

УДК 004.02 + 004.03 + 004.8 + 52-38 + 528

**СТРАТИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ  
СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ****Буравцев Алексей Владимирович,***заместитель директора Института информационных технологий и автоматизированного проектирования, Московский технологический университет (МИРЭА),  
119454, Проспект Вернадского, 78,  
Москва, Россия, e-mail: mister\_j@mail.ru*

*В статье предложен подход к построению сложной информационной системы на основании стратифицированного метода. Раскрывается архитектура сложной технической системы. В статье приведена формальная модель описания сложной информационной системы. Дано описание концепции многослойного взаимодействия. Описан формальный механизм стратификации. Введено понятие устойчивой стратификации сложной системы. Показано различие между полной и устойчивой стратификацией. Введены правила нахождения компромисса между простотой описания и сохранением сложности системы. Введен формальный критерий определения качества стратификации. Описана трехслойная системная архитектура как результат стратификации.*

**Ключевые слова:** системный анализ, стратификация, сложные системы, многослойная архитектура, устойчивая стратификация, структурное моделирование, правила нахождения компромисса

**Введение**

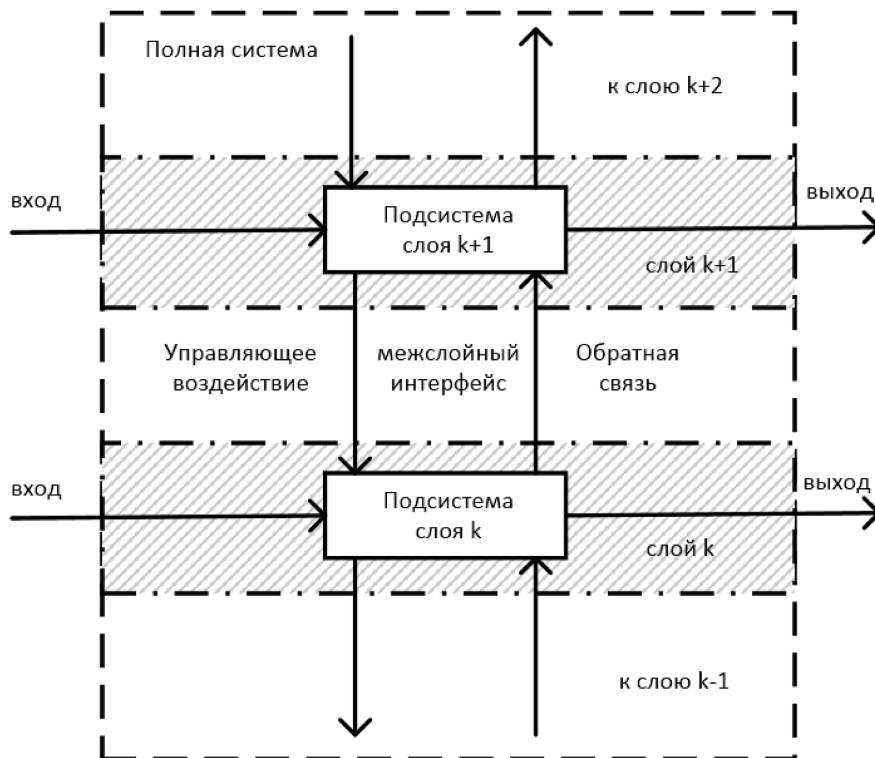
Интерес к моделированию сложных систем с применением информационных методов обусловлен ростом сложности систем [1], проблемой «больших данных» [2]. Возрастает интерес к изучению взаимодействия сложных систем с человеком на основе когнитивного моделирования [3–5]. Информационное моделирование сложных систем создает дополнительные возможности по их сопоставлению и переносу знаний из одной области в другую [6; 7; 8]. Информационное моделирование сложных систем связывает проектирование, реализацию и функционирование реальных систем и позволяет повышать эффективность функционирования реальных систем. Информационное моделирование позволяет использовать ряд специфических моделей в области проектирования сложных систем. Эти специальные модели следующие: информационная ситуация [8; 10], информационная позиция [11; 12], информационное преимущество, информационная асимметрия [13; 14], информационные единицы [15; 16], дескриптивные и прескриптивные модели. Все это создает специальный язык [17], который служит основой перехода от концептуальной модели сложной системы к реальной модели. Следует также отметить наличие специальной модели в информационном поле – информационной конструкции, которая является концептуализацией описания модели или объекта. Информационная конструкция наиболее подходит для концептуального описания сложной системы. В целом это можно рассматривать как применение информационного подхода для описания и моделирования сложных систем.

Сложную техническую систему (СТС) [18, 19] почти невозможно описать полно и детально, что вытекает уже из определения такой системы. Основная проблема заключается в нахождении компромисса между стремлением к простоте описания и необходимостью учета многочисленных поведенческих характеристик сложной системы. Разрешение этой проблемы ищется в стратифицированном описании, когда система задается семейством моделей, каждая из которых описывает поведение системы с точки зрения различных уровней абстрагирования, которые называются стратами [20; 21]. Для каждого уровня существует ряд особенностей и переменных, с помощью которых и описывается поведение системы. Чтобы такое описание было эффективным, необходима как можно большая независимость моделей для различных уровней системы. Независимость страт открывает возможность для более глубокого и детального изучения поведения системы [19] и ее взаимодействия с окружающей средой.

*Архитектура СТС*

В центре любой методологии моделирования или проектирования сложных технических систем, организационно-технических систем [19; 22] или прикладных систем [23] находится некоторая системная архитектура, которая определяет методы анализа и проектирования системы и совокупность стратегий ее применения.

Архитектура СТС имеет следующие основные характеристики: четко определенные слои; формальные интерфейсы между слоями; скрытые элементы и компоненты внутри каждого слоя. Эта концепция требует разбиения на слои систему и привлечения соответствующей методологии или технологии структурного моделирования. Архитектура современных систем является многослойной (рисунок 1) и чаще всего трехслойной (применение стратифицированного метода к трехслойной архитектуре описано ниже).



**Рисунок 1 – Концепция многослойного взаимодействия**

Каждый слой обслуживает вышележащий слой, выполняя для него некоторый набор функций, которые образуют межслойный интерфейс. На основе функций нижележащего слоя следующий слой строит свои функции – более сложные и более мощные, которые, в свою очередь, становятся примитивами для создания еще более мощных функций вышележащего слоя. При этом представление сущности, перемещаемой между слоями, может меняться от слоя к слою, например, на первом слое это может быть физическая сущность (товар), а на втором будет лишь описание характеристик физической сущности в базе данных (набор таблиц).

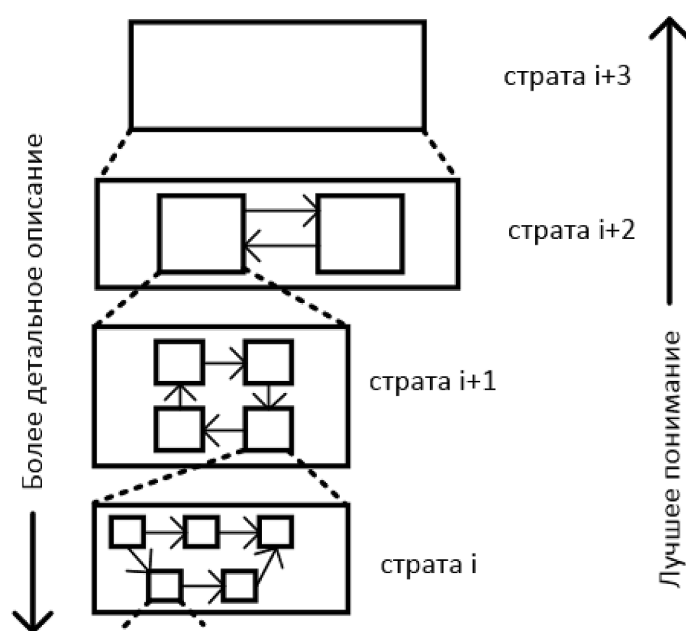
Для разбиения системы на слои или крупные части (подсистемы) используют метод стратификации. Этот метод применяется в системном анализе, структурном анализе, археологии, социологии и др. Исследования этого метода связывают с М. Месаровичем [20]. Суть его в разбиении неоднородного множества исходных данных или системы на однородные подмножества – уровни, которые называют стратами, отчего весь процесс называется стратификацией.

Стратификация эффективна в первую очередь для систем, которые могут быть описаны с помощью иерархических моделей. Наиболее ярким примером стратификации является иерархическая классификация. Однако далеко не все стратифицированные системы являются иерархическими. С чем связан это важный факт? Он связан с наличием или отсутствием порядка слоев в стратифицированной

системе. Стратификация данных широко применяется в САПР и ГИС как способ организации информации в виде слоев. Стратификация имеет аналог в теории моделирования данных. Она соответствует типизации [24], которая осуществляется либо на основе разбиения большой совокупности данных на типы, либо на основе объединения малых совокупностей данных по общим признакам.

Стратификация – процедура разбиения сложной системы или множества данных на однородные базисные части. *Страты* – части (уровни), определяемые либо по совокупности сходных признаков, либо по критерию условной независимости.

На каждой страте имеется свой собственный набор терминов, концепций, принципов и типов данных. То, что является объектом рассмотрения на данной страте, более подробно раскрывается на нижерасположенной страте; элемент становится набором; подсистема на данной страте является системой для нижележащей страты. Это отношение между стратами показано на рисунке 2.



*Рисунок 2 – Взаимосвязь между стратами: система для данной страты является подсистемой для следующей более высокой страты*

Процедура разбиения не может быть произвольной и осуществляется по выбранным критериям. При стратификации могут решаться одна или две задачи.

- 1 Разбиение системы или совокупности данных на уровни (страты).
- 2 Определение связи и подчиненности между уровнями.

В том случае, если сложная система имеет формализованное описание, для стратификации можно использовать математические критерии. Например, в ряде работ показано [20; 21; 25], что, когда сложную систему можно представить в виде совокупности подмножеств, образующих декартово произведение [26; 27], это может служить основанием для стратификации.

При решении только первой задачи получают слои. Эту задачу применяют для стратификации данных. Примером этого подхода может служить ГИС или САПР, в которых данные разбиты на слои и не фиксированы каким либо условием. Их можно перемещать, менять местами.

В результате стратификации данных повышается однородность стратифицированных групп и появляется возможность статистических групповых оценок, поскольку в неоднородной группе такие оценки могут быть бессмысленны. Следует отметить, что с современных позиций проблемы «больших данных» стратификация является инструментом структуризации и упорядочения информации.

### Механизм стратификации

Для стратификации системы решают две задачи. Первая задача состоит в выделении подсистем в системе. Вторая задача состоит в нахождении иерархической связи между подсистемами. При решении

этих задач, стратификация превращает систему в совокупность иерархически взаимосвязанных стратифицированных подсистем и этим задает ее структуру.

Как правило, система для построения ее структуры, разбивается первоначально на самые крупные части – подсистемы. Для такого разбиения необходимо выбрать критерий. Одним из критериев может служить критерий разбиения системы по функциональной обработке данных. Эта обработка связана с обработкой множества входных, выходных и промежуточных данных на независимые подмножества и формализацией этого разбиения. Для формализации стратификации определим исходную сложную систему  $CS$  как систему, осуществляющую некое функциональное преобразование  $F$  входного множества  $X$  в выходное множество  $Y$ . В формальном представлении это будет соответствовать записи:

$$CS: F(X) \rightarrow Y. \quad (1)$$

Интерпретация выражения (1) следующая: сложная система  $CS$  осуществляет функциональное преобразование  $F$  над множеством входных данных ( $X$ ) и преобразует их в выходные данные ( $Y$ ).

В качестве объективного критерия для разделения системы на стратифицированные подсистемы применимо декартово произведение. Это свойство используется в математике и общей теории систем [28; 29]. Показано [20], что стратификация системы  $CS$  на подсистемы возможна, если множества входной ( $X$ ) и выходной ( $Y$ ) информации представимы в виде декартовых произведений ( $\otimes$ ), т.е. если входная  $X_i$  и выходная информация  $Y_i$  образует два независимых базиса:

$$X = (X_1 \otimes X_i \dots X_n); Y = (Y_1 \otimes Y_i \dots Y_m) \quad (2)$$

Здесь  $n$  – количество входных групп (данных);  $m$  – количество выходных групп (данных). В этом случае система  $CS$  может быть описана в виде совокупности  $n$  подсистем  $PCS$  (уровней или страт). Для каждой подсистемы имеет место выражение, аналогичное (2.1).

$$\begin{aligned} PCS_1 &: X_1 \otimes W_1 \otimes Y_1; \\ PCS_i &: X_i \otimes E_i \otimes W_i \otimes Y_i; \\ PCS_n &: X_n \otimes E_n \otimes Y_n; \\ n &= \min(n, m), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $E, W$  – соответственно нисходящие и восходящие информационные потоки, обеспечивающие связи между уровнями. Количество подсистем или уровней, описывающих модель  $CS$ , определяется минимальной размерностью одного из базисов  $X_i$  или  $Y_i$ , входящих в выражение (2).

Семейство определенных таким образом подсистем  $PCS_i, 1 \leq i \leq n$ , называется стратификацией  $CS$ , если существуют два семейства отображений  $h_i: Y_i \rightarrow W_{i+1}, 1 \leq i \leq n$ , и  $c_i: Y_i \rightarrow E_{i-1}, 1 \leq i \leq n$ , такие, что для каждого элемента  $x$  из  $X$  и  $y = PCS(x)$ :

$$\begin{aligned} CS: F(X) \otimes I) y_n &= PCS_n(x_n, h_{n-1}(y_{n-1})); \\ 2) y_i &= PCS_i(x_i, c_{i+1}(y_{i+1}), h_{i-1}(y_{i-1})); \\ 3) y_1 &= PCS_1(x_1, c_2(y_2)). \end{aligned}$$

Множество  $Y_i$  состоит из откликов  $i$ -ой страты.  $E_i$  и  $W_i$  представляют собой множества потоков, исходящих от страт, примыкающих к  $i$ -ой страте соответственно сверху и снизу. Отображения  $h_i$  и  $c_i$  называются соответственно *информационной функцией* и *распределительной функцией*  $i$ -й страты; они связывают страты вместе, образуя систему  $CS$ .

Следует отметить важный фактор, что наличие нисходящих и восходящих потоков объединяет подуровни в единую систему. Именно потоки и страты задают структурную модель. Отсутствие таких потоков (связей между слоями) приводит к тому, что исходная система  $CS$  разбивается на совокупность независимых более мелких систем. Потоки  $E, W$  являются внутренними связями (рисунок 3). Имплицированные отношения, обозначаемые стрелкой  $\rightarrow$  выражают внешние связи.

Замечательным свойством модели сложной системы на рисунке 3 является то, что она описывает открытую систему, которая имеет связи и выходы с внешней средой, а не является аналогом транспортной сети с одним входом и выходом.

Рассмотрение конкретных свойств отображений  $h_i$  и  $c_i$  позволяет задать формальный критерий определения качества стратификации. Он отвечает на вопрос, насколько «удачны» различные варианты разбиения системы на страты; при этом мы будем различать несколько степеней стратификации.

Система  $CS$  называется *полностью стратифицированной*, если каждая ее страта  $PCS_i, 1 \leq i \leq n$ , такова, что для любой пары  $(u_i, w_i)$  из  $E_i \otimes W_i$  и любых двух элементов  $x_i$  и  $x'_i$  из  $X_i$

$$CS: F(X) \rightarrow Y$$

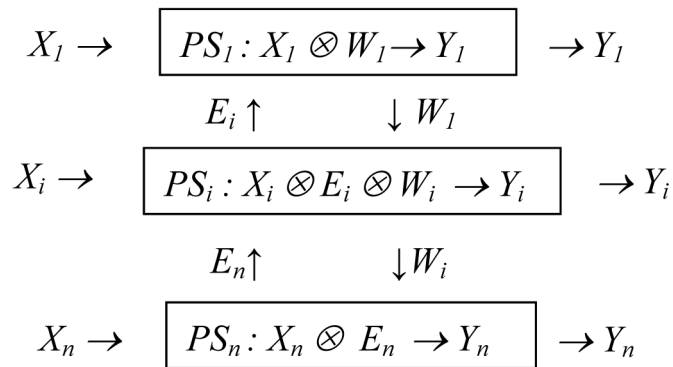


Рисунок 3 – Стратифицированная система

$$\begin{aligned}
 h_i(S_i(x_p, u_p, w_p)) &= h_i(S_i(x'_p, u_p, w_p)); \\
 c_i(S_i(x_p, u_p, w_p)) &= c_i(S_i(x'_p, u_p, w_p)).
 \end{aligned} \tag{4}$$

Это означает, что для данного управляющего воздействия  $u_i$  и обратной связи  $w_i$  отклик подсистемы  $S_i$  на произвольное изменение стимула  $x_i$  будет таким, что  $w_{i+1}$  и  $u_{i-1}$  не изменяются; другими словами, отклик не выходит за пределы  $i$ -й страты. Отметим, что полная стратификация зависит не только от преобразований  $PCS_p$ , но также и от отображений  $h_i$  и  $c_i$ . Иначе говоря, чтобы полностью описать такое разбиение, необходимо задать не только страты, но и взаимные связи между ними.

Требование полной локализации откликов каждой страты есть, несомненно, сильное условие. Более слабым является понятие устойчивой стратификации, при которой такая локализация имеет место не для всех, а лишь для некоторых пар «воздействие – обратная связь».

Следует отметить особое положение верхней страты с позиций управления [30]. Она имеет собственное множество внешних стимулов  $X_n$ , а ее отклик зависит от всей иерархии, расположенной ниже. В этом случае требования, которые верхний уровень накладывает на нижние, формулируются на основе информации, поступающей по линиям обратной связи  $w_p$ , поскольку это единственный канал для сообщений, идущих снизу.

Таким образом, устойчивую стратификацию можно характеризовать следующим условием: для некоторых  $x$  из  $X$ ,  $y_i = PCS(x)$  при всяком  $i$ ,  $1 \leq i \leq n$ , существует пара  $(u_p, w_p)$ , такая, что

$$\begin{aligned}
 w_i &= h_{i-1}(y_{i-1}), \quad 1 \leq i \leq n; \\
 u_i &= c_{i+1}(y_{i+1}), \quad 1 \leq i \leq n; \\
 y_i &= PCS_i(x_p, u_p, w_p), \quad 1 \leq i \leq n
 \end{aligned}$$

и, кроме того, для всех  $x'$  из  $X$  при любом  $i$ ,  $1 \leq i \leq n$ , имеют место равенства (4).

Различие между полной и устойчивой стратификацией заключается в том, что в определении последней не требуется, чтобы страты были независимы для любой пары «воздействие – обратная связь»; необходимым считается только существование некоторых «состояний всей системы», для которых отклики оказываются локализованными в соответствующих стратах.

Разумеется, возникает вопрос – как достичь устойчивого состояния в иерархии, однако для анализа этого вопроса необходимо более подробное знание структуры системы. Как полная, так и устойчивая стратификации представляют собой идеализированные модели, лишь приближенно отражающие структуру реальных систем. Можно разными способами смягчать условия, получая в результате не полностью стратифицированные системы. Мы не будем заниматься формализацией таких ослабленных условий, а ограничимся лишь несколькими пояснениями.

Равенство (4) может выполняться не для всех возмущений из  $X$ , а лишь для тех, которые соответствуют «нормальным» условиям работы системы. Для проведения устойчивой или даже полной стратификации при ограничениях, наложенных на стимулы, может возникнуть необходимость объединения нескольких соседних страт в одну. В некоторых случаях вполне может оказаться, что после такого объединения остается единственная страта и, таким образом, уничтожается сама стратификация.

Стратификация подразумевает сокращение объема информации, идущей вверх по иерархии: для вышерасположенных страт многие потоки, идущие от нижних страт, несут сходную информацию. Сократить объем информации можно многими способами. Одним из них является агрегирование (объединение), которое приводит к разбиению семейства переменных на такие подсемейства, каждое из которых описывается единственной «агрегированной» переменной. В действительности это означает разбиение нижней страты на подсистемы. Практически информационная обратная связь может быть успешно реализована через переменные, связанные с осуществлением взаимодействия между подсистемами. Таким образом, отметив необходимость уменьшения объема информации от уровня к уровню, мы приходим естественным путем к горизонтальной декомпозиции страты на подсистемы.

Введем правила взаимодействия слоев друг с другом. Основная цель задания таких правил – минимизация зависимостей между слоями. Введение правил решает задачу нахождения компромисса между простотой и сложностью. Общим правилом, которого следует придерживаться в данном случае, является разрешение только однонаправленного взаимодействия между слоями через применение одного из следующих подходов:

- взаимодействие сверху вниз – слои могут взаимодействовать со слоями, расположенными ниже, но нижние слои никогда не могут взаимодействовать с расположенными выше слоями. Это правило поможет избежать циклических зависимостей между слоями. Например, использование событий позволит оповещать компоненты расположенных выше слоев об изменениях в нижних слоях без введения зависимостей;

- строгое взаимодействие – каждый слой должен взаимодействовать только со слоем, расположенным непосредственно под ним. Это правило обеспечит строгое разделение, при котором каждый слой знает только о слое сразу под ним. Положительный эффект от этого правила в том, что изменения в интерфейсе слоя будут оказывать влияние только на слой, расположенный непосредственно над ним. Данный подход применим при проектировании системы, которую предполагается расширять новой функциональностью в будущем, если нужно максимально сократить воздействие этих изменений; или при проектировании системы, для которой необходимо обеспечить возможность распределения на разные уровни;

- свободное взаимодействие – более высокие слои могут взаимодействовать с расположенными ниже слоями напрямую, в обход других слоев. Это может повысить производительность, но также увеличит зависимости. Иначе говоря, изменения в нижнем слое может оказывать влияние на несколько расположенных выше слоев.

Определившись со слоями, необходимо обратить внимание на функциональность, охватывающую все слои. Такую функциональность часто называют сквозной. К ней относится безопасность, надежность, персистентность и т.д.

Следующим этапом после определения слоев является построение входов и выходов слоев, т.е. создание межслойного интерфейса, посредством которого будет производиться коммуникация между слоями. Основная цель при определении интерфейса слоя – обеспечить слабое связывание между слоями. Это означает, что слой не должен раскрывать внутренние детали, от которых может зависеть другой слой. Вместо этого интерфейс слоя должен быть спроектирован так, чтобы свести до минимума зависимости путем предоставления открытого интерфейса, скрывающего детали подсистем слоя. Такое сокращение называется абстракцией.

Рассмотрим стратифицированный метод на примере современной типовой архитектуре системы – трехслойной архитектуре (рисунок 4), которая имеет следующие характеристики:

- четко определенные слои;
- формальные и явные интерфейсы между слоями;
- скрытые и защищенные детали внутри каждого слоя.

Три слоя (база данных, бизнес-логика, документы) отражают возрастание уровня абстракции в рассматриваемой системной архитектуре. Наиболее детальным слоем является база данных, более высокий уровень абстракции – слой бизнес-логики, наивысший уровень абстракции – слой документов. Управляющие команды идут от верхних уровней к нижшим, но не наоборот. Низшие уровни могут лишь предоставлять необходимым верхним уровням информацию.



Рисунок 4 – Трехслойная архитектура

В качестве управляющих команд выступают запросы на выполнение каких-либо функций, результатом выполнения которых являются документы или другая, связанная с данным типом функции, выходная информация (скалярные величины, массивы, объекты, файлы и т.п.).

Независимость слоев трехслойной системной архитектуры обеспечивает следующие основные преимущества:

- улучшение базы данных – отделение базы данных от изменений в технологиях, а следовательно, поддержка согласованности и осмысленности данных в течение длительного периода времени;
- гибкость интерфейсов пользователя – изменение интерфейсов без влияния на бизнес-процессы и наоборот;
- упрощение разработки и сопровождения системы – легко производить изменения внутри каждого слоя, не заботясь о других слоях.

В центре современного проекта лежат две вещи – база данных и бизнес-процесс. При этом основным центром является бизнес-процесс, база данных – менее важный из двух центров, т.е. процесс становится первичным и во многом определяет весь проект. Модель процесса является ценным средством для размышлений и совместной работы над перспективами развития системы в целом.

В таблице 1 представлена трехслойная системная архитектура в разрезе регламентируемых методологией этапов разработки (анализ требований, проектирование, реализация).

Таблица 1

Слой	Анализ	Проектирование	Реализация
Документы	Поток работ	Поток форм	Формы
Правила бизнеса	Поток процессов	Модель компонентов	Программы
База данных	Модель данных	Схема базы данных	Таблицы и т.п.

Для анализа потоков работ на макроуровне, для выявления общей структуры и функций системы управления, а также для совершенствования существующих потоков информации используются графические методы. Анализ составленной с помощью применения данных методов схемы позволяет проследить пути документов, выявить моменты их образования, операции, которые с ними осуществляются, порядок, в котором документы объединяются или расчлняются. Описание потоков информации осуществляется с помощью теории графов, методов функционально-операционного анализа, матричного моделирования, семиотического анализа и т.д.

### Заключение

Построение сложной информационной системы на основании стратифицированного метода является новым методом структуризации сложных технических систем и методом системного анализа. Стратификация сложных технических систем отличается от стратификации абстрактных или формальных систем. Стратификация технических систем требует решения дополнительной задачи: поиска компо-

мисса между простой представлением модели сложной системы с одной стороны и детализацией описания ее сложности для проектирования и функционирования системы. Такая частная задача решена в данной работе. Решение данной задачи относится к классу методов управления сложностью [30]. Это было достигнуто с помощью семейства моделей, объединяемых методикой, базирующейся на стратифицированном представлении процесса проектирования. Стратификация в отличие от других методов структурного моделирования сразу задает иерархию отношений, что является преимуществом данного подхода.

Анализ нижних страт позволяет детально объяснить, каким образом система функционирует, как осуществляется та или иная конкретная функция. С другой стороны, при движении вверх, описание становится более широким, охватывая большее число подсистем и большие периоды времени. В таком более широком контексте легче понять смысл и назначение подсистем. Подводя итоги, можно сказать, что процедура стратифицированного структурного моделирования может быть представлена в виде следующих шагов:

- разложение входных/выходных данных на независимые базисы;
- выявление внутренних связей (нисходящих и восходящих информационных потоков);
- использовать правило трех общих свойств для системы и ее частей;
- формирование подсистем согласно (3) по базису наименьшей размерности из (2).

Она задает структуру, включающую уровни системы, внутренние и внешние связи. В дальнейшем процедуру стратификации можно применять по отношению к каждой подсистеме и т.д. Стратифицированный метод структурного моделирования позволяет формировать структуры разных сложных систем от информационных систем до систем массового обслуживания. Исследованный подход структурного моделирования имеет широкое применение и позволяет формировать структуры разных систем: в археологии, социологии, философии, проектировании, геоинформатике.

### Список литературы

1. Розенберг И.Н. О единой транспортной политике // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – № 1(1). – С. 22–26.
2. Чехарин Е.Е. Большие данные: большие проблемы // Перспективы науки и образования. – 2016. – №3. – С. 7–11.
3. Цветков В.Я. Когнитивные технологии // Информационные технологии. – 2017. – № 2(23). – С. 90–96.
4. Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Гинис Л.А. Когнитивный анализ и моделирование устойчивого развития социально-экономических систем. – Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 2005. – 288 с.
5. Номоконов И.Б. Когнитивные методы при лучевой диагностике: монография. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 60 с.
6. Домашук П.В. Информационное моделирование коррупции // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – №1(9). – С. 119–125.
7. Охотников А.Л. Информационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – № 2(2). – С. 60–75.
8. Максудова Л.Г., Цветков В.Я. Информационное моделирование как фундаментальный метод познания // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2001. – №1. – С. 102–106.
9. Шайтура С.В. Информационная ситуация в геоинформатике // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – №5 (17). – С. 103–108.
10. Ожерельева Т.А. Информационная ситуация как инструмент управления // Славянский форум. – 2016. – № 4(14). – С. 176–181.
11. Tsvetkov V. Ya. Dichotomic Assessment of Information Situations and Information Superiority // European Researcher. Series A. – 2014. – Vol.(86). – № 11-1. – Pp. 1901–1909. DOI: 10.13187/er.2014.86.1901.
12. Потапов А.С. Информационная ситуация и информационная позиция в информационном поле // Славянский форум. – 2017. – № 1(15). – С. 283–289.
13. Цветков В.Я. Информационная асимметрия в образовании // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2015. – №5. – С. 4–12.
14. Кудж С.А. Риски информационной асимметрии // Перспективы науки и образования. – 2016. – №6. – С. 23–27.



15. *Tsvetkov V.Ya.* Information Units as the Elements of Complex Models // *Nanotechnology Research and Practice*. – 2014. – Vol.(1). – № 1. – P. 57–64.
16. *Докукин П.А.* Графические информационные единицы // *Перспективы науки и образования*. – 2015. – №3. – С. 32–39.
17. *Цветков В.Я.* Язык информатики // *Успехи современного естествознания*. – 2014.- №7. – С. 129–133.
18. *Александровская Л.Н., Афанасьев А.П., Лисов А.А.* Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем. – М.: Логос, 2003.
19. *Воронин А.А., Мишин С.П.* Модель оптимального управления структурными изменениями организационной системы // *Автоматика и телемеханика*. – 2002. – №. 8. – С. 136–150.
20. *Месарович М., Такахара Н.* Общая теория систем: математические основы. – М.: Мир, 1978. – 311 с.
21. *Цветков В.Я.* Геоинформационные системы и технологии. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 288 с.
22. *Корнаков А.Н.* Модель сложной организационно-технической системы // *Перспективы науки и образования*. – 2015. – №2. – С. 44–50.
23. *Цветков В.Я.* Прикладные системы // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2005. – № 3. – С. 78–85.
24. *Майоров А. А.* Типизация сложных систем // *Славянский форум*. – 2014. – № 1(5). – С. 131–137.
25. *Цветков В.Я.* Стратификация когнитивной модели // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2016. – № 2-1. – С. 136–137.
26. *Marca D. A., McGowan C. L.* (1987). SADT: structured analysis and design technique. McGraw-Hill, Inc.
27. *Цветков В.Я.* Структурное моделирование: монография. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 84 с.
28. *Гулякина Н.А.* Общая теория систем. – Мн., 2007. – 208 с.
29. *Кудж С.А.* Многоаспектность рассмотрения сложных систем // *Перспективы науки и образования*. – 2014. – № 1. – С. 38–43.
30. *Пунда Д.И.* Две формы представления деятельности организационных систем, и когнитивная природа происхождения современного понятия «управление сложностью» // *Труды IX между. конф. «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций»*. CASC. – М.: ИПУ РАН, 2011. – С. 94–97.

### References

1. *Rozenberg I.N.* O edinoj transportnoj politike // *Nauka i tehnologii zheleznyh dorog*. – 2017. – № 1(1). – S. 22–26.
2. *Cheharin E.E.* Bol'shie dannye: bol'shie problemy // *Perspektivy nauki i obrazovaniya*. – 2016. – №3. – S. 7–11.
3. *Tsvetkov V.Ya.* Kognitivnye tehnologii // *Informacionnye tehnologii*. – 2017. – № 2(23). – S. 90–96.
4. *Gorelova G.V., Zaharova E.N., Giniš L.A.* Kognitivnyj analiz i modelirovanie ustojchivogo razvitija social'no-jekonomičeskikh sistem. – Rostov n/D.: Izd-vo Rost. un-ta, 2005. – 288 s.
5. *Nomokonov I.B.* Kognitivnye metody pri luchevoj diagnostike: monografija. – М.: МАКС Press, 2016. – 60 s.
6. *Domashuk P.V.* Informacionnoe modelirovanie korrupcii // *Obrazovatel'nye resursy i tehnologii*. – 2015. – № 1(9). – S. 119–125.
7. *Ohotnikov A.L.* Informacionnye modeli pri upravlenii transportom // *Nauka i tehnologii zheleznyh dorog*. – 2017. – № 2(2). – S. 60–75.
8. *Maksudova L.G., Tsvetkov V. Ya .* Informacionnoe modelirovanie kak fundamental'nyj metod poznaniya // *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Geodezija i ajerofotos#emka*. – 2001. – №1. – s.102-106.
9. *Shajtura S.V.* Informacionnaja situacija v geoinformatike // *Obrazovatel'nye resursy i tehnologii*. – 2016. – №5 (17). – s.103-108.
10. *Ozherel'eva T.A.* Informacionnaja situacija kak instrument upravlenija // *Slavjanskij forum*, 2016. -4(14). – s.176-181
11. *Tsvetkov V. Ya.* Dichotomic Assessment of Information Situations and Information Superiority // *European Researcher. Series A*. 2014, Vol.(86), № 11-1, pp. 1901-1909. DOI: 10.13187/er.2014.86.1901.
12. *Potapov A.S.* Informacionnaja situacija i informacionnaja pozicija v informacionnom pole // *Slavjanskij forum*. – 2017. – 1(15). – s.283-289.
13. *Tsvetkov V.Ya .* Informacionnaja asimmetrija v obrazovanii // *Distancionnoe i virtual'noe obuchenie*– 2015. – №5. – s.4- 12

14. Kudzh S.A. Riski informacionnoj asimmetrii // Perspektivy nauki i obrazovanija. – 2016. – №6. – s.23-27
15. Tsvetkov V.Ya. Information Units as the Elements of Complex Models // Nanotechnology Research and Practice, 2014, Vol.(1), № 1, p57-64
16. Dokukin P.A. Graficheskie informacionnye edinicy// Perspektivy nauki i obrazovanija. – 2015. -№3. – s.32-39.
17. Tsvetkov V.Ja. Jazyk informatiki // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. – 2014.- №7. – s.129-133
18. Aleksandrovskaja L.N., Afanas'ev A.P., Lisov A.A. Sovremennye metody obespechenija bezotkaznosti slozhnyh tehniceskikh sistem. – M. : Logos, 2003.
19. Voronin A.A., Mishin S.P. Model' optimal'nogo upravlenija strukturnymi izmenenijami organizacionnoj sistemy //Avtomatika i telemekhanika. – 2002. – №. 8. – S. 136-150.
20. Mesarovich M., Takahara N. Obsjhaja teorija sistem: matematicheskie osnovy. – M.: Mir, 1978 -311 s
21. Tsvetkov V.Ya . Geoinformacionnye sistemy i tehnologii – M.: Finansy i statistika 1998. – 288s
22. Kornakov A.N. Model' slozhnoj organizacionno-tehnicheskoy sistemy // Perspektivy nauki i obrazovanija. – 2015. – №2. – s.44-50
23. Tsvetkov V.Ya . Prikladnye sistemy // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Geodezija i ajerofotos#emka. – 2005.- №3 – s.78- 85
24. Majorov A.A. Tipizacija slozhnyh sistem // Slavjanskij forum. – 2014. – 1(5). – s.131 -137.
25. Tsvetkov V.Ya . Stratifikacija kognitivnoj modeli // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. – 2016. – №2-1. – s.136-137
26. Marca D.A., McGowan C. L. (1987). SADT: structured analysis and design technique. McGraw-Hill, Inc.
27. Tsvetkov V.Ya. Strukturnoe modelirovanie: Monografija. – M.: MAKS Press, 2017. – 84s.
28. Guljakina N.A. Obsjhaja teorija sistem – Minsk, 2007 -208s.
29. Kudzh S.A. Mnogoaspektnost' rassmotrenija slozhnyh sistem // Perspektivy nauki i obrazovanija- 2014. – №1. – s38-43
30. Punda D.I. Dve formy predstavlenija dejatel'nosti organizacionnyh sistem, i kognitivnaja priroda proishozhdenija sovremennogo ponjatija «upravlenie slozhnost'ju» //Trudy IH mezhd. konf.«Kognitivnyj analiz i upravlenie razvitiem situacij». CASC. – M.: IPU RAN, 2011. – c.94-97.

## STRATIFIED METHOD OF CONSTRUCTING COMPLEX I SYSTEM

**Buravtsev Alexey Vladimirovich,**

*Deputy Director of the Institute of Information Technologies and Computer-Aided Design,  
Moscow Technological University (MIREA),  
119454, Vernadsky Prospekt, 78,  
Moscow, Russia,  
e-mail: mister\_j@mail.ru*

*The article offers an approach to constructing a complex system based on a stratified method. The article describes the architecture of a complex technical system. The article provides a formal model for describing a complex system. Paper describes the concept of multi-layered interaction. Paper describes the formal mechanism of stratification. Paper introduces the concept of sustainable stratification of a complex system. The article shows the difference between full and stable stratification. Paper introduces rules for finding a compromise between the simplicity of the description and the preservation of the complexity of the system. Paper introduces a formal criterion for determining the quality of stratification. Paper describes a three-layer system architecture as a result of stratification.*

**Keywords:** System analysis, stratification, complex systems, multi-layer architecture, stable stratification, structural modeling, rules for finding a compromise