

*Шведенко Валерия Валериевна*,  
генеральный директор ООО «Т-ИННОВАТИК»,  
канд. экон. наук

## ПОЛИСТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ИХ ЭФФЕКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Россия, Санкт-Петербург, ООО «Т-ИННОВАТИК», vv\_shved@mail.ru

**Аннотация.** Предложена системная модель организации информационного взаимодействия гетерогенных систем, входящих в состав «умного пространства». Основной особенностью является наличие интегрирующего элемента в полиструктурной системе, в котором отражаются функции и процессы, протекающие в ее различных составляющих элементах. На основе полиметрической системы ведется согласованное взаимодействие в пространственно-временных измерениях «умного пространства». Отмечено практическое значение теоретических разработок.

**Ключевые слова:** умное пространство, система систем, полиметрическая система, дерево целей, информационные потоки, согласованность, стратегия развития.

*Valeria V. Shvedenko*,  
General Director of T-INNOVATIK, LLC,  
Candidate of Economic Sciences

## POLYSTRUCTURAL MODELING OF COMPLEX SYSTEMS FOR THEIR EFFECTIVE INTERACTION

T-INNOVATIK, Limited Liability Company, St. Petersburg, Russia,  
vv\_shved@mail.ru

**Abstract.** The system model of organization of information interaction of heterogeneous systems that are part of the “smart space” is proposed. The main feature is the presence of an integrating element in the polystructural system, which reflects the functions and processes occurring in its various constituent elements. On the basis of the polymetric system there is a coordinated interaction in spatial and temporal dimensions of the “smart space”. The practical significance of theoretical developments is noted.

**Keywords:** smart space, system of systems, polymetric system, goal tree, information flows, coherence, development strategy.

Управление сложным процессом осуществляется, как правило, на стыке различных предметных областей, каждая из которых может быть представлена в виде отдельной независимой системы с множеством характеристик, ограничений и целевых ориентиров. В случае, если взаимодействие таких систем приводит к образованию дополнительных синергетических эффектов, которые не могут быть получены иным обра-

зом, можно говорить об System of Systems (далее также — SoS) и организации управления ее элементами [1, 2].

Взаимодействующие системы конкурируют друг с другом по ряду ресурсов, каждая из них имеет свой формат представления данных, а обеспечение обмена информацией требует создания среды управления этими процессами. Современные информационные технологии, а также открывающиеся новые возможности позволяют формировать «умные пространства» межсистемного взаимодействия и расширять классы решаемых задач.

Под «умным пространством» (далее также — Smart Space), в настоящее время принято понимать среду с заданными контролируемыми и управляемыми параметрами, что достигается за счет использования беспроводной связи, систем датчиков, исполнительных систем и систем управления, наличия механизма интеллектуального управления входящих в нее компонентов [3, 4]. А систему систем, в которой поступление информации в центры принятия решений и их обработка осуществляются за счет использования аппаратных вычислительных и телекоммуникационных комплексов, относят к классу киберфизических систем (далее также cyber-physical systems, или CPS).

Совместим эти два понятия и рассмотрим Smart Space как информационно-управляющую надстройку над System of Systems, элементы которого синхронизированы в пространственно-временным континууме, а обмен, преобразование и хранение данных осуществляется в рамках единой топологии информационного пространства SoS. Остановимся на варианте, где реализуется принцип централизованного управления, где каждая входящая в состав SoS киберфизическая система, продолжает оставаться независимой по отношению друг к другу, а связь их осуществляется по информационным шлюзам через интегрирующий центр SoS, как показано на рисунке 1.

Такая система систем, назовем ее полиструктурной системой умного пространства (далее также — polystructure system of the Smart Space или PS SSp):

1. *Имеет гетерогенную структуру*, где каждому ее элементу соответствует собственная модель управления, объекты, процессы, система измерений, показателей, онтология используемых понятий и т. д.

2. *Является открытой, динамически изменяемой*, так как каждый новый элемент включенный в полиструктурную систему, расширяет информационное пространство в целом и открывает доступ к новым базам данных, базам знаний, IoT, формируя новое видение процессов, достигаемых эффектов и т. д. Состав входящих элементов может меняться во времени в зависимости от задач, которые ставятся перед полиструктур-

ной системой, а также благодаря развитию технических и информационных возможностей ее элементов.

3. Включает в себя набор правил и язык взаимодействия элементов системы посредством встроенных в нее механизмов «очистки», агрегации, маршрутизации и синхронизации потоков входных и выходных данных.

4. Представляется как система объектов, функций, процессов и связей между ними, глубина детализации которых может расширяться в соответствии с масштабами решаемых задач.

5. Имеет дерево цели системы, значения листьев которого согласованы со значениями листьев деревьев целей его элементов.



Рис. 1. Схематичное представление умного пространства SoS, объединяющего три гетерогенные системы

Каждый элемент полиструктурной системы может в свою очередь содержать ряд подсистем, имеющих разную степень зависимости друг от друга.

Укрупненно полиструктурную систему можно представить как многослойную конструкцию, состоящую из интегрирующего элемента (далее будем называть его телом полиструктуры или *body of the poly-structure system, BPS*), элементов полиструктурной системы, двунаправленных связей между телом полиструктуры и элементами полиструктурной системы.

Функциональный срез взаимодействия тела полиструктуры с несколькими элементами полиструктурной системы показан на рисунке 2, при этом выделены блоки формирования дерева целей — *GT\_BPS*,

цифровой двойник — DT BPS, полиметрическая система — PMS BPS, валидатор «очистки» и комплектования данных —  $V_{BPS\_EPSi}$ .

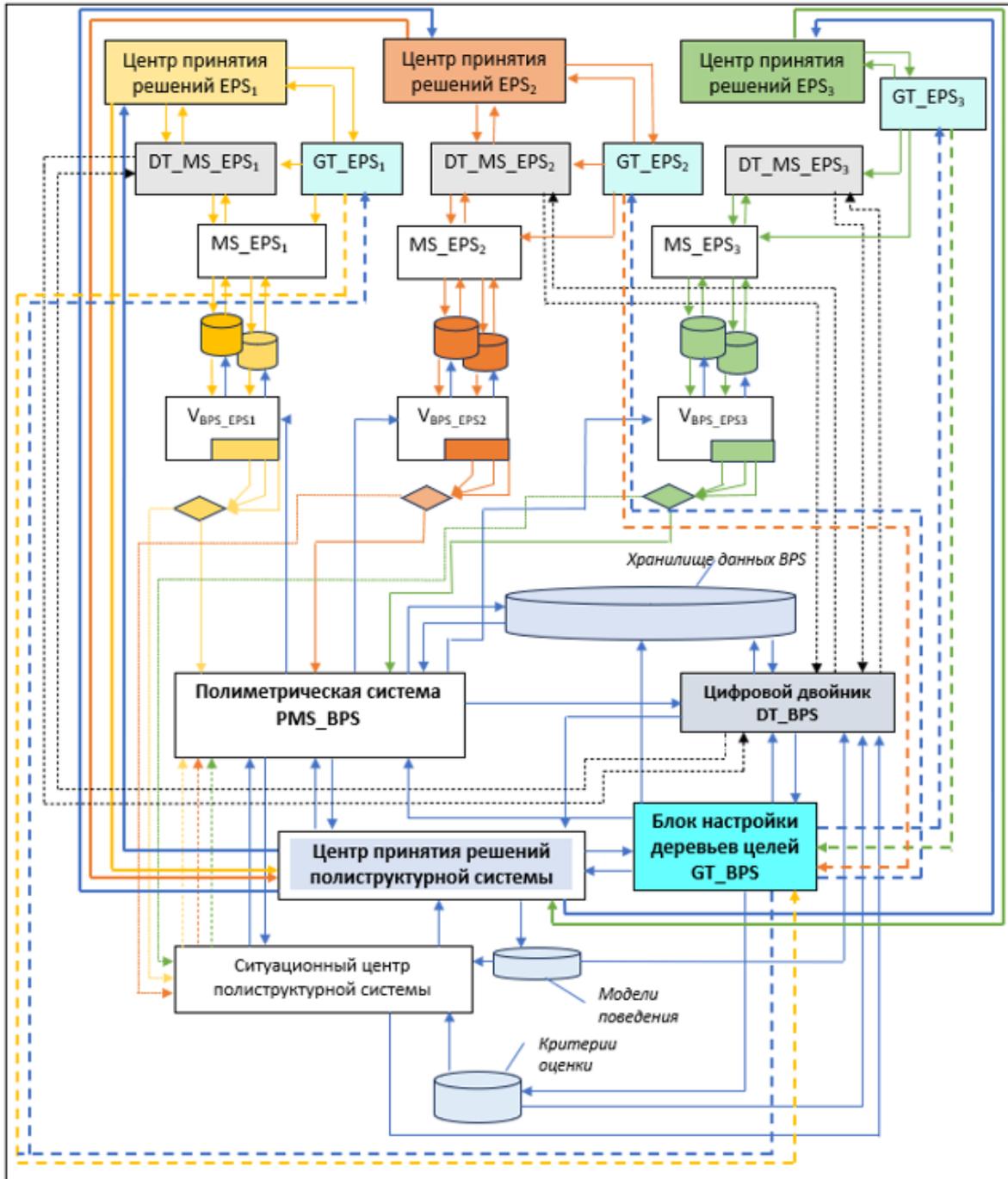


Рис. 2. Функциональный сред взаимодействия тела полиструктуры с элементами полиструктурной системы

В качестве центра, формирующего и координирующего информационные потоки данных как в теле полиструктуры, так и между телом полиструктуры и элементами полиструктурной системы, выступает полиметрическая система тела полиструктуры (далее также — PMS\_BPS).

Основное функциональное назначение ее заключается в передаче значений ключевых показателей (метрик), а также отклонении их значений от установленных нормативов в центры принятия решений согласно заданным регламентам, а также обращения к базам данных для их получения и приведения в соответствующий формат (агрегированное или преобразованное значение).

Нормативные значения метрик соответствуют листьям дерева целей (GT\_BPS), и могут корректироваться во времени в соответствии с меняющимися целевыми установками полиструктурной системы.

Связи между компонентами каждого элемента полиметрической системы можно представить в виде цепочки: Дерево цели — Цель — Функция — Этап процесса — Объект — Свойство объекта — Мера измерения свойства объекта — Показатель состояния свойства объекта — Единица измерения показателя.

Связи между деревом целей и деревом функций, а также деревом целей и управляющими контурами элементов и тела полиструктурной системы представлены на рисунках 3 и 4.

Взаимодействие элементов полиструктурной системы, приводящие к изменению параметров, оказывающих влияние на достижение их целевых ориентиров, осуществляется через точки контакта, в качестве которых выступают объекты сопрягаемых между собой систем, участвующие в процессах каждой из них, как показано на рисунке 5.

Свойствам объектов, значения которых меняются под воздействием факторов внешней и внутренней среды взаимодействующих систем, соответствует один или несколько показателей.

Данные показатели могут быть объединены в четыре группы: показатели измерения воздействия системы (II), роста системы (GI), сдерживания роста системы (RI), нейтральные показатели (NI).

Анализируя изменение значений этих показателей и оценивая влияние их друг на друга, можно прогнозировать достигаемые эффекты от изменения значений листьев деревьев целей элементов полиструктурной системы и моделировать их оптимальное соотношение на основе реализации метода построения генетических алгоритмов.

Таким образом, получена структурная модель полиметрической системы, которую можно использовать для организации управления несколькими системами в пределах «умного пространства». Эта концепция может иметь различные реализации с учетом конкретного проекта Smart Space, в том числе . Эта модель была использована при разработке стратегии социально-экономического развития муниципальных образований.

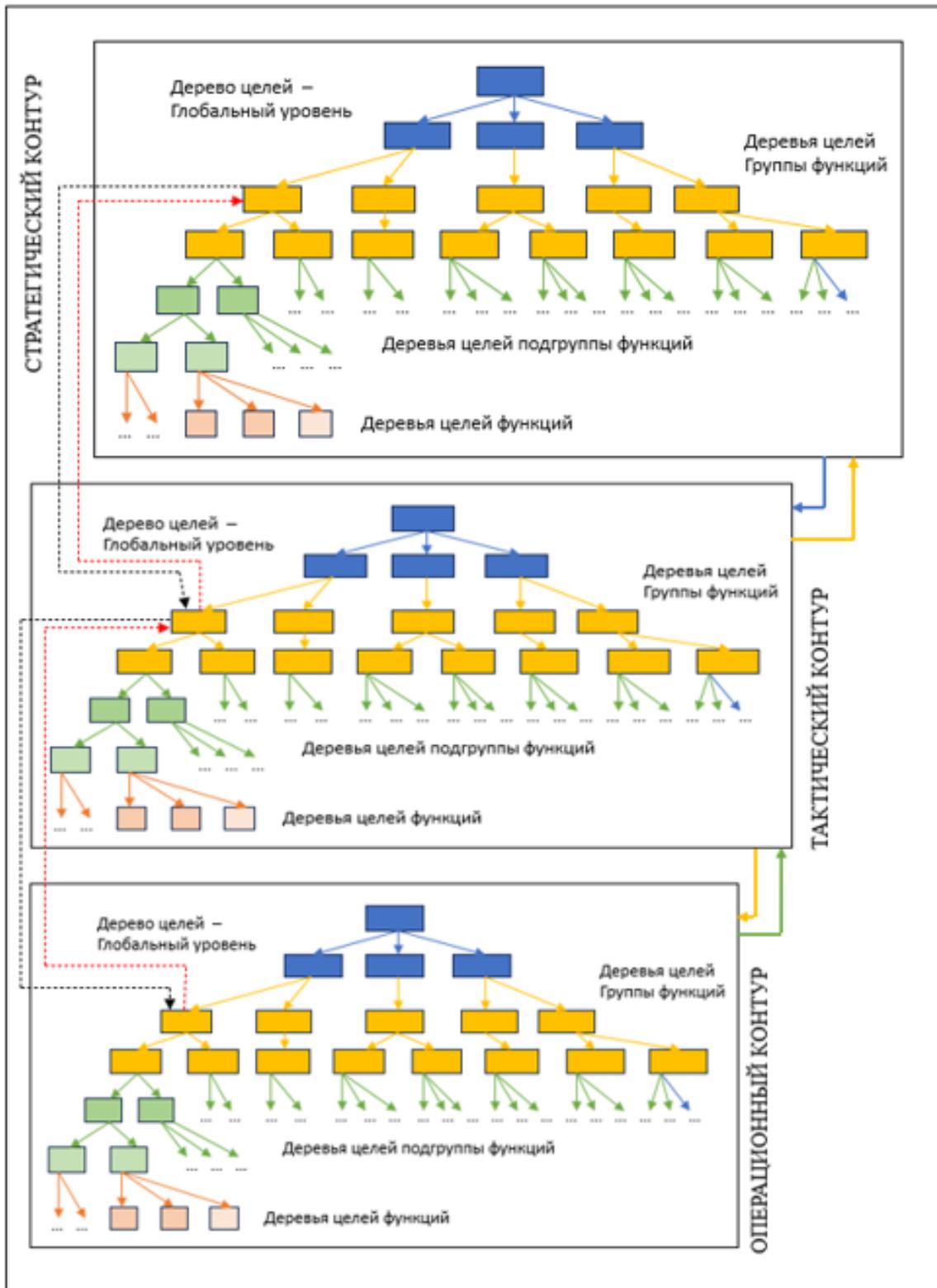


Рис. 3. Схема взаимодействия деревьев целей достижения поставленных задач и управляющих контурах полиструктурной системы

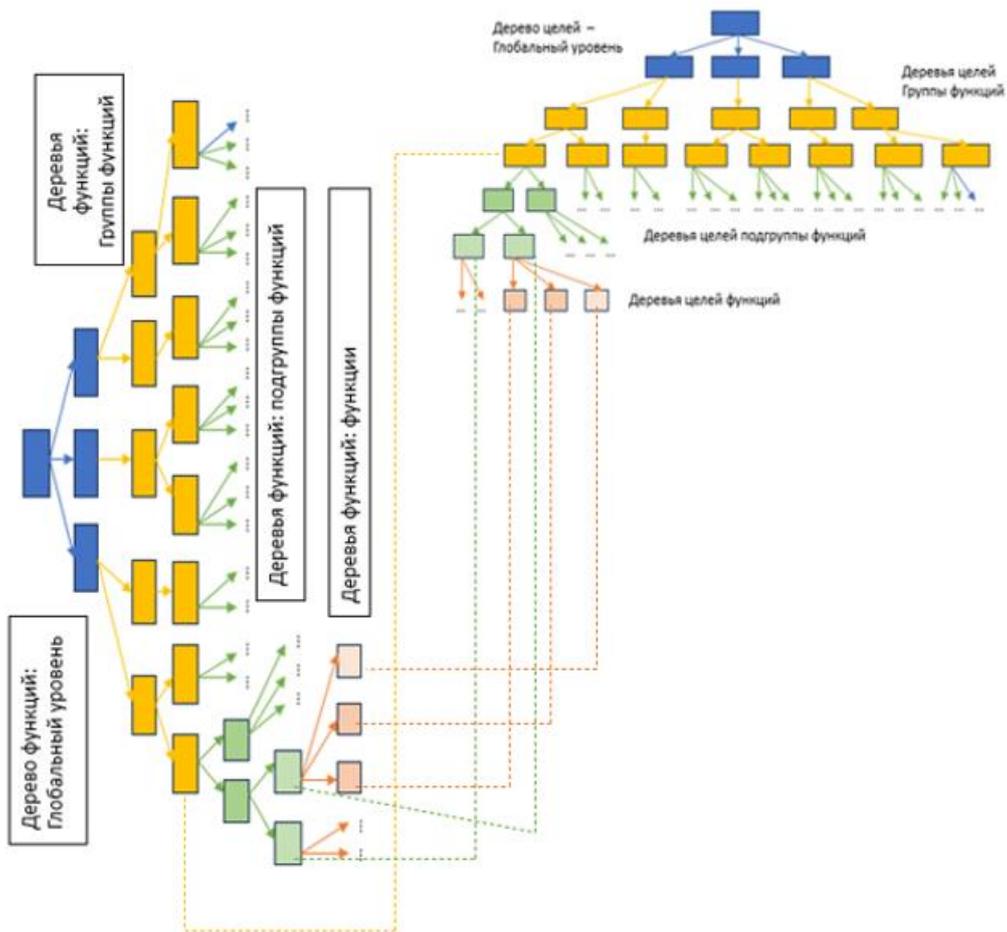


Рис. 4. Установление связей между деревом целей и деревом функций в заданном контуре управления полиструктурной системы

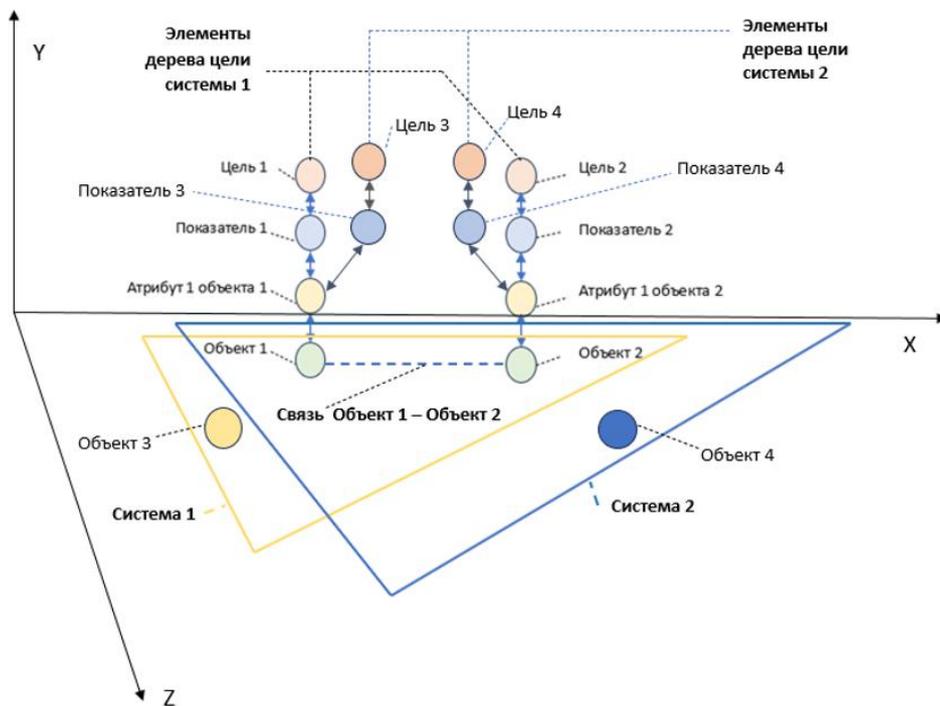


Рис. 5. Связь элементов деревьев целей двух взаимодействующих систем, входящих в состав полиструктурной системы

### **Список литературы**

1. Fang Z. System-of-systems architecture selection: A survey of issues, methods, and opportunities //IEEE Systems Journal. – 2021. – Vol. 16, No. 3. – Pp. 4768–4779.
2. Mohsin A. et al. Modeling approaches for system-of-systems dynamic architecture: Overview, taxonomy and future prospects // 2019 14th Annual Conference System of Systems Engineering (SoSE). – IEEE, 2019. – Pp. 49–56.
3. Kim M.J., Jun H.J. Intelligence sensors and sensing spaces for smart home and environment // Sensors. – 2022. – Vol. 22(8). – P. 2898.
4. Komninos N., Kakdery Chr., Mora L., Panori A., Sefertzi E. Towards high impact smart cities: a universal architecture based on connected intelligence spaces // Journal of the Knowledge Economy. – 2022. – Vol. 13. – Pp. 1169–1197.