

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ В СРЕДЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ “ПОЛИКУБ”

Здирук К.Б.¹, Толпыгин А.С.², Гречанюк Ф.А.³, Кузьминов И.М.⁴

¹ООО “Экстремальные технологии и системы” (г.Москва), zkb_64@mail.ru

²Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана, a.tolpygin@gmail.com

³Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана, f.grechanyuk@ukraft.ru

⁴Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана, kuzminov11@gmail.com

Аннотация

Статья содержит описание методических подходов и системотехнических решений, положенных в основу программной реализации Инструментальной программной платформы (ИПП) «ПОЛИКУБ». Платформа включает средства конструирования «цифровых двойников» и поддержки принятия решений оперативно-диспетчерским персоналом, отвечающим за эксплуатацию комплекса инженерных систем, как составной части единой системы управления жизненным циклом предприятия (организации). Рассмотрены актуальные вопросы организации доверенной среды функционирования «цифровых двойников» и обеспечения информационной безопасности при их включении в схему управления производственными и технологическими процессами. Исследуется возможность применения ИПП «ПОЛИКУБ» в интересах проактивного контроля и нейтрализации потенциальных угроз для объекта(ов) моделируемой предметной области, вскрытия фактов и выявления закономерностей целенаправленных негативных воздействий на основе непрерывного накопления, систематизации данных и последующего анализа поведения «цифровых двойников».

Ключевые слова: *экстремальные ИТ, доверенное программное обеспечение, конструктор «цифровых двойников»*

1. Предпосылки создания инструментальной программной платформы конструирования «цифровых двойников»

Современные общемировые тенденции обуславливают актуальность разработки *доверенной защищенной* промышленной технологии создания «цифровых двойников» (“*Digital Twin*”, *англ.*, далее – DT) для неограниченного множества разнотипных сущностей (государство в целом и его субъекты, области деятельности, предприятия и организации, объекты природного и искусственного происхождения, системы управления и т.д.).

Ранее, в работах [1,2,3] были рассмотрены теоретические вопросы концептуального моделирования предметной области посредством представления (объективизации) знаний в виде структурированного информационного пространства, содержащего рекурсивно определяемые, частично упорядоченные множества элементов - коллекции «цифровых двойников» (*DT-коллекции*). В работе [4] проанализированы различные методологические аспекты классификации программного обеспечения (ПО), предполагающей выделение четырех классов – *абсолютно доверенного, доверенного, условно доверенного и недоверенного* ПО. Там же рассмотрена примерная номенклатура и модель функционирования специализированного банка “лучших” образцов доверенного программного обеспечения и информационных технологий, обладающих *экстремальными* свойствами-характеристиками (Банка Ex’IT).

В данной статье мы остановимся на прикладных вопросах создания *доверенных защищенных* средств конструирования (*DT-Конструктор*) и управления (*DT-Диспетчер*) коллекциями «цифровых двойников», как некоторой промышленной технологии - специализированного слоя программного обеспечения, встраиваемого в архитектуру систем управления

жизненным циклом (*“Product Lifecycle Management”*, англ., далее PLM-систем).

Объективная возможность успешной практической реализации и последующего применения промышленной технологии создания «цифровых двойников» обусловлена исторически сложившимися обстоятельствами, позволившими сформировать при МГТУ имени Н.Э.Баумана банк т.н. «экстремальных» (обладающих превосходящими по отношению к зарубежным аналогам показателями функциональных характеристик) информационных технологий и конструкторских решений - Банк Ex'IT, содержащий начальную номенклатуру *доверенных защищенных* информационных технологий (ИТ), необходимых для создания и управления коллекциями «цифровых двойников», а также ключевые компетенции специалистов – разработчиков конечного изделия (в рамках университетского проекта) - Инструментальной программной платформы (ИПП) «ПОЛИКУБ».

В целом, к началу реализации проекта (IV кв. 2017г.) сформировались необходимые предпосылки (на теоретическом и практическом уровнях), обусловившие возможность принятия решения о разработке ИПП «ПОЛИКУБ», *как доверенной защищенной* промышленной технологии, создаваемой в МГТУ имени Н.Э.Баумана с целью последующего выхода на глобальный рынок перспективных технологий «цифровых двойников» (в настоящее время входят в десятку главных стратегических технологических трендов, по данным консалтинговой компании Gartner, Inc [5]).

2. Назначение, цели проекта, основные решаемые задачи и ожидаемые результаты

2.1 Назначение и цели проекта

Инструментальная программная платформа (ИПП) «ПОЛИКУБ» предназначена для формирования и ведения «цифровых двойников» объектов различных уровней управления (государство в целом, регионы, отрасли, предприятия и организаций), в которых предметная область представляется в виде объектно-ориентированной многомерной (темпоральной) модели, реализованной в защищенной среде Интегрированного хранилища информации (ИХИ) [2].

Количество ключевых измерений ИХИ – векторов многомерной модели - не ограничено (система управления, экономика, образование, здравоохранение и др.). Первичным измерением является *модельное* время, манипулирование которым позволяет решать задачи вскрытия и предупреждения угроз функционирования объектов предметной области, комплексного экспресс-анализа разнородной информации и ситуационного моделирования обстановки на оси времени (в прошлом, настоящем и будущем).

Применение ИПП «ПОЛИКУБ» должно обеспечить возможность непрерывного проактивного контроля уровня потенциальных угроз для объектов моделируемой предметной области, вскрытие фактов и выявление закономерностей целенаправленных (в том числе - *негативных*) воздействий на основе непрерывного накопления, систематизации и последующего анализа поведения «цифровых двойников» реальных объектов предметной области, представленных содержимым банков данных первичной и вторичной информации ИХИ.

2.2 Основные задачи и ожидаемые результаты

Основные задачи, решаемые с использованием ИПП «ПОЛИКУБ», включают:

- мониторинг состояния объектов моделируемой предметной области на временной оси (в частности, на интервале жизненного цикла);
- визуализацию (в моделируемом масштабе времени) актуального и прогнозируемого состояния предметной области;
- оперативное обнаружение угроз, их своевременное предупреждение и нейтрализацию (на начальной стадии жизненного цикла);
- возможность комплексного анализа и моделирования смежных угроз, поддержку принятия решений должностными лицами;
- комплексирование с существующими у заказчика средствами сбора и анализа первичных данных, оперативно-диспетчерского управления (в части реализации организационно-распорядительных функций), электронного документооборота и др.

В ходе реализации проекта должен быть разработан комплект конструкторской / программной документации на опытный образец (комплекс программ), содержащий описание масштабируемого решения, выполненного на основе доверенной защищенной номенклатуры Банка Ех'IT («Лаборатории инновационных технологий при МГТУ имени Н.Э.Баумана») *без использования* заимствованных неавторизованных фрагментов программного кода *стороннего* (отечественного или зарубежного) производителя.

Изделие должно относиться к категории высокотехнологичной продукции, функционировать на всех современных программно-аппаратных платформах и обладать экспортным потенциалом.

Комплексные (межведомственные) испытания, сертификацию и подготовку опытного образца к серийным поставкам на объекты заказчиков предполагалось вынести за временные рамки реализации данного проекта (4 мес.) и выполнить с привлечением средств внешних со-инвесторов.

3. Манифест цифровой трансформации - общие методические подходы к созданию (коллекций) «цифровых двойников»

3.1 Методические подходы к решению задач цифровой трансформации предметной области

3.1.1 В качестве предмета, подлежащего цифровой трансформации, рассматривается заданное множество объектов (предметная область), для которого должна быть сформирована целостная совокупность – коллекция «цифровых двойников» (“Digital Twin Collection”, далее DTC) основных структурных элементов и типовых процессов (управления), развивающихся во времени.

3.1.2 DTC предметной области должна обеспечивать воспроизведение (прогнозирование) состояния физического прототипа(ов) на заданном отрезке времени (в прошлом, настоящем, будущем) и с заданным уровнем детализации.

3.1.3 DTC предметной области должна обеспечивать возможность автоматизированного формирования (внешним) органом управления (например - диспетчерской службой) предпочтительного (нормального, целевого) состояния физических прототипов - объектов управления и автоматической отработки заданных схем (шаблонов, сценариев) перевода объектов управления из *текущего* состояния в *предпочтительное*

3.1.4 Формирование DTC и ее включение в контур управления конечной прикладной системы (как показано на рисунке 3 в работе [2]) должно обеспечиваться (в совокупности) независимыми компонентами - *DT-Конструктор* и *DT-Диспетчер* (*Конструктора* и *Диспетчера «цифровых двойников», соответственно*).

3.1.5 Все этапы создания и применения DTC должны подвергаться объективному контролю (документированию) и соответствовать заданному

набору требований/ограничений для моделируемой предметной области в общем операционном пространстве (см. рисунок 4 в работе [1]).

3.2 Требования к технической реализации DTC

3.2.1 Общие и общесистемные требования

3.2.1.1 Функционирование DTC предметной области выполняется в *доверенной защищенной* среде, включающей встроенные средства функционального контроля и управления безопасностью.

3.2.1.2 Подключение DTC типового объекта к внешним источникам (событий, данных) обеспечивается посредством разработки специализированных адаптеров сопряжения, встраиваемых в интеграционную шину (платформу интеграции) DTC.

3.2.1.3 Для структурных элементов и процессов всех уровней детализации типового объекта, представленных в DTC, в автоматическом режиме формируются и ведутся на оси времени интегральные показатели : *индекс (текущего) состояния* и *остаточный ресурс*. Методика расчета показателей включает базовый уровень (поставляется в составе DTC) и прикладной уровень (реализуется на основе нормативно-методических документов заданной предметной области).

3.2.1.4 Развертывание программных компонентов и баз данных DTC не должно ограничивать возможности и/или ухудшать функциональные характеристики действующих компонентов на объекте применения.

3.2.2 Специальные требования и их реализация

3.2.2.1 DCT предметной области (серверная часть) представлена в виде Интегрированного хранилища информации (ИХИ) [2], содержащего связанные банки данных (БнД) первичной и вторичной информации, а также

программные средства моделирования и обработки событий на различных линиях времени.

3.2.2.2 DCT предметной области (клиентская часть) представляется в виде совокупности WEB-интерактивных программных средств *DT-Конструктор* и *DT-Диспетчер*, масштабируемых на множестве доступных вычислительных платформ (стационарных / мобильных) объекта применения.

3.2.2.3 DCT типового объекта обеспечивает первичную и вторичную (обратную) фиксацию результатов выполнения операций и изменений состояния объектов управления на основных и дублирующих (“унаследованных”) средствах автоматизации - электронных журналах учета, мнемонических табло, в потоке диагностических и предупредительных сообщений.

3.2.2.4 Разрабатываемые компоненты DCT должны обеспечивать возможность применения на объектах критической инфраструктуры, показатели защищенности которых соответствуют требованиям ФСТЭК РФ, предъявляемым к обработке *конфиденциальной* информации.

3.3 Предварительные сравнительные оценки промышленных реализаций поддержки технологий «цифровых двойников»

Ниже (в таблице 1) приведены предварительные сравнительные оценки основных промышленных реализаций технологий формирования цифровых двойников (далее по тексту - DT-технологий).

Таблица 1. Предварительные сравнительные оценки промышленных реализаций DT-технологий

Свойства-характеристики	ИПП ПОЛИКУБ (МГТУ имени Н.Э.Баумана)	WONDERWARE System Platform (Schneider Electric)	TIA Portal (SIEMENS)
Область применения	Без ограничений	Промышленная автоматизация	Промышленная автоматизация
Используемые (внешние) программные платформы интеграции и хранения данных	ИКСИ (инструментальный комплект - платформа сервисов интеграции: ESB-шина САРІ, СУБД _{MT} SLON («Лаборатория инновационных технологий при МГТУ имени Н.Э.Баумана», Россия)	DotNet , MS SQL (Microsoft, США)	Oracle SOA Suite, Oracle DB (Oracle, США)
Поддержка многомерной объектно-ориентированной модели предметной области	Без ограничений (по числу измерений и уровням вложенности), рекурсивная декомпозиция предметной области	1(+2) измерения, до 10 уровней вложенности описания иерархии объектов производственной модели	1 измерение
Защита информации	СЗИ ПЛАТО, включают «Защищенный комплект программ	Встроенная производителем	Встроенная производителем

	(ЗКП) «Plato RT», сертификат ФСТЭК РФ № 3836 от 07.12.2017г., обработка конфиденциальной информации), 2-х контурная модель защиты со встроенным гипервизором безопасности)		
Поддержка версионности данных и процессов	Да (прошлое / настоящее / будущее) - используется многомерная темпоральная СУБД _{MT} SLON, («Лаборатория инновационных технологий при МГТУ имени Н.Э.Баумана, Россия)	Да (прошлое / настоящее / будущее – только для данных, организованных средствами встроенного хранилища Historian)	Да (в объеме поддержки версионности средствами СУБД Oracle DB)
Поддержка режима реального времени (RV)	Нет, требуется перенос в среду операционных систем RV	Да	Да
Наличие встроенной интегрированной среды разработки	Да	Да	Да
Управление функционировани- ем в процессе эксплуатации	Да, сертифицированы- ми средствами АРМ ФК из состава ЗКП «Plato RT»	Да	Да

Наличие встроенных средств визуализации и генерации отчетов	Только визуализация, используется экспорт данных во внешние средства генерации отчетов	Да	Да
---	---	----	----

4. Особенности реализации DT-технологий в составе ИПП «ПОЛИКУБ»

4.1 Структура и функционирование серверного ядра ИПП «ПОЛИКУБ»

Программная реализация серверного ядра DT-технологий в составе конечного продукта – Инструментальной программной платформы (ИПП) «ПОЛИКУБ» велась с использованием готового технологического задела – *доверенных* компонентов Банка Ex'IT (наименование и нумерация компонентов приводится в соответствии с таблицей 2 из работы [4]):

1. Инструментальный комплект сервисов интеграции ИКСИ

1.2 Служба темпорального хранения данных – СУБД_{MT} SLON

1.3 Технологическая платформа интеграции приложений (ESB-шина) САРІ

3. Интерактивный экспресс-анализ данных ALBA-ВИП

6. Система гарантированной защиты ПЛАТО (см. Примечание***)

6.1 Средства изоляции БД и критически важных процессов ГИПЕР'ОН

6.2 Средства нейтрализации внутреннего нарушителя НЕЙТРИНО

***Примечание: Компонент ПЛАТО на момент разработки ИПП «ПОЛИКУБ» представлял собой специализированную версию сертифицированных программных средств защиты информации (СЗИ) «Защищенный комплект программ (ЗКП) «Plato RT» (разработчик – АО «РТСофт», г.Москва). В настоящее время (написание данной статьи) ЗКП «Plato RT» в составе компонента ПЛАТО замещаются более совершенным функциональным аналогом (см. рисунок 4.1 из работы [4]), удовлетворяющим условиям *доверенности* и *экстремальности*.

возвращают различное представление данных. Каждый вышестоящий уровень вызывает методы предыдущего и на их основе формирует итоговое представление данных:

- 1 уровень (HTTP-запросы) - обработка стандартных GET и POST запросов с фиксированным списком параметров;
- 2 уровень (API-вызовы для получения объекта с данными) - функции второго уровня в качестве одного из параметров принимают CALLBACK-функции первого уровня и на основе результатов выполнения формируют промежуточные структуры данных (с атрибутами – свойствами объектов);
- 3 уровень (API-вызовы встраиваемого WEB-модуля) - функции третьего уровня в качестве одного из параметров принимают CALLBACK-функции второго уровня и на основе результатов выполнения формируют HTML-элементы для отображения полученных данных WEB-модулем.

Система гарантированной защиты информации – **СЗИ ПЛАТО** включает компоненты **ГИПЕР’ОН** и **НЕЙТРИНО**, которые производят фильтрацию запросов и данных, проходящих через Web-сервер **FOTN** при его взаимодействии с Диспетчером потоков данных **LIBDSM**.

Диспетчер потоков данных LIBDSM обеспечивает унифицированный интерфейс доступа Web-сервера **FOTN** к разнородным источникам данных, включая внешние – унаследованные базы данных и (стандартные) сценарии обработки событий моделируемой предметной области.

КУБ-интерфейс (API) SLONCUBES является программой – (мета)сервером доступа к Интегрированному хранилищу информации (**ИХИ**), включающему банки данных первичной и вторичной информации (**БнД ПИ** и **ВИ** соответственно), а также программные модули - серверы **SPPI**

и SVCP обработки запросов к ним.

Загрузчик контейнеров SFTB обеспечивает загрузку и надежное (“вечное”) хранение потока первичных данных о событиях – изменениях обстоятельств места / времени / действия объектов предметной области, представленных содержимым формализованных сообщений – информационных контейнеров.

Подробное описание функционирования компонентов серверного ядра ИПП «ПОЛИКУБ» приведено в технической документации на изделие.

4.2 Реализация визуальных компонентов *DT-Конструктор* и *DT-Диспетчер* в составе ИПП «ПОЛИКУБ»

Как отмечалось выше, визуальный интерфейс конечных пользователей (Конструкторов / Диспетчеров цифровых двойников) реализован в среде Web-браузера, взаимодействующего по HTTP-протоколам с серверным ядром ИПП «ПОЛИКУБ».

Графический интерфейс включает два режима работы:

- с правами конструктора-технолога (включает функции создания/редактирования информационной модели - коллекции «цифровых двойников» предметной области);

- с правами диспетчера-аналитика (обеспечивает предиктивный анализ и моделирование поведения объектов предметной области на информационной модели) .

В составе обоих режимов используется графический компонент «Tree» для отображения иерархии Граней и Классов элементов в выбранном Кубе – предметной области (рисунок 2). Слева от дерева доступно меню для операций: навигация по иерархии вложенных объектов, создание Куба – модели предметной области, создание Класса эквивалентности -

тождественных элементов, редактирование Грани – множества классов элементов, удаление Грани / Класса (тождественных) элементов.

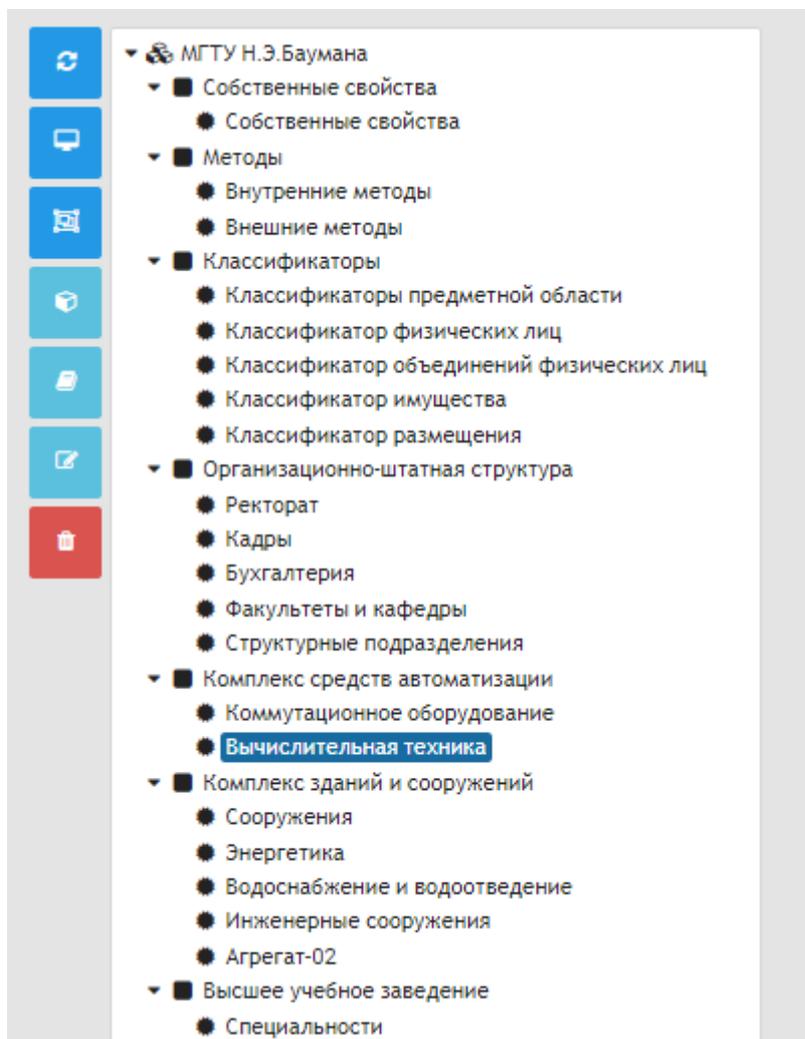


Рис.2. Компонент отображения иерархии Граней и Классов (тождественных) элементов

Графический компонент «TreeMap» - отображает грани, классы элементов и элементы в выбранном Кубе – модели предметной области в соответствии с их уровнем в иерархии, индикацией текущего статуса и остаточного ресурса, площадь каждого прямоугольника определяется по степени значимости для соответствующего уровня иерархии в Кубе (рисунок 3).

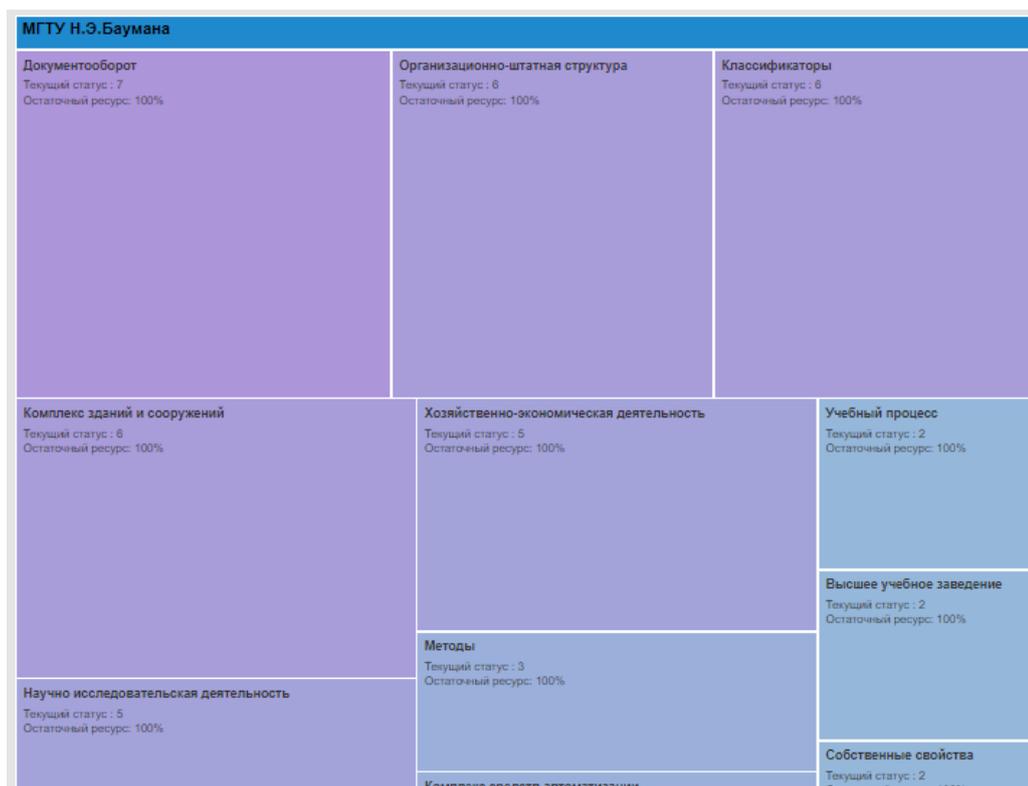


Рис.3. Компонент отображения структуры Куба начального уровня (фрагмент информационной модели МГТУ имени Н.Э.Баумана)

В режиме поддержки работы диспетчера-аналитика в коллекции «цифровых двойников» - информационной моделью предметной области доступны функции отбора уязвимых (ненадежных) элементов в Классе / Грани (с использованием диаграмм Г.Ф.Вороного) и построения фоновых групп элементов для проведения многоаспектного анализа и ранжирования элементов по различным классификационным признакам-свойствам.

Пример реализации визуального интерфейса рабочего пространства диспетчера-аналитика представлен на рисунке 4.

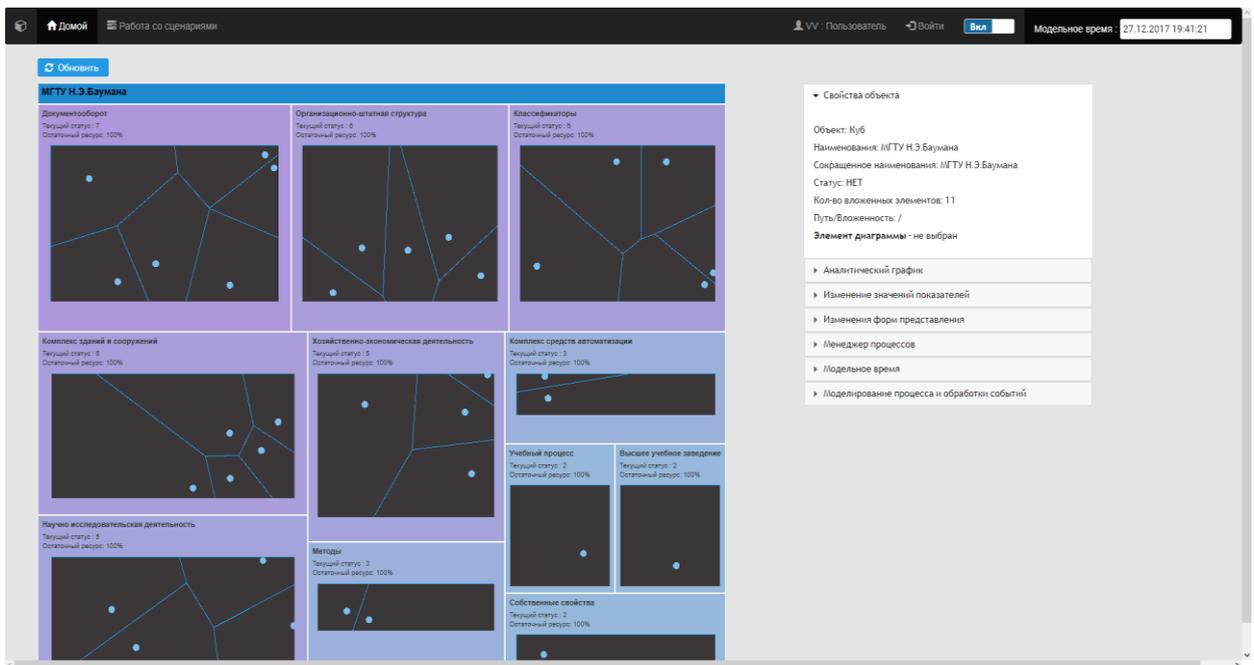


Рис.4. Пример интерфейса рабочего пространства диспетчера-аналитика (фрагмент информационной модели МГТУ имени Н.Э.Баумана)

Подробное описание функциональных возможностей графического интерфейса конструктора-технолога и диспетчера-аналитика в составе ИПП «ПОЛИКУБ» приведено в эксплуатационной документации.

В таблице 2 приводятся характеристики оборудования, необходимого для развертывания компонентов ИПП «ПОЛИКУБ» на объекте применения.

Таблица 2. Характеристики оборудования для развертывания компонентов ИПП «ПОЛИКУБ»

<p>Сервер (виртуальный) ИПП «ПОЛИКУБ»</p>	<p>Характеристики оборудования:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Процессор: 2-4 ядра, не ниже Core i7 • ОЗУ: не менее 8 ГБ • Внутренний накопитель: от 500 ГБ; • Сеть: два интерфейса 1 Гб/с - для ЛВС технологического и информационного трактов передачи данных. <p>Программное обеспечение:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Windows server 2008/2012 (x64); • Компоненты САРІ, SLON из состава ИКСИ (БИГЕ.466451.099-01) вариант исполнения - для ИПП «ПОЛИКУБ».
<p>Сервер (виртуальный) внешних источников данных</p>	<p>Характеристики оборудования:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Процессор: 2-4 ядра, не ниже Core i7 • ОЗУ: не менее 8 ГБ • Внутренний накопитель: от 500 ГБ; • Сеть: два интерфейса 1 Гб/ - для ЛВС технологического и информационного трактов передачи данных. <p>Программное обеспечение:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Windows server 2008/2012 (x64); • Компоненты САРІ, SLON из состава ИКСИ (БИГЕ.466451.099-01) вариант исполнения - для ИПП «ПОЛИКУБ».
<p>АРМ Конструктора- Технолога</p>	<p>Характеристики оборудования:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Процессор: Core i5 и выше; • ОЗУ: не менее 8 Гб; • Внутренний накопитель: от 500 Гб; • Сеть: Ethernet. <p>Программное обеспечение:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Windows 7/8/10 (x64); • Компоненты САРІ, SLON из состава

	<p>ИКСИ (БИГЕ.466451.099-01) вариант исполнения - для ИПП «ПОЛИКУБ»;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Qt SDK 1.2.1; • VisualStudio 2012 pro • Web-браузер; • Клиент ЗКП «Plato RT» (ЛКЖТ.ПП.50 1410-01)
<p>АРМ Диспетчера- Аналитика</p>	<p>Характеристики оборудования:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Процессор: Core i5 и выше • ОЗУ: не менее 8 Гб • Внутренний накопитель: от 500 Гб • Сеть: Ethernet <p>Программное обеспечение:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Windows 7/8/10 (x64); • Компоненты САРІ, SLON из состава ИКСИ (БИГЕ.466451.099-01) вариант исполнения - для ИПП «ПОЛИКУБ»; • Qt SDK 1.2.1; • VisualStudio 2012 pro; • Web Браузер; • Клиент ЗКП «Plato RT» (ЛКЖТ.ПП.50 1410-01)
<p>АРМ Администратора функционального контроля (ФК) и обеспечения безопасности информации (ОБИ)</p>	<p>Характеристики оборудования:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Процессор: Core i3 и выше; • ОЗУ: не менее 4 Гб; • Внутренний накопитель: 500 Гб; • Сеть: два интерфейса 1 Гб/с - для ЛВС технологического и информационного трактов передачи данных. <p>Программное обеспечение:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Windows 7/8/10 (64 разрядная); • Компоненты САРІ, SLON из состава ИКСИ (БИГЕ.466451.099-01) вариант исполнения - для ИПП «ПОЛИКУБ»; • Web-браузер; • Сервер ЗКП «Plato RT» (ЛКЖТ.ПП.50 1410-01).
<p>Коммутаторы</p>	<p>2 шт. (1 Гб/с) – для ЛВС технологического и информационного трактов</p>

Заключение

Реализация проекта велась в период с сентября по декабрь 2017 г. творческим коллективом из 10 специалистов-разработчиков под общим руководством к.т.н., доцента кафедры ИУ-10 МГТУ имени Н.Э.Баумана К.Б.Здирука. Сравнительно короткие сроки реализации проекта были обусловлены применением готовой номенклатуры Банка Ex'IT, содержащего доверенные компоненты, обладающие экстремальными техническими характеристиками (свойствами).

Инструментальная программная платформа «ПОЛИКУБ» обеспечивает проектирование наборов (коллекций) цифровых двойников реальных объектов, воссозданных в памяти компьютера в виде цифровой модели предметной области методом рекурсивной многоаспектной декомпозиции, описанной в работе [2].

Тождественность поведения «цифровых двойников» физическим объектам-прототипам достигается накоплением первичной информации, получаемой от систем контроля за реальными объектами и связанными с ними автоматизированными системами и базами данных. Для моделирования процессов управления доступны такие возможности, как задание модельного времени, изменение свойств объектов во времени, задание поведения «цифровых двойников» средствами скриптовых языков, проведение анализа и оценка характеристик объектов по различным показателям, включая расчет индексов текущего состояния и остаточного ресурса.

Манипулирование модельным временем позволяет решать задачи вскрытия и предупреждения угроз жизнедеятельности (нормальному функционированию) объектов предметной области, комплексного экспресс-анализа разнородной информации и ситуационного моделирования обстановки на оси времени (в прошлом, настоящем и будущем).

В настоящее время на основе научно-практических результатов, полученных при создании Инструментальной программной платформы «ПОЛИКУБ», ведутся работы в рамках нового проекта – ПОЛИСФЕРА,

объединяющего как средства создания DT-коллекций, так и их интеграции в системы управления объектами различных классов (промышленными, бытовыми, организационными и др.).

Благодарности

Авторы выражают признательность ректору МГТУ имени Н.Э.Баумана А.А.Александрову, а также проректору по экономике и инновациям МГТУ имени Н.Э.Баумана Е.А.Старожуку за поддержку исследований и практическую помощь в организации разработки Инструментальной программной платформы «ПОЛИКУБ».

Список источников

1. Здирук К. Б., Толпыгин А. С., Гречанюк Ф. А., Ханьгин А. Н. Цифровые модели объектов и модели данных в решении задач управления [Электронный ресурс] // Экстремальные технологии и системы URL: <https://www.extansy.com/> (дата обращения 12.02.2019).
2. Здирук К. Б., Гречанюк Ф. А., Толпыгин А. С. Синтез цифровых двойников промышленных объектов с применением многоаспектной рекурсивной декомпозиции [Электронный ресурс] // Экстремальные технологии и системы URL: <https://www.extansy.com/> (дата обращения 12.01.2019).
3. Здирук К. Б., Толпыгин А. С., Гречанюк Ф. А. Формальное определение меры представления знаний в информационном пространстве на основе когнитивного подхода [Электронный ресурс] // Экстремальные технологии и системы URL: <https://www.extansy.com/> (дата обращения 21.03.2019).
4. Здирук К. Б. Экспортнасыщение против импортозамещения или доверенное программное обеспечение против (анти)российского [Электронный ресурс] // Экстремальные технологии и системы URL: <https://www.extansy.com/> (дата обращения 21.07.2019).
5. Top 10 Strategic Technology Trends for 2019 [Электронный ресурс] // Gartner, Inc. URL:<https://www.gartner.com/doc/3891569?srcId=1-3931087981> (дата обращения 02.12.2018).