

Концептуальное конструирование инновационных рабочих органов канатных экскаваторов

В.П. Максимов, Ю.В. Максимов

Основным типом машин занятых на производстве земляных работ при строительстве различных сооружений являются универсальные одноковшовые экскаваторы. Анализ рынка, области предпочтительного применения и перспективы использования экскаваторов с канатной подвеской даны в работе [1]. Для повышения конкурентоспособности канатным экскаваторам необходима модернизация, в результате которой были бы сохранены основные достоинства (низкая цена, надежность, ремонтпригодность, возможность работы в экстремальных температурных условиях, универсальность) и устранен основной недостаток – недостаточная производительность.

Базовой является методология системного анализа, в частности объектно-ориентированный анализ (ООА). ОО-моделирование решает все главные задачи анализа и синтеза систем, такие как: – формализация функциональных требований; – визуализация структуры системы в различных состояниях (целевом или текущем); – анализ возможных вариантов поведения; – разработка инварианта, как базы для синтеза развивающейся системы; – разработка моделей и формальное описание полученных решений [2-4].

Источником инновации в процессе модернизации канатного экскаватора являются цели, формируемые с учетом проведенного анализа. Цели и структуры целей в этом случае являются самостоятельным объектом исследования. В тоже время формулирование цели при решении инновационных задач – это одна из ключевых процедур, определяющей постановку задачи исследований, трансфера и инноваций. На начальном этапе производят назначение цели, выбор критерия, формализацию цели. Задачи со многими критериями (целями) характерны для инновационных проектов. И в этом смысле, системный анализ – это методология исследования

целенаправленных систем. Цель объективно становится главным системообразующим фактором.

Объектом анализа является достаточно сложная структурированная система управления рабочим оборудованием одноковшовых канатных экскаваторов (СУРО). Этой системе присущи характеристики, которые принципиально позволяют сформулировать и решить задачу системного анализа. Так СУРО строится как иерархическая структура, в которой элементы структуры выбираются из сравнительно небольшого числа элементов, различные сочетания которых определяются целью исследования. При этом наиболее сильными оказываются внутрикомпонентные связи, так как каждый структурный элемент локализует вполне определенную функцию, а сама формируемая система может принять окончательный вид только в результате развития работающей базовой системы. В рассматриваемом случае источником системных исследований являются цели [5-7] для достижения которых и конструируется система УРО. С учетом вышеизложенного, для исследований рассматриваемой системы концептуально оправдано применение современной методологии объектно-ориентированного (ОО) анализа [2,3], направленного на описание развивающихся, эволюционирующих систем.

Такой подход позволяет без ущерба для жизнеспособности системы включать в модель новые объекты и исключать устаревшие, обеспечивая, в отличие от структурных методологий, ориентированных на функциональность системы, устойчивость системы к изменениям. Представления моделей системы УРО осуществляется путем применения нотации стандартизированного и постоянно развивающегося унифицированного языка моделирования *UML*, который является на сегодняшний день наиболее распространенным графическим языком визуализации, спецификации, конструирования и документирования сложных систем. В *UML* задействованы три типа моделирующих блоков [2,6]: сущность, отношение и диаграмма. Сущности являются основой модели, отношения обеспечивают их привязку друг к другу, а диаграммы группируют наборы сущностей. Диаграмма обычно

изображается в виде связного графа с вершинами – сущностями и ребрами – отношениями. Представление системы в виде совокупности *UML*-диаграмм позволяет получить полную статическую и динамическую интерпретацию системы УРО. На диаграммах взаимосвязь классов отражается с помощью следующих отношений: – зависимости (изображаются пунктирной линией со стрелкой); – наследования (сплошная с незаполненной треугольной стрелкой); – ассоциации (сплошная линия) и агрегации (сплошная с ромбовидной стрелкой). Основой для анализа является принцип структурированной иерархии в виде «дерева целей», который для развивающихся технических систем, таких как УРО и предполагающих внедрение новых конструкций, технологий и других нововведений трансформируется в методологию, учитывающей среду и целеполагание. Такая система попадает под известное определение, где в рамках некоторого временного интервала из среды, в полном соответствии с заданной целью, выделяется некоторое конечное множество находящихся в отношениях между собой функциональных элементов [5,7]:

$$S \equiv \langle A, R, Z, SR, \Delta T \rangle \quad (1)$$

где S – система; A – множество элементов системы $A = \{a_i\}$; R – множество связей, отношений между элементами системы $R = \{r_i\}$; Z – структура целей системы; SR – среда целеобразования; ΔT – интервал времени целеобразования.

Обычно система вида (1), включает семь уровней иерархии целей. Это формирование глобальной цели и дальнейшей ее декомпозиции по признакам: – виды конечного продукта; – пространство инициирования целей; – жизненный цикл; – состав и взаимосвязь элементов системы; – управленческий цикл; – делегирование полномочий. Для конкретных условий функционирования системы УРО достаточно использовать трех уровневую структуру целей, где глобальная цель должна быть ориентирована на конечный продукт, а среда формирования глобальной цели определена на основе анализа различных документов. Интегральным показателем экономических и социальных функций экскаватора является его *Конкурентоспособность ЭО*–

4112, которая включает такие характеристики (в свете ОО анализа рассматриваемые как ограничения) как *Дизайн, Эргономика и Повышение производительности*. Безусловно, *Дизайн* и *Эргономика* есть важные характеристики, требующие своего специального исследования, но не они определяют окончательный выбор предполагаемого пользователя землеройных машин. Главными при сравнении эффективности различных образцов техники являются удельные приведенные затраты, которые в значительной мере определяются производительностью. Исходя из этого, сформирован конкретный заказ на модернизацию, где в качестве глобальной цели выбирается *Повышение производительности*. Разрабатываемая система УРО направлена на реализацию этого заказа.

Среда целеобразования относится к признаку «пространство инициирования целей» и декомпозирует глобальную цель на подцели, отвечающие разрабатываемым требованиям. В частности, на этом уровне имеем: *Увеличение объема ковша (УОК)*; *Сохранение количества материала в ковше на участках транспортирования и выгрузки (СКМ)*; *Увеличение рабочих скоростей (УРС)*. Анализ возможной реализации подцелей *УОК* и *УРС* выявил их малую перспективность для исследуемого канатного экскаватора, вследствие чего *УОК* и *УРС* исключаются из дальнейшего исследования.

В соответствии с принятым деревом целей следующим уровнем иерархии является интервал времени целеобразования, определяемый представлениями о жизненном цикле экскаватора. Здесь подцель *СКМ* декомпозирована на: *Изменение геометрии ковша (ИГК)*; *Поворот ковша относительно рукояти (ПКР)*; *Обеспечение рациональной кинематики рабочего органа (ОРК)*.

Для реализации в дереве целей (ДЦ) вышестоящих подцелей на уровне признака ветвления необходимо перейти к операциям по определению возможного состава элементов системы, позволяющих эти подцели достигнуть. В этом случае рекомендуется [5] на указанных уровнях иерархии оперировать не термином подцель, а термином функция, считая что «дерево целей» трансформируется в «дерево функций».

Построим диаграмму целевых классов (ДЦК) системы УРО в рамках нотации языка *UML*. Сведем посредством синтаксической интерпретации дерево целей (ДЦ) к диаграмме классов (ДЦК). В рамках объектной нотации такой прием возможен, поскольку базовые структуры систем $S_t(\text{ДЦ})$ и $S_t(\text{ДЦК})$ эквивалентны в смысле свойства целедостижимости.

$$J_Z: \{S_t(\text{ДЦ}) \rightarrow^{\text{СИНТ}} S_t(\text{ДЦК})\} \quad (2)$$

Следует отметить, что понятие целевой класс вводится только для такого класса, в соответствие которому на ДЦ может быть поставлена цель – подцель [6]. В этом случае сумма целевых классов определяется видом дерева целей, а их взаимное однозначное соответствие отображает диаграмма целевых классов. Это равносильно утверждению, что ДЦК на всех множествах элементов (Z) и отношений (R) ДЦ (ZR) и ДЦК (DZ) определено, сюръективно и функционально. Таким образом, отображением любого элемента из области значений ДЦК является единственный элемент из области определения ДЦ.

На рис. 2.1 представлена ДЦК СУРО, где целевые классы *УОК*, *СКМ*, *УРС* уровня среды целеобразования декомпозируют глобальную цель – *Повышение производительности* и наследуют ее атрибуты. В соответствии с ДЦ на уровне интервала времени целеобразования имеем целевые классы-наследники – *ИГК*, *ПКР* и *ОРТ*. Установленные отношения наследования дают возможность проследить за иерархией декомпозиции целей. Следующая декомпозиции целей, выполняемая на уровне состава и взаимосвязей элементов системы СУРО, предполагает построение диаграммы классов оборудования. Система СУРО, как любой технический объект представляет собой объединение различных специализированных элементов и устройств. При генерировании способов реализации поставленных целей конкретным оборудованием использованы известные конструкции различных рабочих органов экскаваторов, напряженно замкнутые кинематические контуры, законы механики системы рабочее оборудование – грунт и концептуальный подход. Обобщенная архитектура СУРО может быть представлена в виде диаграммы классов оборудования (ДКО), содержащих три класса *Привод*, *Четырехзвенный*

механизм (4-х зв.:1 зв. ± 3 зв. ∓ 1 зв.) и Систему управления (СУ). Определенные в результате анализа классы оборудования позволяют реализовать все технологические операции, необходимые для достижения выявленных на нижнем уровне ДЦК подцелей и, таким образом, являются элементами синтеза базового инварианта структуры СУРО.



Рис. 1. – Объектно-целевая диаграмма классов системы СУРО

В процессе концептуального анализа системы СУРО возникает необходимость семантического согласования двух различных унарных диаграмм – целевых классов (ДЦК) и классов состава оборудования (ДКО). Интеграция диаграмм может осуществляться на поле новой дополнительной переходной диаграммы функционально-целевых классов (ДФЦК). В этом случае реализуются дуальные свойства целей: цель как сущность и цель как функция. Таким образом, ДФЦК позволяет осуществить логический переход от нижнего уровня ДЦК, связанного отношениями наследования с вышестоящими уровнями ДЦК и отношениями зависимости с ДКО [7]. Такая тернарная

диаграмма позволяет не только проследить достижимость установленных целей с помощью выбранного оборудования, но и установить механизмы указанного перехода, что дает возможность формализовать процедуры дальнейшего развития. Основные содержательные части указанных процедур сформулированы в работе [7].

Реализация предлагаемого метода моделирования, иллюстрирующая процедуры и результаты концептуального анализа системы УРО, представлена на рис. 1 в виде тернарной объектно-целевой диаграммы классов (ОЦДК), где ДЦК представляет собой иерархическую модель целевых классов связанных отношениями наследования, а ДКО описывает средства СУРО, агрегированные в рабочий орган канатного экскаватора и реализующие указанные цели.

Последующие этапы анализа архитектуры системы УРО направлены на определение (выбор) конкретных технических средств, функциональные возможности которых находятся в полном согласии с декларируемыми целями. Выбор конкретных технических средств производится по известной методике морфологического анализа и синтеза. Так, класс *Лебедка 1*, реализует функцию класса *Силовое воздействие стрелы на ковш (СВС)*, необходимого для достижения цели, описываемой целевым классом *Поворот ковша относительно рукояти (ПКР)*. Класс *Лебедка 2*, реализует функцию класса *Силовое взаимодействие стрелы, рукояти и ковша (ВС-Р-К)*, необходимого для достижения цели, описываемой целевым классом *Обеспечение рациональной траектории (ОРТ)*. Эти два класса – *Лебедка 1* и *2* агрегируются в общий *Привод*, который наследует указанные функции этих классов. Аналогично определяются и другие классы-наследники. Классы *Четырехзвенный механизм (4-х зв)* – два четырехзвенных механизма один, из которых реализует функцию шарнирного механизма (*ШМ*), необходимого для достижения цели, описываемой целевым классом *ПКР*, а другой реализует функцию шарнирного механизма (*ШМ*), необходимого для достижения цели, описываемой целевым классом *ОРТ*. Эти два класса (*4-х зв*) агрегированы в класс *Четырехзвенный механизм (4-х зв.:1 зв. ± 3 зв. ∓ 1 зв.)*, формирующийся из базового

трехзвенного механизма поочередным присоединением одного из двух дополнительных звеньев по закону определяемым классом *Система управления (СУ)*.

Выделенные классы оборудования реализуют весь набор технологических операций, необходимых для достижения соответствующих подцелей нижнего уровня диаграммы целевых классов. В этом случае функции, выполняемые конкретным оборудованием, выступают в роли аргументов тех целевых функций подцелей, которые представлены на нижнем уровне ДЦК. Так эффективность работы *лебедки 1* определяется точностью приложения *силового воздействия стрелы*, которое является функциональной характеристикой механизма *поворота ковша*. Очевиден вывод, что для отслеживания направления движения *цель* → *класс оборудования* необходимо осуществить интеграцию ДЦК и ДКО посредством конструирования ДФЦК.

В результате ДФЦК, в рассматриваемом случае, включает для целевых классов ДЦК и классов ДКО следующие ФЦК: *силовое воздействие стрелы (СВС)*, *шарнирные механизмы (ШМ)*, *взаимодействие элементов системы стрела–рукоять–ковш (ВС-Р-К)*. Перечисленные ФЦК, с одной стороны, наследуют подцели интервала времени целеобразования, являющиеся атрибутами целевых классов *ПКР* и *ОРТ*, а с другой, через отношения зависимости определяют набор соответствующих функций класса оборудования. Следовательно, имеем: *Лебедка 1* → *СВС*; *4-х зв* → *ШМ*; *4-х зв* → *ОРТ*; *Лебедка 2* → *ВС-Р-К*.

Результатом объединения трех диаграмм – целевых классов (ЦК), классов оборудования (КО) и функционально-целевых классов (ФЦК) является модель СУРО в виде тернарной объектно-целевой диаграммы классов (ОЦДК). Такая интегральная диаграмма дает возможность выполнять процедуры по формализации взаимосвязей целей, которые инициированы конкретными технологическими задачами, с элементами технологического оборудования. Таким образом, процесс концептуального анализа позволяет, оставаясь в русле *UML*-нотации, осуществить переход от целей управления к реализующим

структурам и, одновременно, исследовать процедуры данного перехода. Это становится возможным за счет введения в процессы декомпозиции целей и объектов новых инструментов, а именно: объединенной тернарной диаграммы классов (ОЦДК) как инструмента интеграции диаграмм целевых классов (ДЦК), являющихся целевыми структурами системы, и диаграмм классов оборудования (ДКО) посредством переходной диаграммы функционально-целевых классов (ДФЦК).

Концептуальное конструирование являясь, по сути, процедурой системного анализа, сфокусировано на получение модели базового инварианта архитектуры исследуемой системы УРО. Анализ среды целеобразования выявил функциональные требования к системе и определил реализующее эти требования оборудование. На диаграмме классов (рис. 2) верхний уровень представлен суперклассом: *Экскаватор*, который декомпозируется на классы – *Стрела*, *Ковш*, *Четырехзвенный механизм*, *Рукоять* агрегированные в класс *Механизм поворота ковша*, а так же *Двигатель*.

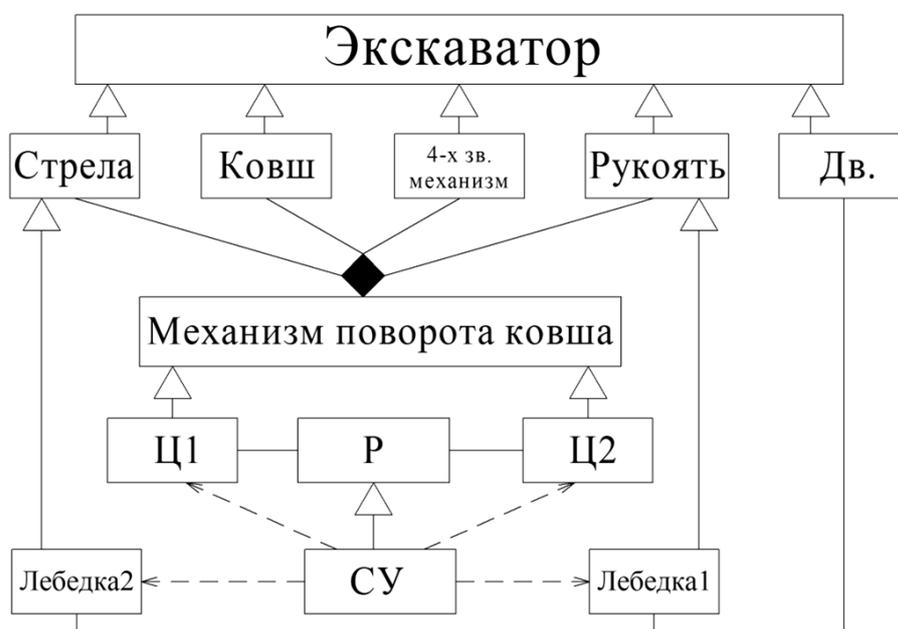


Рис. 2. – Диаграмма классов рабочего оборудования экскаватора

Классы наследники класса *Механизм поворота ковша* представляют следующий уровень иерархии: *Цилиндр 1 (Ц1)*, *Гидрораспределитель (Р)*, *Цилиндр 2 (Ц2)*, которые связаны между собой отношениями ассоциации. Далее расположились классы наследники классов *Рукоять* – *Лебедка 1* и *Стрела* –

Лебедка 2. При этом *Лебедки 1 и 2* связаны отношениями ассоциации с *Двигателем*. Наследником класса *Гидрораспределитель* является *Система управления*, имеющая отношения зависимости с *Цилиндрами 1 и 2* и *Лебедками 1 и 2*.

Оформление документации по заявке на изобретение [8] потребовало дополнить полученные в нотации *UML* решения не только результатами проведенного, в соответствии с [9], морфологического анализа и синтеза, но и исследованиями по напряженно-замкнутым кинематическим контурам [10]. Полученные решения трансформировались в следующее традиционное вербальное описание.

Инновационное рабочее оборудование одноковшового экскаватора включает стрелу, рукоять, на нижней части которой шарнирно закреплен ковш и два гидроцилиндра (без привода) управления положением ковша подключенных к гидрораспределителю. За счет введения дополнительной, в виде гидроцилиндров изменяемой длины, кинематической связи ковша с рукоятью (посредством Ц1) и (или) стрелой (посредством Ц2) реализуются усилия, возникающие в замкнутом контуре стрелы, рукояти и дополнительных гидроцилиндров и осуществляется заданный закон движения рабочего оборудования, включающий дополнительный поворот ковша относительно рукояти.

Литература:

1. Исаков, В.С. О перспективах использования одноковшовых экскаваторов с тросовой подвеской [Текст] / В.С. Исаков, Ю.В. Максимов // Новые технологии управления движением технических объектов: сб. статей по материалам 9-й Междунар. науч.-техн. конф.– Новочеркасск: Лик, 2008.- С. 59-62.

2. Буч, Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++ [Текст] / Г. Буч: Пер. с англ. – М.: Бином, 1999. – 558 с.

3. Jacobson I., Booch G., Rumbaugh J. The Unified Software Development Process. Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing Co, 1999, 512 p.
4. Свечкарев, В.П., Тымчук, Д.А. Многоагентное моделирование критических социальных поведений [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона, 2010. №1. – Режим доступа: <http://www/ivdon.ru/magazine/latest/nie2010/175/> (доступ свободный).– Загл. с экрана. – Яз. рус.
5. Волкова, В.Н. Основы теории систем и системного анализа [Текст] / В.Н. Волкова, А.А. Денисов: Учеб. для студентов вузов: Изд. 2-е. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. — 512 с.
6. Мацяшек Лешек А. Анализ требований и проектирование систем. Разработка информационных систем с использованием UML. [Текст]: Пер. с англ. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2002. — 432 с.
7. Максимов В.П. Концептуальный анализ системы мелиорирования солонцовых почв [Текст] / В.П. Максимов, В.П. Свечкарев // Известия ВУЗов. Сев.-Кавк.-регион. Техн. науки. Приложение к №1, 2005. – С. 18-21.
8. Патент РФ 2450106, МПК E02F 3/42. Рабочее оборудование ковшового экскаватора / В.С. Исаков, Ю.В. Максимов, Г.М. Симелейский; заявлено 15.10.2010; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 13. – 8 с., ил.
9. Hansen F. Konstruktionswissenschaft-Grundlagen und Methoden. Berlin: VEB. Verlag, Technik, 1976, 165 p.
10. Исаков В.С., Исакова О.В., Ерейская Е.А. О формировании нагрузочных устройств для мехатронных систем с замкнутым кинематическим контуром [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона, 2012. №2. – Режим доступа: <http://www/ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/850/> (доступ свободный).– Загл. с экрана. – Яз. рус.