

Формализация графического пользовательского интерфейса корпоративных информационных систем для задач анализа и динамической адаптации

Н. А. Кононов

Уфимский университет науки и технологий

В статье рассматривается задача формализации графического пользовательского интерфейса (ГПИ) корпоративных информационных систем (КИС) как объекта системного анализа. Показано, что распространенное представление ГПИ на уровне визуальных элементов недостаточно для анализа его соответствия фактическим сценариям работы пользователей. Предложено представление ГПИ как системы функциональных компонентов, связанных с бизнес-операциями, бизнес-ценностями, пользовательскими сценариями и семантическими отношениями. На этом базисе предложена модель процессно-конгруэнтного отображения (ПКО-модель), обеспечивающая формальное описание семантического ядра ГПИ независимо от конкретной экранной реализации. Показано, что разнородные действия пользователя могут быть представлены в едином формальном пространстве. Полученное представление создает основу для последующего анализа журналов взаимодействия и динамической реконфигурации экранной структуры

Графический пользовательский интерфейс; корпоративная информационная система; системный анализ; формализация; ПКО-модель; функциональный компонент; пользовательский сценарий; динамическая адаптация.

ВВЕДЕНИЕ

Современные КИС объединяют значительное количество бизнес-функций в единой информационной среде [Род23, Кон25]. В одной системе пользователь работает с взаимосвязанными объектами предметной области, выполняет различные операции и последовательно переходит между сценариями решения профессиональных задач. При этом бизнес-процессы организации изменяются во времени, что отражается на составе и способах выполнения пользовательских операций. В этих условиях ГПИ выступает не только средством представления информации, но и инструментом выполнения профессиональных операций (поиска и анализа данных, а также принятия решений).

Рост функциональной насыщенности КИС усложняет структуру ГПИ. При неизменной организации интерфейса пользователю приходится выполнять дополнительные навигационные действия, возвращаться к ранее открытым экранам и прерывать последовательность основной задачи для выполнения связанных операций. Это особенно характерно для профессиональных систем [Фак23], в которых выполнение одной операции часто требует обращения к функциям, расположенным в других разделах интерфейса. В результате структура пользовательского взаимодействия может не соответствовать структуре выполняемой бизнес-задачи.

Существующие способы описания ГПИ в основном отражают его визуальную и техническую структуру: иерархию DOM-элементов, дерево компонентов программного фреймворка,

набор экранов и переходов между ними. Такое описание необходимо для реализации интерфейса, но не отражает в явном виде семантику выполняемых операций и их связь с бизнес-процессами. Для системного анализа ГПИ требуется представить его на более высоком уровне абстракции - как систему функциональных компонентов, обладающих определенной семантикой и связанных с процессами предметной области.

Научная задача связана с несоответствием между изменяющимися бизнес-процессами и статичной экранной структурой ГПИ. При изменении пользовательских сценариев существующее представление интерфейса не позволяет формально оценить его соответствие процессам предметной области и определить связи между функциональными компонентами. Цель статьи – сформировать формальное представление ГПИ КИС, пригодное для системного анализа и последующего использования при динамической адаптации экранной структуры.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ГПИ КАК ОБЪЕКТА СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Базовые множества

Ключевым положением предлагаемой модели является разделение семантического и технического уровней ГПИ. На семантическом уровне базовыми единицами являются не кнопки, поля и другие визуальные примитивы [Nor88, Мир10], а функциональные компоненты (ФК).

$$FC = \{fc_1, fc_2, \dots, fc_n\},$$

где FC – множество функциональных компонентов ГПИ. Функциональный компонент определяется как семантически неделимая на рассматриваемом уровне абстракции единица интерфейса, обеспечивающая определенный набор функциональных возможностей, однозначно связанных с достижением бизнес-ценности. Например, в РИМ-системе: просмотр списка товаров, создание товара, редактирование товара, создание атрибута, изменение параметров атрибута, загрузка и описание медиа-ресурса и пр.

При этом визуальная реализация компонента не является существенной. Компонент «Создание атрибута» может быть реализован отдельной страницей, модальным окном или встроенной панелью. Во всех случаях на семантическом уровне он представляет одну и ту же функциональную возможность.

Для описания ФК вводится множество функциональных возможностей F и отображение.

$$\Psi: FC \rightarrow 2^F,$$

задающее множество возможностей, реализуемых каждым из компонентов.

Каждая функциональная возможность связывается с ценностью соответствующей бизнес-операции посредством отображения

$$\chi: F \rightarrow V_{BO},$$

где V_{BO} – множество ценностей бизнес-операций.

Таким образом, сформируется цепочка

$$FC \rightarrow F \rightarrow V_{BO},$$

позволяющая перейти от элемента интерфейса к реализуемой им функции и далее к ценности соответствующей бизнес-операции.

Например, ФК «Создание атрибута» реализует возможность расширения атрибутивной модели товара, которая обеспечивает бизнес-ценность, связанную с возможностью описания нового свойства товара.

Такое представление позволяет анализировать интерфейс независимо от конкретной технологии его реализации.

Процессно-конгруэнтное отображение

В качестве основы формализации используется ПКО, устанавливающее соответствие между бизнес-процессами организации и функциональными компонентами ГПИ.

Пусть

$$BP = \{bp_1, bp_2, \dots, bp_m\} -$$

множество бизнес-процессов организации, а BO – множество бизнес-операций.

Каждый бизнес-процесс представляется упорядоченной последовательностью операций:

$$bp = \{bo_1, bo_2, \dots, bo_k\},$$

однако не каждая операция требует непосредственного взаимодействия пользователя с ГПИ. Поэтому выделяется множество

$$BO_{UI} \subseteq BO,$$

операций, выполнение которых требует участия пользователя через интерфейс.

На основе соответствующих операций формируется пользовательский сценарий

$$UC(bp) = \langle fc_1, fc_2, \dots, fc_l \rangle,$$

представляющий нормативную последовательность взаимодействия пользователя с функциональными компонентами при реализации соответствующего бизнес-процесса.

Таким образом, пользовательский сценарий задает эталонную последовательность функциональных действий, относительно которой в дальнейшем может анализироваться фактическое поведение пользователя.

Принципиально важно различать нормативный сценарий и фактическую траекторию пользователя. В реальной эксплуатации пользователь может временно покидать основной сценарий [Зол25, Кан13], выполнять операции другого процесса или возвращаться к предыдущим компонентам.

Семантические отношения ФК

Последовательность взаимодействия пользователя не исчерпывает семантику ГПИ. Между функциональными компонентами могут существовать различные типы отношений, определяющие более глубокую семантическую [Сад23, Кан14, Кан14b] структуру ГПИ.

Введено множество

$$R = \{r_s, r_a, r_c, r_{sub}\},$$

где

r_s – последовательность – описывает логически обусловленное следование одного компонента за другим в процессе выполнения операций;

r_a – ассоциация – отражает информационную или смысловую связанность компонентов без обязательного непосредственного перехода между ними;

r_c – комплементарность – характеризует компоненты, которые совместно обеспечивают достижение определенной бизнес-ценности;

r_{sub} – субституция – описывает возможность взаимозаменяемого использования компонентов при сохранении достигаемой бизнес-ценности.

Множество конкретных связей задается как

$$S \subseteq FC \times FC \times R,$$

Таким образом, множество функциональных компонентов образует семантический граф

$$G_{FC} = (FC, S).$$

Семантическая связь между компонентами не обязательно проявляется в виде непосредственной последовательности пользовательских действий. Например, при принятии решения в одном компоненте пользователь может использовать информацию, представленную в другом компоненте, не выполняя при этом явного перехода между ними. Подобные зависимости не всегда могут быть выявлены из журнала взаимодействия и поэтому должны задаваться при

формировании модели с учетом экспертного знания специалистов предметной области [Кон25, Кон26] и специалистов в области человеко-машинного взаимодействия.

Это особенно важно для последующей динамической адаптации. Если алгоритм будет учитывать только наблюдаемые переходы, компоненты, между которыми отсутствует непосредственная последовательность кликов, могут быть ошибочно признаны независимыми. Их механическое разделение или изменение взаимного положения способно привести к потере информационного контекста и ухудшению пользовательского опыта. Заданные в модели семантические отношения учитываются как ограничения при последующей реконфигурации экранной структуры.

Разделение семантического ядра и экранной структуры

Экран рассматривается как конкретная организация некоторого подмножества функциональных компонентов, одновременно представленных пользователю. Совокупность экранов и навигационных переходов образует экранную структуру. Такое разделение создает возможность динамической реконфигурации интерфейса: изменяется способ представления семантического ядра пользователю, но не изменяется содержание поддерживаемой бизнес-деятельности.

ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ НА ПРИМЕРЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО СЦЕНАРИЯ

Пользовательский сценарий

Рассмотрим КИС класса РІМ, в которой сотрудник подготавливает новый товар к выводу на рынок: создает карточку, заполняет характеристики, добавляет необходимые значения справочников и изображения.

На уровне бизнес-процесса задача имеет простую структуру:

создание товара → заполнение данных → проверка → публикация.

Однако фактическое взаимодействие может включать дополнительные действия. Например, при заполнении карточки пользователь обнаруживает отсутствие необходимого атрибута «Материал», создает его, задает параметры, возвращается к карточке товара и продолжает работу. Аналогично при отсутствии нужного значения в справочнике пользователь создает его и возвращается к исходной задаче. Опустим такие детали как потенциальную необходимость корректировки атрибутивного состава справочника и прочие более комплексные сценарии.

В результате экранная навигация может иметь вид:

Карточка товара → Атрибуты → Карточка товара → Справочники →
Карточка товара → Медиа.

При этом с точки зрения профессиональной деятельности все перечисленные действия относятся к одной задаче – **подготовке нового товара к выводу на рынок**. Именно это различие между бизнес-сценарием и фактической навигацией необходимо сохранить при формировании модели ГПИ.

Представление сценария в модели

Для рассматриваемого сценария выделим множество функциональных компонентов:

$$FC = \{f c_{\text{prod}}, f c_{\text{attr}}, f c_{\text{attr-create}}, f c_{\text{dict}}, f c_{\text{dict-create}}, f c_{\text{media}}\},$$

где

$f c_{\text{prod}}$ – работа с карточкой товара;

$f c_{\text{attr}}$ – заполнение атрибутов;

$f c_{\text{attr-create}}$ – создание атрибута;

$f c_{\text{dict}}$ – работа со справочником;

$f c_{\text{dict-create}}$ – создание значения справочника;

$f c_{\text{media}}$ – добавление медиа-ресурса.

Фактическая траектория пользователя может быть представлена последовательностью:

$$UC_{\text{real}} = \langle fc_{\text{prod}}, fc_{\text{attr}}, fc_{\text{attr-create}}, fc_{\text{attr}}, fc_{\text{dict-create}}, fc_{\text{attr}}, fc_{\text{media}}, fc_{\text{prod}} \rangle,$$

Такая последовательность уже не зависит от того, на каких конкретно страницах или в каких модальных окнах реализованы соответствующие функции. Кроме того, между компонентами устанавливаются семантические отношения. Последовательные отношения фиксируют порядок действий там, где он определяется процессом, а комплементарные и ассоциативные отношения описывают функциональную связанность компонентов.

В результате разнородные действия пользователя, распределенные по различным разделам системы, представляются в едином формальном пространстве как элементы одного семантического графа.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Сформированная модель позволяет перейти от описания ГПИ к анализу фактического поведения пользователей. Минимальным источником данных может выступать журнал взаимодействия:

$$H = \langle (fc_i, t_i) \rangle,$$

где fc_i – функциональный компонент, с которым взаимодействовал пользователь, а t_i – момент взаимодействия.

Последовательность событий рассматривается как эмпирическая траектория:

$$T_{\text{real}} = \langle fc_1, fc_2, \dots, fc_n \rangle.$$

На ее основе могут быть определены наблюдаемые переходы:

$$fc_i \rightarrow fc_{i+1}.$$

Если для множества наблюдений построить матрицу переходов, то для каждого компонента может быть определено эмпирическое распределение вероятностей перехода:

$$p_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_j n_{ij}},$$

где n_{ij} – количество наблюдений перехода от fc_i к fc_j .

Эталонные последовательности задаются пользовательскими сценариями ПКО-модели. Их сопоставление с фактическими траекториями позволяет выявлять устойчивые отклонения, повторяющиеся возвраты и операции, систематически выполняемые внутри другого процесса.

Для количественной оценки расхождения эмпирического и эталонного распределений может использоваться дивергенция Кульбака–Лейблера:

$$D_{KL}(P||Q) = \sum_i P_i \ln \frac{P_i}{Q_i},$$

где P характеризует фактические переходы, а Q – эталонную структуру, заданную моделью.

Однако принципиально важно, что статистический анализ журнала выполняется *поверх уже сформированной семантической модели*. Сам по себе журнал фиксирует действия пользователя, но не содержит полного знания о том, какие компоненты функционально или семантически связаны. Поэтому модель выступает связующим уровнем между эмпирическими данными эксплуатации и их интерпретацией.

ДИНАМИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИИ ЭКРАННОЙ СТРУКТУРЫ

Сформированная ПКО-модель служит основой для последующей динамической адаптации ГПИ, рассматриваемой автором как отдельный этап комплексного исследования. Например, регуляторная последовательность

Карточка товара → Управление атрибутами → Карточка товара.

при наличии комплементарной связи между компонентами может служить основанием для их более тесного размещения в экранной структуре. При этом изменяется представление интерфейса

$$ES \rightarrow ES',$$

тогда как его семантическое ядро сохраняется:

$$M'_{\text{sem}} \rightarrow M_{\text{sem}}.$$

Таким образом, адаптация заключается в реконфигурации экранной структуры при сохранении функциональной и семантической основы ГПИ. Алгоритмы выявления и оценки адаптаций рассматриваются автором отдельно в рамках исследования динамической адаптации ГПИ корпоративных информационных систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формализация ГПИ через функциональные компоненты позволяет представить пользовательское взаимодействие в терминах бизнес-операций, функциональных возможностей и их ценности, не связывая модель с конкретной технологией реализации интерфейса. Это обеспечивает переход от описания экранов и визуальных элементов к представлению ГПИ как объекта системного анализа.

На примере сценария подготовки нового товара показано, что нелинейная траектория пользователя, включающая создание атрибута, добавление значения справочника и работу с медиа-ресурсами, может быть представлена в ПКО-модели как единый связанный набор функциональных компонентов. Процессные и семантические отношения при этом дополняют последовательность фактических действий и отражают информационные зависимости, которые не всегда непосредственно наблюдаются в журнале взаимодействия.

Сформированная модель также обеспечивает формальное сопоставление нормативного пользовательского сценария с фактическими траекториями взаимодействия. Это создает основу для выявления устойчивых отклонений и их дальнейшей интерпретации с учетом семантики функциональных компонентов.

Таким образом, ПКО-модель является базовым уровнем комплексного подхода к динамической адаптации ГПИ КИС. На ее основе могут решаться последующие задачи выявления и оценки необходимости изменения экранной структуры, а также формирования и проверки соответствующих адаптаций.

БЛАГОДАРНОСТИ И ПОДДЕРЖКА

Автор выражает признательность научному руководителю д-ру техн. наук В. В. Антонову за консультирование и обеспечение специализированной литературой в области научных интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- | | |
|---|---|
| <p>[Nor88] Norman D. A. The Design of Everyday Things. New York: Basic Books, 1988. 288 p.</p> <p>[Зол25] Золотарев К. И., Боревиц Е. В. и др. Исследование влияния элементов графического интерфейса на считывание зрительной информации // Психология и психотехника. 2025. № 1. С. 199-214. EDN: YTZFPR.</p> <p>[Кан13] Канашин В. В., Миронов В. В. Иерархические виджеты: ввод и контроль данных пользователя в веб-приложениях на основе ситуационно-ориентированных баз данных // Вестник УГАТУ. 2013. Т. 17, № 5(58). С. 166-176. EDN RPWYPV.</p> | <p>Norman D. A. The Design of Everyday Things. New York: Basic Books, 1988. 288 p.</p> <p>Zolotarev K. I., Borevich E. V., Nikitina T. A., Yanchus V. E. "Study of the influence of graphical interface elements on visual information reading" // Psychology and Psychotechnics. 2025. No. 1, pp. 199-214. EDN: YTZFPR. (In Russian).</p> <p>Kanashin V. V., Mironov V. V. Hierarchical widgets: input and control of user data in web applications based on situationally-oriented databases. <i>Vestnik UGATU</i>. 2013; 17(5(58)): 166-176. EDN RPWYPV. (In Russian).</p> |
|---|---|

- [Сад23] Садовский М. Е. Семантические модели и средства проектирования адаптивных пользовательских интерфейсов интеллектуальных систем // Информатика. 2023. Т. 20, № 3. С. 74-89. DOI: [10.37661/1816-0301-2023-20-3-74-89](https://doi.org/10.37661/1816-0301-2023-20-3-74-89).
- [Кан14] Канашин В. В., Миронов В. В. Иерархические виджеты: алгоритмы контроля данных пользователя в веб-приложениях на основе ситуационно-ориентированных баз данных // Вестник УГАТУ. 2014. Т. 18, № 1(62). С. 204-213. EDN [SDHUMT](#).
- [Кан14b] Канашин В. В., Миронов В. В. Иерархические виджеты: опыт применения в веб-приложении на основе ситуационно-ориентированной базы данных // Вестник УГАТУ. 2014. Т. 18, № 2(63). С. 185-196. EDN [SEAXWH](#).
- [Кон25] Кононова Е. М., Кононов Н. А., Кононов М. А. Проектирование комплексной модели оценки качества пользовательского интерфейса с учетом его вероятностно-динамических характеристик // Мавлютовские чтения: Матер. XIX Всеросс. молодежн. науч. конф. Уфа, 24–28 ноября 2025 г. Т. 5. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. С. 20-24. EDN [BCAPIR](#).
- [Кон26] Кононов Н. А. Программный модуль оценки визуальной сложности графических пользовательских интерфейсов на основе энтропийных и статистических характеристик изображения: Свид. гос. рег. программы для ЭВМ № 2026613641 РФ. заявл. 21.01.2026; опубл. 09.02.2026. EDN [DLABXX](#).
- [Мир10] Миронов В. В., Маликова К. Э. Интернет-приложения на основе встроенных динамических моделей: элементы управления пользовательского интерфейса // Вестник УГАТУ. 2010. Т. 14, № 5(40). С. 170-175. EDN [PWTLMZ](#).
- [Род23] Родионова Л. Е., Антонов В. В. и др. Модели проектирования программных аналитических комплексов с декартово замкнутой категорией // СИИТ. 2023. Т. 5, № 5(14). С. 3-15. EDN [AQLGLE](#).
- [Фах23] Фахруллина А. Р. Модели и методы проектирования программных систем для обработки разнородных данных (на примере образовательно-производственной среды) // СИИТ. 2023. Т. 5, № 5(14). С. 39-51. EDN [GNKHGA](#).
- Sadovsky M. E. "Semantic models and tools for designing adaptive user interfaces of intelligent systems" // Informatics. 2023. Vol. 20, No. 3, pp. 74-89. DOI: [10.37661/1816-0301-2023-20-3-74-89](https://doi.org/10.37661/1816-0301-2023-20-3-74-89). (In Russian).
- Kanashin V. V., Mironov V. V. Hierarchical widgets: algorithms for monitoring user data in web applications based on situation-oriented databases. *Vestnik UGATU*. 2014; 18(1(62)): 204-213. EDN [SDHUMT](#). (In Russian).
- Kanashin V. V., Mironov V. V. Hierarchical widgets: experience of application in a web application based on a situation-oriented database. *Vestnik UGATU*. 2014; 18(2(63)): 185-196. EDN [SEAXWH](#). (In Russian).
- Kononova E. M., Kononov N. A., Kononov M. A. "Designing an integrated model for assessing user interface quality taking into account its probabilistic-dynamic characteristics" // Mavlyutov Readings: Proceedings of the XIX All-Russian Youth Scientific Conference. In 8 vols., Ufa, November 24–28, 2025. Vol. 5. Ufa: Ufa University of Science and Technology, 2025, pp. 20-24. EDN [BCAPIR](#). (In Russian).
- Certificate of State Registration of a Computer Program No. 2026613641 Russian Federation. Software module for assessing the visual complexity of graphical user interfaces based on entropy and statistical characteristics of an image: filed 21.01.2026; published 09.02.2026 / N. A. Kononov. EDN [DLABXX](#). (In Russian).
- Mironov V. V., Malikova K. E. Internet applications based on embedded dynamic models: user interface controls. *Vestnik UGATU*. 2010; 14(5(40)): 170-175. EDN [PWTLMZ](#). (In Russian).
- Rodionova L. E., Antonov V. V., et al. "Models for designing software analytical complexes with a Cartesian closed category" // SIIT. 2023. Vol. 5, No. 5(14), pp. 3-15. EDN [AQLGLE](#). (In Russian).
- Fakhruullina A. R. "Models and methods for designing software systems for processing heterogeneous data (on the example of an educational and production environment)" // SIIT. 2023. Vol. 5, No. 5(14), pp. 39-51. EDN [GNKHGA](#). (In Russian).

ОБ АВТОРАХ | ABOUT THE AUTHORS

КОНОНОВ Никита Алексеевич

Уфимский университет науки и технологий, Россия.

knnv.nkt@gmail.com ORCID: [0009-0003-5123-3859](https://orcid.org/0009-0003-5123-3859).

Аспирант ин-та информатики, математики и робототехники. Готовит дис. в обл. проектирования и разработки информационных систем, интеллектуальных пользовательских интерфейсов.

KONONOV Nikita Alekseevich

Ufa University of Science and Technology, Russia.

knnv.nkt@gmail.com ORCID: [0009-0003-5123-3859](https://orcid.org/0009-0003-5123-3859).

Postgraduate student at the Institute of Informatics, Mathematics and Robotics. He is preparing a dissertation in the field of design and development of information systems, intelligent user interfaces.

МЕТАДАННЫЕ | METADATA

Заглавие: Формализация графического пользовательского интерфейса корпоративных информационных систем для задач анализа и динамической адаптации.

Авторы: Кононов Н. А.

Аннотация: В статье рассматривается задача формализации графического пользовательского интерфейса (ГПИ) корпоративных информационных систем (КИС) как объекта системного анализа. Показано, что распространенное представление ГПИ на уровне визуальных элементов недостаточно для анализа его соответствия фактическим сценариям работы пользователей. Предложено представление ГПИ как системы функциональных компонентов, связанных с бизнес-операциями, бизнес-ценностями, пользовательскими сценариями

Title: Formalization of the graphical user interface of corporate information systems for analysis and dynamic adaptation tasks.

Authors: Kononov N. A.

Abstract: This article examines the task of formalizing the graphical user interface (GUI) of corporate information systems (CIS) as an object of systems analysis. It demonstrates that the common representation of a GUI at the level of visual elements is insufficient for analyzing its alignment with actual user workflows. The article proposes representing the GUI as a system of functional components linked to business operations, business values, user scenarios, and semantic relationships. Based on this ap-

и семантическими отношениями. На этом базисе предложена модель процессно-конгруэнтного отображения (ПКО-модель), обеспечивающая формальное описание семантического ядра ГПИ независимо от конкретной экранной реализации. Показано, что разнородные действия пользователя могут быть представлены в едином формальном пространстве. Полученное представление создает основу для последующего анализа журналов взаимодействия и динамической реконфигурации экранной структуры.

Ключевые слова: Графический пользовательский интерфейс; корпоративная информационная система; системный анализ; формализация; ПКО-модель; функциональный компонент; пользовательский сценарий; динамическая адаптация.

Язык: Русский.

Статья поступила в редакцию 1 сентября 2026 г.

proach, a process-congruent mapping model (PCM model) is proposed, providing a formal description of the GUI's semantic core independent of specific screen implementations. It is shown that diverse user actions can be represented within a unified formal space. This representation lays the groundwork for the subsequent analysis of interaction logs and the dynamic reconfiguration of screen structures.

Key words: Graphical user interface; corporate information system; systems analysis; formalization; PKO model; functional component; user scenario; dynamic adaptation.

Language: Russian.

The editors received the article on 1 September 2026.