flow visualization is a tool of graphic presentation of data structures, which has a dynamic semantic context. It is based on the idea of dividing the whole into its component parts and visual separation between them. Data structures are frequent indicators in management and web analytics. This article focuses on the shape of flow charts in web analytics, which was investigated by the eye-tracking methods. We have confirmed the effectiveness of using recommendations for building flow charts, identified the problems of the shape of flow charts in Google Analytics, and offered a solution in the form of a concept for visualization of statistical information.

**Keywords:** infographics; data visualization; flow charts; sankey diagram; web analytics; google analytics; eye-tracking.

**Citation:** Laptev V.V., Orlov P.A., Dragunova O.V. Visualization of dynamic data structures with flow charts in web analytics. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunications and Control Systems, 2017, Vol. 10, No. 4, Pp. 7–16. DOI: 10.18721/JCSTCS.10401

Управление информацией подразумевает построение структур данных различного рода и сценариев их восприятия, что является важной прикладной задачей. Вопросы визуальной интерпретации актуальны в связи с вариативностью формы представления. Существуют проблемы выбора инструмента визуализации числовых данных – соответствующего типа диаграммы – определение их оптимальной формы и расположения относительно других элементов композиции. Так, один и тот же пример структуры данных может быть представлен в различном виде: брусковых диаграммах, секторных диаграммах, древовидных картах или потоковых диаграммах. Правильный выбор формы основывается на учете контекста, семантических связей между числовым массивом и его графическим образом, удобочитаемости графика, его простоте и ясности восприятия. Это можно экстраполировать на классификационные или иерархические схемы с количественным анализом.

Потоковая диаграмма относится к инструменту графического представления структуры данных, который имеет явно выраженный семантический контекст динамики процесса. Основанные на идее разделения целого на его составные части и их визуального разделения между собой, потоковые диаграммы процессов часто именуют «диаграммами Сэнкей» (Sankey diagrams), по имени Мэтью Сэнкея (Matthew Sankey), в 1898 г. применившего на практике этот способ графического представления информации для анализа эффективности использования энергии парового двигателя.

При визуализации изменяемой в динамике структуры целого потоковые диаграммы расставляют визуальные акценты на передаче данных между различными узлами системы. Они выявляют доминирующие потоки, полезны в поиске и анализе недостатков, показывают балансы показателей процесса. Динамические структуры данных часто используются в качестве индикаторов

в управлении и аналитике, а также для иллюстрации энергетических и материальных балансов сложных систем. Поэтому блок-схемы, состоящие из потоковых диаграмм, широко распространены в системах управления промышленным производством [1], в энергетическом секторе [2], на транспорте [3], в аналитических исследованиях [4], в вопросах экологии [5], в бизнес-проектах и веб-аналитике [6].

Веб-аналитика, как правило, использует большие наборы данных с многочисленными связями. Эти наборы данных нередко представляют собой сложные структуры, состоящие из большого количества мест выборки и нескольких иерархических уровней [7], что требует простой и ясной визуализации. Потоковые диаграммы позволяют наглядно показать распределение внимания посетителей сайта, оценить их количество в отдельных узлах, выявить пути перемещения. Потоковые диаграммы являются стандартным решением визуализации путей пользователей в Google Analytics, а также используются для визуализации карты поведения пользователей.

В данной статье сравниваются потоковые диаграммы Google Analytics и разработанного нами прототипа, исследованные на основе методов ай-трекинга. Это является продолжением процесса систематического анализа различных аспектов проектирования продуктов потоковой визуализации для веб-аналитики [8, 9]. В основе наших исследований лежит изучение вопросов восприятия информации, что также поможет разработать рекомендации по улучшению способов потоковой визуализации информации в других областях аналитики и управления.

### Анализ проблемы

Существуют хорошо известные рекомендации по проектированию потоковых диаграмм. Это поддержание стабильной толщины непрерывного потока, едино-

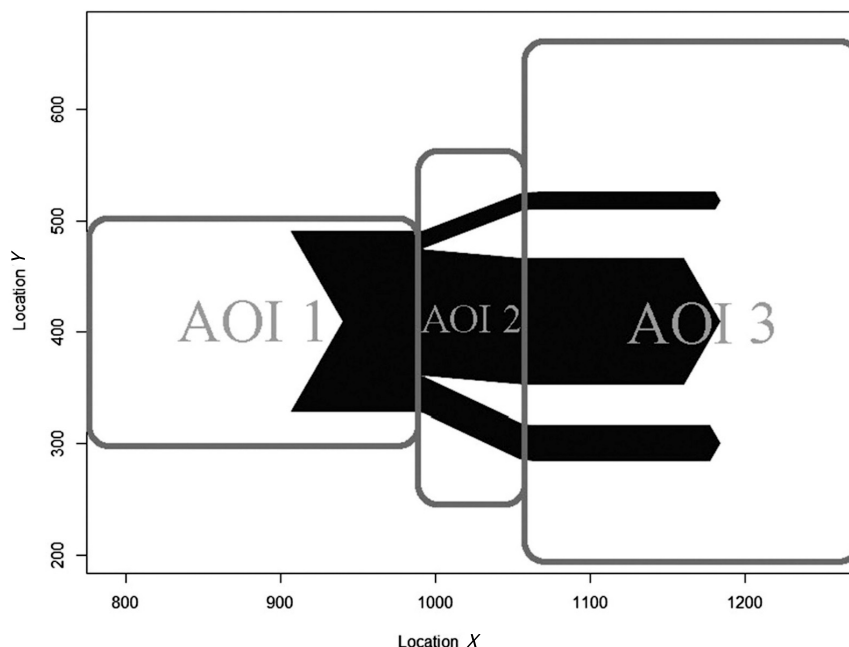


Рис. 1. Зоны интереса пользователя (АОИ) в потоковой диаграмме, полученные на основании кластерного анализа (данные по осям  $X$  и  $Y$  показывают местоположение диаграммы в пикселах)

Fig. 1. Areas of Interest (AOI) in the flow chart obtained from cluster analysis (data on the  $X$ - and  $Y$ -axes show the position of the chart in pixels)

образное формирование корней потоков, пространственная компоновка узлов [10], целостность композиции при взаимодействии потока с внешними ориентирами [11]. Используя метод ай-трекинга и кластерный анализ визуального восприятия потоковых диаграмм, получены рекомендации по соблюдению трех зон интереса (АОИ). Входная или начальная, объединяющая группу зрительных фиксаций в области исходного потока (АОИ 1), выходная, соответствующая интересу зрителя по отношению к финальным потокам (АОИ 3), и средняя центральная, в которой происходит разветвление блок-схемы (АОИ 2) — эти зоны определены для потоковых диаграмм различной степени сложности [8]. Центральный кластер зрительных фиксаций АОИ 2 (рис. 1) показывает, что зритель сравнивает части между собой не только в выходной зоне, но и в динамической части диаграммы, когда происходит процесс разделения на части.

Потоковая диаграмма может быть интерпретирована как динамическая модифи-

кация гистограммы и представлена как движущаяся часть стека — отдельных блоков бруска. Поэтому мы обратились к исследованию формы стековых гистограмм, представляющих структуру данных. Доказано, что изменение базовой формы столбиковой диаграммы оказывает влияние на точность абсолютных и относительных суждений в графиках [12]. Даже небольшие изменения, такие как округление или заострение вершины прямоугольника, приводят к увеличению количества ошибок.

По аналогии с брусковыми диаграммами для потоковых диаграмм может быть рекомендована необходимость формирования четкой картины, т. к. изменение основной формы потока влияет на визуальное восприятие динамики структуры данных. Дальнейшее исследование формы потоков [9] выявило их индифферентность к разделению его на составные части в корневой начальной зоне интереса (АОИ 1), что позволяет безболезненно использовать тоновое выделение отдельных

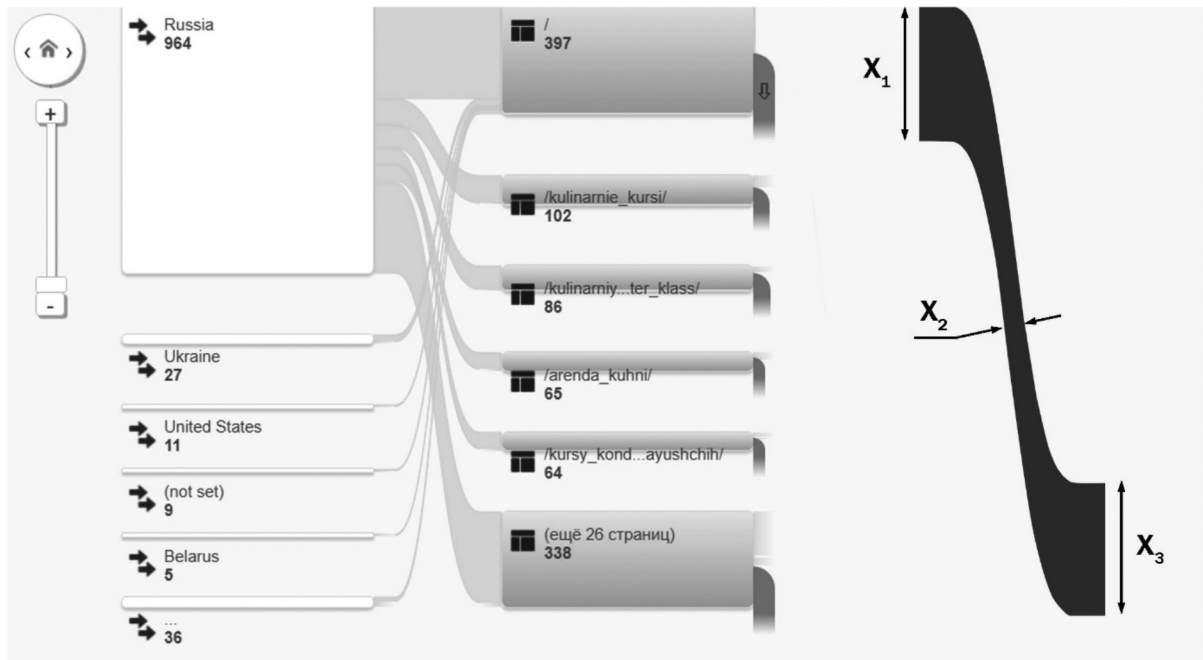


Рис. 2. Поточковая диаграмма путей пользователей Google Analytics (фрагмент показывает изменение толщины потока в средней части в несколько раз)

Fig. 2. The flow chart of the ways of users of Google Analytics (the fragment shows the change in the thickness of the flow in the middle part several times)

потоков в статичных схемах или в интерактивных версиях потоковых диаграмм. Показано, что более критична для визуального восприятия деформация формы потока в средней части: возникает изменение поведенческих реакций, связанное с потерей семантических связей между процессом и способом визуализации [9].

Предварительный анализ потоковых диаграмм путей пользователей в Google Analytics продемонстрировал, что одним из недостатков визуализации является нестабильная по толщине форма потоков. В этом случае визуальное сравнение долей структуры данных между собой и с целым будет представлять затруднения в центральной (средней) части потока (рис. 2), т. е. будет снижаться эффективность визуализации данных. По мнению Ж. Бертина, под эффективностью восприятия информации понимается точность и скорость решения задачи [13, с.139].

Еще одним недостатком визуализации путей пользователей в Google Analytics яв-

ляется отсутствие графических и колористических приемов выделения данных в потоковой диаграмме, что приводит к необходимости сравнения потоков, используя только числовые показатели. Использование ширины потока для формирования высоты прямоугольника блока-узла нельзя признать удачным решением из-за возможного ограничения площади для представления экспликационных данных.

Одним из решений повышения эффективности визуального восприятия потоковой диаграммы может стать цветовое кодирование информации, например, как в гибридных диаграммах Сэнкей [14]. Однако использование только лишь колористического инструмента может привести к излишне пестрой картине, ухудшающей визуальное восприятие диаграммы [15, с. 72]. Поэтому сформулируем предположение-гипотезу, что эффективность визуализации потоковых диаграмм в Google Analytics можно улучшить, изменив композицию потоковой диаграммы, форму потоков и узлов.

### Постановка эксперимента

Для того чтобы подтвердить или опровергнуть утверждение о том, что текущая визуализация диаграммы путей пользователей Google Analytics может быть улучшена с целью повышения точности и скорости ее чтения, необходимо провести экспериментальное сравнение двух диаграмм – исходного графика и диаграммы, разработанной с учетом рекомендаций по построению потоковых диаграмм.

Визуальный прототип диаграммы был подготовлен на основании статистических данных, экспортированных из соответствующей диаграммы Google Analytics. Основные отличия разработанного прототипа диаграммы от оригинального решения:

- наличие трех выделенных зон потока: начальной, центральной зоны перехода и завершающей выходной зоны;
- отсутствие деформации толщины потока во всех зонах;
- блоки-узлы, обозначающие страницы, сделаны одного размера;
- вместо URL-адреса в описании узла указано название страницы;
- места пересечения потоков выполнены с эффектом наложения;
- слева и справа на блоке добавлено графическое представление суммарного потока в виде темного прямоугольника;
- добавлено числовое отображение исходящего потока и ушедших пользователей.

Так как оригинальная диаграмма путей пользователей предполагает возможность интерактивного взаимодействия (при нажатии на определенный узел диаграммы пользователь может выделить весь поток проходящего через узел трафика), разработан интерактивный вид альтернативной диаграммы, демонстрирующий численные показатели определенных потоков пользователей (рис. 3). Подготовка стимульного материала представляла собой визуализацию диаграммы в различных состояниях. Под различными состояниями в данном случае понимаются варианты отображения различных выделенных потоков диаграммы. Для проведения эксперимента был

подготовлен рабочий прототип на сервисе InVision, с которым взаимодействовал испытуемый.

Было проведено ай-трекинговое исследование, т. к. помимо точности и скорости важно было посмотреть скрытые характеристики, такие как субъективную сложность. Субъективную сложность мы оцениваем опосредованно, по длительности фиксации взгляда. Также, зная положение фиксации на стимуле, можно говорить об оценке визуального внимания человека. Таким образом, в анализ было включено и количество фиксаций при решении задач. Для определения субъективной общей нагрузки использован NASA TLX тест нагрузки.

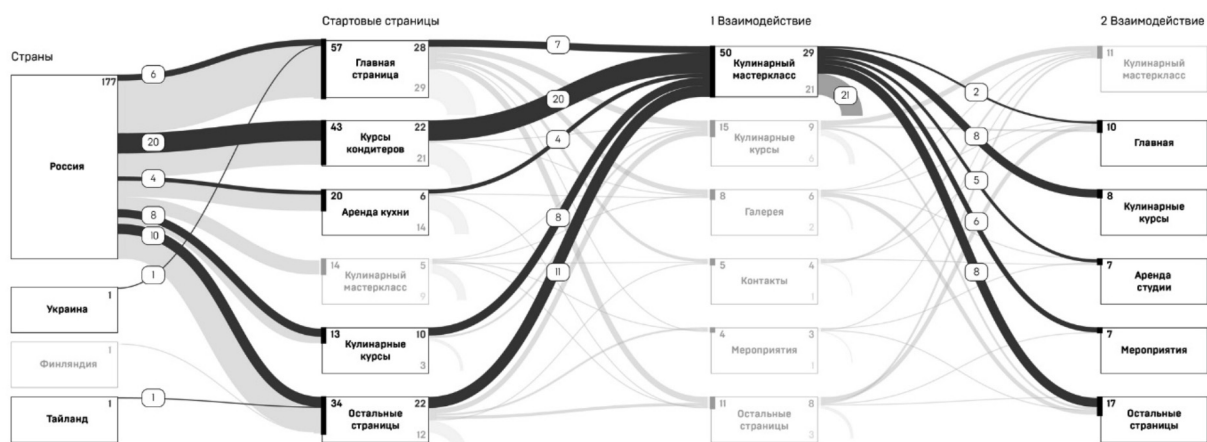
В эксперименте участвовало 22 человека (средний возраст 19 лет, 8 мужчин и 14 женщин). Испытуемые были разбиты на две группы по 11 человек случайным образом. Первая группа взаимодействовала с диаграммой Google Analytics, вторая группа – с разработанным альтернативным вариантом диаграммы. Испытуемые являлись опытными пользователями компьютера, при этом каждый из них взаимодействовал с подобным интерфейсом впервые.

Стимулы предъявлялись испытуемым с помощью специально разработанного программного обеспечения. Это ПО включало в себя десять вопросов с четырьмя вариантами ответа. Вопросы с первого по пятый не требовали интерактивного взаимодействия с диаграммой: для ответа участнику было достаточно рассмотреть диаграмму. Вопросы с шестого по десятый предполагали взаимодействие участника с диаграммой: например, требовалось выделить конкретный узел диаграммы и сравнить два потока. Все вопросы показывались последовательно всем испытуемым (не в случайном порядке). После ответов на первые пять вопросов тест ставился на паузу, и производился короткий инструктаж по интерактивным возможностям диаграммы, которые необходимо знать испытуемому для ответа на вопросы с шестого по десятый.

Программа осуществляла запись таких параметров, как фамилия, имя, возраст, правильность ответа и время решения задачи. Для дальнейшей обработки данных



a)



b)

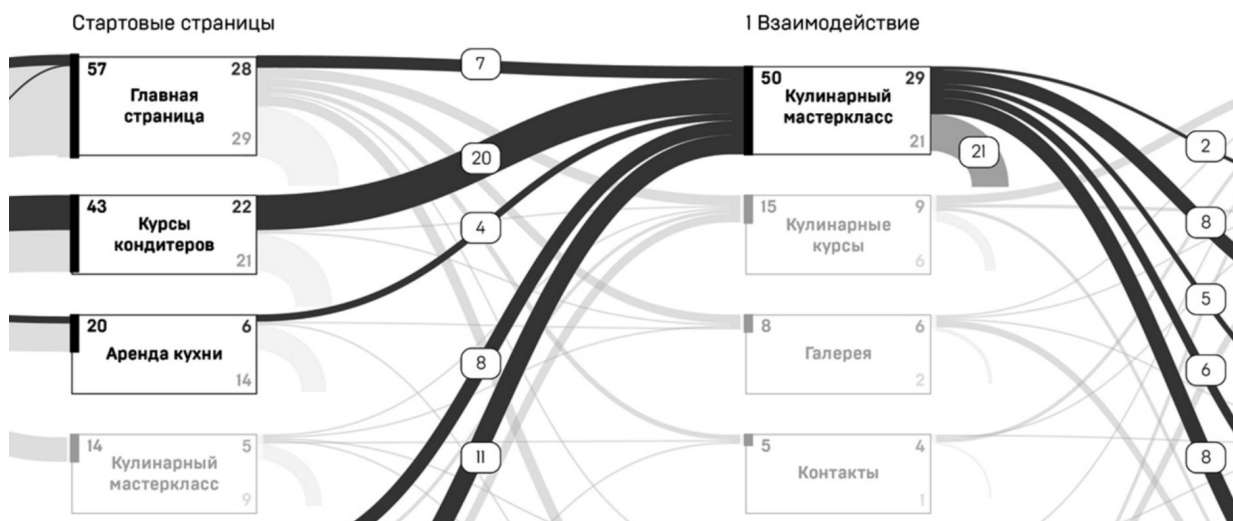


Рис. 3. Прототип диаграммы путей пользователей (интерактивный вариант):

a – общий вид; б – фрагмент диаграммы

Fig. 3. The prototype of the chart of the ways of users (interactive version):

a – general view; б – a fragment of the chart

учитывались фиксации только стимульной зоны. Испытуемый производил выбор с помощью компьютерного манипулятора мышью. Подразумевалось, что испытуемый являлся опытным пользователем компьютера, и задание с точки зрения человеко-компьютерного взаимодействия не было для него новым.

В процессе решения задач оculo-моторная активность регистрировалась в лаборатории на стационарном ай-трекере SMI RED250 (с частотой 250 Гц). Фиксации определялись встроенным алгоритмом SMI.

Кроме того, автоматически фиксировалась правильность ответа и длительность решения задачи. Ай-трекер располагался под монитором стимульного компьютера, в одной плоскости с ним. Обнаружение фиксации выполнялось с помощью программного обеспечения SMI iViewX, и информация о начале и конце фиксации отправлялась на инструмент обратной связи с глазами. Глаза испытуемого находились на расстоянии 70 см от экрана монитора BENQ XL2411 (диагональ 24", размеры экрана 53×30 см, 1920×1080 пикселей, частота 144 Гц). Голо-

ва испытуемого фиксировалась на офтальмологической подставке.

Предварительная обработка испытательного и калибровочного оборудования соответствовала методологии [16] и техническим условиям, предъявляемым к экспериментам с использованием айтрекингового оборудования в Лаборатории человеко-компьютерного взаимодействия Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого [17]. Для определения субъективной общей нагрузки использовался NASA TLX тест нагрузки [18] в виде субъективных отчетов. Испытуемый давал общую оценку работы.

### Результаты эксперимента

Оценивалось влияние типа диаграмм на эффективность решения задачи и на поведение при решении задачи. Под эффективностью подразумевается количество правильных ответов и скорость решения задачи. Оценка влияния факторов производилась в программе R-Studio, предназначенной для статистической обработки данных и работы с графикой.

*Общее время решения задач.* Данные о средней скорости решения задач распределены по нормальному закону ( $p < .05$ ). Для проверки распределения здесь и далее использован тест Шапиро-Уилка. Дисперсионный анализ показал отсутствие влияния фактора «тип диаграммы» на скорость решения задач (One Way ANOVA:  $F(1, 20) = 1.464$ ,  $p = .24$ ). Испытуемые решали задачи с разной скоростью. Общее время решения задач для группы Google (работающей с интерфейсом Google Analytics) – 409,83 с (179.19 SD), для группы Ours (работающей с разработанным прототипом диаграммы) – 337,05 с (87.62 SD).

*Субъективная общая нагрузка (тест NASA-TLX).* Значения оценки субъективной нагрузки распределены по нормальному закону для каждой группы. Среднее значение субъективной общей нагрузки для группы Google – 55.52 (14.61 SD), для группы Ours – 49.24 (14.57 SD). Дисперсионный анализ демонстрирует отсутствие влияния фактора «тип диаграммы» на субъектив-

ную общую нагрузку (One Way ANOVA:  $F(1,20) = 1.464$ ,  $p = .24$ ).

*Средняя длительность фиксации и стандартное отклонение средней длительности фиксации.* Данные о средней длительности фиксации распределены по нормальному закону ( $p < .05$ ) согласно тесту Шапиро-Уилка. Дисперсионный анализ показал отсутствие влияния фактора «тип диаграммы» на среднюю длительность фиксации (One way ANOVA:  $F(2,15) = .095$ ,  $p = .761$ ), так же, как и на стандартное отклонение средней длительности фиксации (One way ANOVA:  $F(2,15) = .137$ ,  $p = .715$ ). Значение средней длительности фиксации для группы Google (мс) – 286.68 (45.63 SD), для группы Ours – 293.28 (54.34 SD). Значение стандартного отклонения средней длительности фиксации для группы Google – 59.33 (17.59 SD), для группы Ours – 65.59 (53.13 SD).

*Количество правильных ответов при решении задач.* Данные о количестве правильных ответов распределены по нормальному закону ( $p < .05$ ). Дисперсионный анализ показал, что фактор «тип диаграммы» влияет на количество правильных ответов (One way ANOVA:  $F(1,20) = 28.82$ ,  $p = 0.0000296$ ). Количество правильных ответов для группы Google – 5 (из 10), для группы Ours – 8 (из 10).

На рис. 4 для визуальной оценки результатов показана зависимость от фактора «тип диаграммы» распределения значений: коэффициента субъективной общей нагрузки по тесту NASA-TLX; средней длительности фиксации; стандартного отклонения средней длительности фиксации; количества правильных ответов; общего времени решения задач.

### Интерпретация результатов и выводы

В результате проанализированных данных на влияние разных факторов на эффективность решения задачи и на поведение при решении задачи, сделаны следующие выводы. Статистический анализ показал что фактор «тип диаграммы» незначительно влияет на среднее время решения задачи. Фактор «тип диаграммы» не оказал существенного влияния на общую

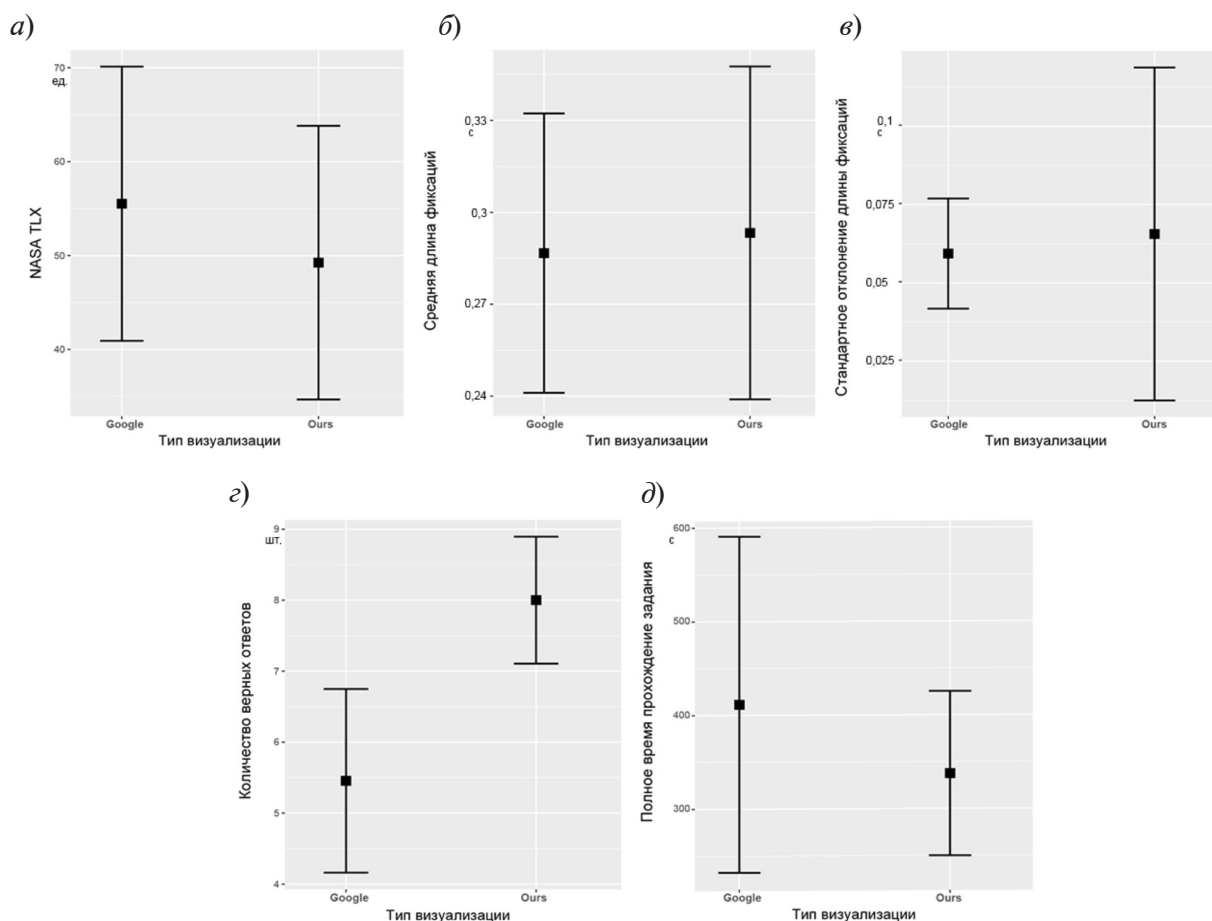


Рис. 4. Распределение значений в зависимости от фактора «тип диаграммы»: а – коэффициента субъективной общей нагрузки по тесту NASA-TLX; б – средней длительности фиксации; в – стандартного отклонения средней длительности фиксации; г – количества правильных ответов; д – общего времени решения задач

Fig. 4. Allocation of values depending on the «chart type» factor: а – the subjective total load factor for the NASA-TLX test; б – the average duration of fixation; в – the standard deviation of the mean duration of fixation; г – the number of correct answers; д – the total time for solving problems

субъективную нагрузку испытуемых. Дисперсионный анализ не обнаружил влияния типа диаграмм как на среднюю длительность фиксации, так и на стандартное отклонение в длительности фиксации. Существенное влияние фактора «тип диаграммы» было оказано на среднее количество правильных ответов.

Исходя из результатов эксперимента можно сделать следующий вывод. Несмотря на использование рекомендаций по построению потоковых диаграмм при разработке альтернативной визуализации, достичь существенной разницы в эффек-

тивности не удалось. Тем не менее следует отметить, что по таким параметрам, как скорость решения задач и количество правильных ответов, разработанный вариант эффективнее оригинальной диаграммы Google Analytics. Это подтверждает гипотезу о том, что текущая визуализация диаграммы путей пользователей Google Analytics может быть улучшена с целью повышения точности и скорости ее чтения посредством реализации следующих рекомендаций по построению потоковых диаграмм:

- наличие трех выделенных зон потока: начальной, центральной зоны перехода



и завершающей выходной зоны;

- отсутствие деформации толщины потока во всех зонах;
- идентичность блоков-узлов по размеру;
- дублирование визуальной информации, представленной потоками, числовыми показателями и дополнительной графикой.

За рамками настоящего исследования остались вопросы цветового кодирования потоков информации, формирования рекомендаций по колористике диаграмм. Это требует дальнейшего изучения.

Потоковая диаграмма путей пользователей является прикладным инструментом веб-аналитики, а значит, полученные данные можно использовать для повышения качества работы специалистов. Дальнейшая работа по повышению эффективности визуализации может затрагивать такие области, как разработка интерфейсов веб-приложений и исследование юзабилити, т. к. работа с потоковой диаграммой осуществляется в интерфейсе веб-приложения посредством использования браузера.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schmidt M. The Sankey diagram in energy and material flow management // J. of Industrial Ecology. 2008. No. 12 (1). Pp. 82–94. No. 12 (2). Pp. 173–185. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2008.00004
2. Subramanyam Veena, Deepak Paramshivan, Amit Kumar, Md. Alam Hossain Mondal Using Sankey diagrams to map energy flow from primary fuel to end use // Energy Conversion and Management. 2015. No. 91. Pp. 342–352.
3. Andrienko N., Andrienko G. Visual analytics of movement: an overview of methods, tools and procedures // Information Visualization. 2013. No. 12 (1). Pp. 3–24.
4. Cuba N. Research Note: Sankey diagrams for visualizing land cover dynamics // Landscape and Urban Planning. 2015. No. 139. Pp. 163–167. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2015.03.010
5. Fana Jing-Li, Xin Pana, Jia-Quan Lia Production-based and consumption-based CO2 transfers among major economies: A flow chart analysis // Energy Procedia. 2017. No. 105. Pp. 3499–3506.
6. Wongsuphasawat K., Gotz D. Exploring flow, factors, and outcomes of temporal event sequences with the outflow visualization // Proc. IEEE Conf. on Information Visualization / IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. 2012. No. 18 (12). Pp. 2659–2668.
7. Viégas F., Wattenberg M., Hebert J., Borggaard G., Cichowlas A., Feinberg J., Orwant J., Wren Ch. Google+ Ripples: A native visualization of information flow // Proc. of the 22nd Internat. World Wide Web Conf. Rio de Janeiro, 2013. Pp. 1389–1398.
8. Лаптев В.В., Орлов П.А. Кластерный анализ визуального восприятия структуры данных // Бизнес-информатика. 2015. № 3 (33). С. 34–43.
9. Laptev V.V., Orlov P.A., Zhmailova U.M., Ivanov V. Visual strategies of viewing flow visualisations under different workload conditions and representation types // Proc. of the 39th European Conf. on Visual Perception. Barcelona, 2016. 10 p.
10. Doantam Phan, Ling Xiao, Yeh R., Hanrahan P., Winograd T. Flow map layout // Proc. IEEE Symp. on Information Visualization. 2005. Pp. 219–224.
11. Buchin K., Speckmann B., Verbeek K. Flow map layout via spiral trees // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. 2011. No. 17 (12). Pp. 2536–2544. DOI: 10.1109/TVCG.2011.202.
12. Skau D., Harrison L., Kosara R. An evaluation of the impact of visual embellishments in bar charts // Proc. of Eurographics Conf. on Visualization. 2015. Vol. 34. No. 3. Pp. 221–230.
13. Bertin J. Semiology of graphics. Diagrams. Networks. Maps. Redlands: Esri Press, 2011. 438 p.
14. Lupton R.C., Allwood J.M. Hybrid Sankey diagrams: Visual analysis of multidimensional data for understanding resource use // Resources, Conservation & Recycling. 2017. No. 124. Pp. 141–151. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.05.002
15. Imhof E. Cartographic relief presentation. Berlin-New York: Walter de Gruyter, 2007. 388 p.
16. Duchowski A. Eye Tracking methodology. London: Springer Science+Business Media, 2007. 336 p.
17. Орлов П.А., Лаптев В.В., Иванов В.М. К вопросу о применении систем ай-трекинга // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2014. № 5 (205). С. 82–92.
18. Hart S.G. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research // Advances in Psychology. 1988. No. 52. Pp. 139–183.

Статья поступила в редакцию 11.06.2017.

## REFERENCES

1. Schmidt M. The Sankey diagram in energy and material flow management. *Journal of Industrial Ecology*, 2008, No. 12 (1), Pp. 82–94, No. 12 (2), Pp. 173–185. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2008.00004
2. Subramanyam Veena, Deepak Paramshivan, Amit Kumar, Md. Alam Hossain Mondal Using Sankey diagrams to map energy flow from primary fuel to end use. *Energy Conversion and Management*, 2015, No. 91, Pp. 342–352.
3. Andrienko N., Andrienko G. Visual analytics of movement: an overview of methods, tools and procedures. *Information Visualization*, 2013, No. 12(1), Pp. 3–24.
4. Cuba N. Research Note: Sankey diagrams for visualizing land cover dynamics. *Landscape and Urban Planning*, 2015, No. 139, Pp. 163–167. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2015.03.010
5. Fana Jing-Li, Xin Pana, Jia-Quan Lia Production-based and consumption-based CO2 transfers among major economies: A flow chart analysis. *Energy Procedia*, 2017, No. 105, Pp. 3499–3506.
6. Wongsuphasawat K., Gotz D. Exploring flow, factors, and outcomes of temporal event sequences with the outflow visualization. Proceedings IEEE Conference on Information Visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2012, No. 18 (12), Pp. 2659–2668.
7. Viégas F., Wattenberg M., Hebert J., Borggaard G., Cichowlas A., Feinberg J., Orwant J., Wren Ch. Google+ Ripples: A native visualization of information flow. *Proceedings of the 22nd Internat. World Wide Web Conference*, Rio de Janeiro, 2013, Pp. 1389–1398.
8. Laptev V.V., Orlov P.A. Klasternyi analiz vizual'nogo vosprijatija struktury dannyh [Cluster analysis of visual perception of data structure]. *Business Informatics*, 2015, No. 3(33), Pp. 34–43. (rus)
9. Laptev V.V., Orlov P.A., Zhmailova U.M., Ivanov V. Visual strategies of viewing flow visualisations under different workload conditions and representation types. *Proceedings of the 39th European Conference on Visual Perception*, Barcelona, 2016.
10. Doantam Phan, Ling Xiao, Yeh R., Hanrahan P., Winograd T. Flow map layout. *Proceedings IEEE Symposium on Information Visualization*, 2015, Pp. 219–224.
11. Buchin K., Speckmann B., Verbeek K. Flow map layout via spiral trees. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2011, No. 17 (12), Pp. 2536–2544. DOI: 10.1109/TVCG.2011.202.
12. Skau D., Harrison L., Kosara R. An evaluation of the impact of visual embellishments in bar charts. *Proceedings of Eurographics Conference on Visualization*, 2015, Vol. 34, No. 3, Pp. 221–230.
13. Bertin J. *Semiology of Graphics. Diagrams. Networks. Maps*. Redlands: Esri Press, 2011, 438 p.
14. Lupton R.C., Allwood J.M. Hybrid Sankey diagrams: Visual analysis of multidimensional data for understanding resource use. *Resources, Conservation & Recycling*, 2017, No. 124, Pp. 141–151. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.05.002
15. Imhof E. *Cartographic relief presentation*. Berlin–New York: Walter de Gruyter, 2007, 388 p.
16. Duchowski A. *Eye Tracking Methodology*. London: Springer Science+Business Media, 2007, 336 p.
17. Orlov P.A., Laptev V.V., Ivanov V.M. Revisiting the Issue of Eye-Tracking Applying. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunication and Control Systems*, 2014, No. 5 (205), Pp. 82–92. (rus)
18. Hart S.G. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. *Advances in Psychology*, 1988, No. 52, Pp. 139–183.

Received 11.06.2017.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / THE AUTHORS

**ЛАПТЕВ Владимир Владимирович**

**LAPTEV Vladimir V.**

E-mail: laptevsee@yandex.ru

**ОРЛОВ Павел Анатольевич**

**ORLOV Pavel A.**

E-mail: paul.a.orlov@gmail.com

**ДРАГУНОВА Ольга Владимировна**

**DRAGUNOVA Olga V.**

E-mail: oletta1@gmail.com