

Реверсный подход к проектированию систем автоматизации производственных процессов

И. И. Каширская¹, И. Е. Воронина²
Воронежский государственный университет
¹irkashir@mail.ru, ²voronina@gmail.com

Е. Н. Десятирикова
Воронежский государственный технический
университет
science2000@ya.ru

В. Е. Магер
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
mv@qmd.spbstu.ru

Аннотация. При описании реализации технической системы используется описание последовательности ее состояний. Таким состоянием является объект с заданными характеристиками. Описан процесс разработки и реализации реверсного подхода к построению подобного объекта и математическая модель объекта и совершаемого процесса. Представлены функциональная модель в нотации IDEF0 и логическая модель в нотации IDEF1x (ER-модель) реализации реверсного подхода, области его применения (в частности, при проектировании программ обучения дисциплинам, создании образовательного контента, реинжиниринга приложений).

Ключевые слова: реверсный подход; производственный процесс; процессный подход; управление в технических системах; функциональная модель; логическая модель данных; IDEF0; IDEF1x; ER-модель; образовательный контент; проектирование программ обучения; траектория обучения

I. ВВЕДЕНИЕ

Современное проектирование – это управление реализацией последовательности состояний технической системы в развитии ее функциональных возможностей, причем таких состояний, каждое из которых характеризуется реальными (частичными) полезными результатами, которые нужны «для сегодня», и содержат возможность развития для получения результатов «для завтра».

Однако существуют многочисленные ситуации, где прямое проектирование является либо слишком сложным, либо затратным [1]. Прямое проектирование возможно, если присутствует только управляемые факторы, влияющие на деятельность, и требует полного анализа предметной области и детальных и подробных знаний об объектах и процессах этой области [2]. Кроме того, не всегда сразу могут быть определены этапы достижения конечной цели; такое определение может быть итеративным, развивающимся процессом [3]. В этом случае проектирование следующего этапа может зависеть от экспертной диагностики [4]. Следовательно, необходим подбор методов для реализации такого оценивания.

В таких случаях предлагается обратный (реверсный) процесс, заключающийся в проходе от конечной модели объекта до получения начальной модели объекта. Процесс состоит из описания всех возможных свойств и действий по преобразованию этих свойств и описания конечной модели объекта. Затем путем обратного прохода по цепочкам свойств-действий формируется начальная модель объекта и перечень действий, необходимых для получения из нее конечной модели.

II. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ РЕАЛИЗАЦИИ ПОДХОДА

Прежде чем построить математическую модель совершаемого процесса необходимо структурировать деятельность, совершаемую в ходе этого процесса. Для этого необходимо идентифицировать следующие компоненты:

- *цель деятельности.* В данном случае целью является получение с помощью реверсного подхода набора необходимых свойств объекта в начальном состоянии и набора действий, необходимых для получения объекта в конечном состоянии, при получении на входе набора желаемых свойств объекта в конечном состоянии;
- *критерий оптимизации* отражает общую цель деятельности и полностью совпадает с ней;
- *субъект (или лицо), принимающее решение (ЛПР)* – владелец процесса или субъект деятельности может быть индивидуальным или коллективным (сообщество разработчиков-аналитиков или экспертов);
- *управляемые факторы* – свойства и действия по преобразованию одних свойств в другие;
- *неуправляемые факторы* – уровень квалификации экспертов, а также соответствие полученной исходной модели объекта и реальной модели объекта (фактически это наличие предполагаемого свойства в реальной модели объекта и мера владения данным свойством (свойствами) объекта);

- *множество возможных решений (МВР)* – совокупность управляемых факторов при их конкретных значениях. В данной работе это сформированные с помощью ЛПР набор всех возможных свойств объекта и набор действий по преобразованию одного свойства в другое;
- *возможное решение* – совокупность конкретных значений управляемых факторов, принадлежащих МВР. Каждое отдельное возможное решение состоит из конкретных значений управляемых факторов (как количественных, так и качественных, измеренных в соответствующей шкале). Возможное решение представляет собой набор свойств начального состояния объекта, набор действий по получению конечного состояния объекта и, если необходимо, то и набор промежуточных свойств объекта. Качественные характеристики свойств формируются набором экспертных оценок.

На рис. 1–3 представлены некоторые диаграммы декомпозиции функциональных блоков [5] (IDEFO).

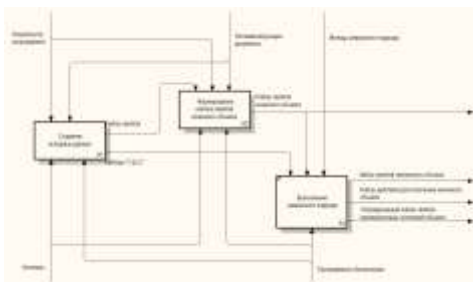


Рис. 1. Диаграмма декомпозиции функционального блока «Моделирование перехода начального объекта в конечный с использованием реверсного подхода»

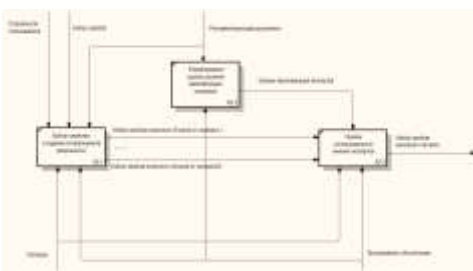


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции функционального блока «Создание исходных данных»

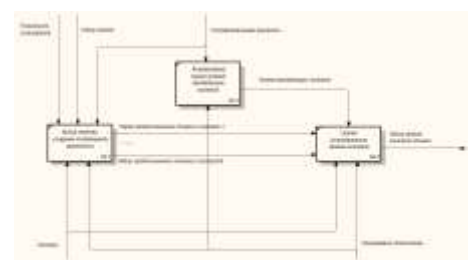


Рис. 3. Диаграмма декомпозиции функционального блока «Формирование набора свойств конечного объекта»

Сравнение полученной исходной модели объекта и реальной исходной модели производится экспертами. Перечень действий является необходимой траекторией перехода от исходной модели к конечной, а перечень промежуточных свойств может быть использован для промежуточных оценок модели [6].

III. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕАЛИЗАЦИИ РЕВЕРСНОГО ПОДХОДА

В результате анализа предметной области создается описание множества свойств и множества действий. С помощью экспертных мнений формируется множество переходов одного свойства в другое. Описывается конечная модель объекта, и с помощью обратного прохода по цепочкам свойств-действий формируется начальная модель объекта и перечень действий, необходимых для получения из нее конечной модели [4, 7].

Набор всех возможных свойств объекта будет представлен множеством $S = \{S^1, \dots, S^N\}$, где S^i – множество свойств i -го уровня детализации, а N – количество уровней детализации.

Например, при построении программ обучения уровень детализации может быть определен как набор дисциплин, или набор разделов дисциплин, или набор тем, или набор подтем. А конкретное свойство может быть для разных уровней детализации описано как «умение пользоваться редактором растровой графики», или более детально – «умение создавать векторное выделение объекта в растровом редакторе», или «умение пользоваться быстрой маской».

Определим как множество свойств заданного уровня детализации множество $S^i = \{s_0^i, \dots, s_N^i\}$, где элемент s_j^i ($j=1..N$) представляет собой j -е свойство i -го уровня детализации, а N – количество свойств i -го уровня. Элемент s_0^i является особым «пустым» свойством – например, «отсутствие требования некоторых начальных навыков».

Для преобразования свойств одного в другое создается множество D , описывающее набор действий, переводящих одно свойство в другое (например, реализация какой-либо функции программного обеспечения, или некоторая дисциплина, мастер-класс, решение конкретного задания, или название изучаемой темы).

Множество $D = \{d_0, \dots, d_N\}$, где элемент d_i ($i=1..N$) представляет собой i -е действие, а N – количество таких действий. Элемент d_0 является особым «пустым» действием, которое будет использоваться в том случае, если набор необходимых действий не важен при получении результата процесса, а результатом процесса должен быть набор всех полученных свойств объекта в промежуточных состояниях.

Создадим множество векторов $P = \{p_1, \dots, p_N\}$, где $p_t = \{s_j^i, d_m, s_r^i\}$ ($t=1..N$). Данное множество описывает

все преобразования одного свойства в другое с помощью некоторого действия. Заметим, что d_m может быть использовано неограниченное количество раз для разных значений j и r , то есть с помощью одинакового действия могут быть преобразованы друг в друга абсолютно разные пары свойств. Схема представлена на рис. 4.

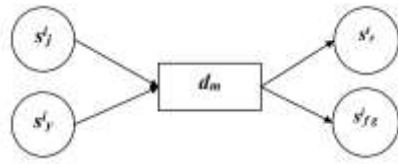


Рис. 4. Схема преобразования двух пар свойств с помощью одного действия

При выборе действия d_m из множества D , преобразующего свойство s_j^i в свойство s_r^i , необходимо учитывать качественные характеристики обоих свойств. Так, s_{jk}^i – j -е свойство i -го уровня детализации, где k является его качественной характеристикой и рассчитывается с помощью функции $K(s_j^i)$, определяемой далее. Поэтому d_m преобразует свойство s_{jk}^i в свойство s_{rn}^i , где k и n – качественные характеристики свойств s_j^i и s_r^i соответственно.

Предполагается, что если действие d_m преобразовывает свойство s_{jk}^i в свойство s_{rn}^i (при этом k по отношению к n может быть любым), то это же действие может быть использовано и для получения свойства s_{rp}^i , где качественные характеристики p принимают значения от 1 до $n-1$. Схема представлена на рис. 5.

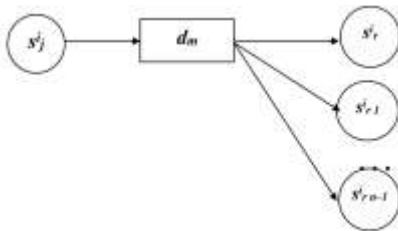


Рис. 5. Схема преобразования одного свойства в другое

Таким образом, множество P в окончательном варианте будет представлять собой $P = \{p_1, \dots, p_N\}$, где $p_t = \{s_{jk}^i, d_m, s_{r1}^i\}, \dots, \{s_{jk}^i, d_m, s_{rN}^i\}$ ($t=1 \dots N$).

Определим оценочную функцию $K(x)$, где x – некоторое свойство конкретного уровня детализации. Функция возвращает качественную характеристику переданного параметра – вариацию или меру свойства (например, степень овладения данным свойством – перечисление «слабое, удовлетворительное, хорошее, полное» или процентное значение). В данной работе $K(x) \in [0,1]$. При подсчете характеристики используется метод экспертных оценок.

Существует некоторое количество экспертов M , каждый i -й эксперт характеризуется коэффициентом квалификации q_i (его значения от 0 до 1), который либо задается ЛПР, либо рассчитывается с помощью экспертных оценок уровня компетентности эксперта.

Для формирования конечного набора S' (набор свойств, описывающих конечное состояние объекта) используется мнение экспертов, выраженное в виде оценки необходимости каждого из свойств в наборе. Под конечным набором будем подразумевать набор i -го уровня детализации; таким образом, конечный набор $S' \subset S^i$.

Определим функцию $U(l, s_{jk}^i)$ как численную характеристику уверенности l -го эксперта в необходимости свойства s_{jk}^i , где i – уровень детализации, j – номер свойства, а k – качественная характеристика свойства. $U(l, s_{jk}^i) \in [0,1]$. Таким образом, свойство s_j попадает в множество S' , если выполняется неравенство формулы

$$\frac{\sum_{i=1}^N U(l, s_{jk}^i)}{N} \geq M \quad \text{где } M \in [0.5, 1] \text{ и подбирается}$$

эмпирически ЛПР.

Для более точной M (оценки важности свойства s_{jk}^i) или в случае несогласованности мнений экспертов можно использовать различные меры разброса.

В результате реверсного прохода от элементов множества S' с помощью элементов-векторов множества P будет сформировано возможное решение, представленное множеством B (набор начальных свойств объекта; $B \subset S^i$), множеством D' (набор действий; $D' \subset D^i$) и, в случае необходимости, множеством промежуточных свойств объекта I ($I \subset S^i$).

Множество B представляет собой вектор $\{b_1, \dots, b_N\}$, полученный результирующей выборкой по первому элементу векторов из множества P (также в выборке удаляются дубликаты). Если $b_x = s_{jk}^i$, $b_y = s_{jn}^i$, $b_z = s_{jm}^i$, и при этом $k < n < m$, то из выборки будут удалены элементы b_y и b_z , т. е. в результирующую выборку войдет s_{jk}^i , где $h = \min(k, n, m)$.

Множество D' представляет собой единичный элемент $\{d_0\}$ (если, по решению ЛПР, набор действий не является необходимым, но необходим набор промежуточных состояний I) или вектор $\{d_1, \dots, d_N\}$, полученный результирующей выборкой по d из множества P (также в выборке удаляются дубликаты).

Множество I представляет собой вектор $\{i_1, \dots, i_N\}$, полученный результирующей выборкой по первому и третьему элементу векторов из множества P (также

в выборке удаляются дубликаты). Если $i_x = s_{jk}^i$, $i_y = s_{jn}^i$, $i_z = s_{jm}^i$, и при этом $k < n < m$, то из выборки будет удалены элементы i_x и i_y , т. е. в результирующую выборку войдет s_{jh}^i , где $h = \max(k, n, m)$.

Упорядочивание элементов векторов B , D и I происходит в обратном (для порядка реверсного подхода) порядке.

Для формирования набора свойств, набора действий для преобразования свойств и конечного состояния объекта используются экспертные оценки. При реализации реверсного подхода эксперт принимает участие в формировании множества S (набора всех возможных свойств объекта), множества D (набора всех возможных действий по преобразованию одного свойства в другое), множества P (наборы вида *Свойство1–Действие–Свойство2*) и множества S' (набора свойств объекта в конечном состоянии).

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ И ПРИМЕНЕНИЕ

На рис. 6 представлена логическая модель данных, сгенерированная в рамках описанного реверсного подхода.

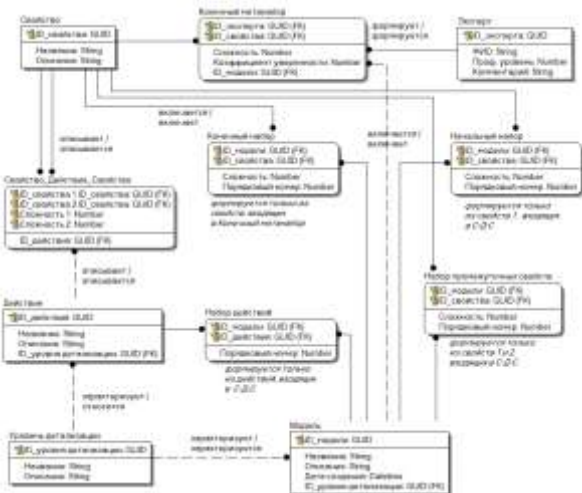


Рис. 6. Логическая модель данных в нотации IDEF1x

Данная модель является исходной информацией для создания приложений, реализующих реверсный подход. Предложенный подход может быть использован при проектировании программ получения профессиональных

навыков и компетенций, индивидуальных траекторий обучения, при проектировании программных продуктов, в SEO для реинжиниринга существующих приложений и повышения конверсии [8, 9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Desyatirikova E.N., Belousov V.E., Zolotarev V.N., Lavlinskaia O.Yu. "Design process of software quality management" // 2017 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", IT and QM and IS 2017, 2017, стр. 496-499.
- [2] Lavlinskaya O.Yu., Chernenkii A.V., Desyatirikov F.A., Kuripta O.V., Seregin V.I. "Probability Model of Situational Decision-Making under the Influence of Subjective Factors" // 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 26-29 Jan. 2021, St. Petersburg, Moscow, Russia DOI: 10.1109/EIConRus51938.2021.9396589
- [3] Mager V.E., Horoshilova O.V., Kavyrshina O.A., Desyatirikova E.N., Belousov V.E. "Information Analysis and Synthesis of Organizational Structure of the Unique Project" // 2018 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", IT and QM and IS 2018, 24-28 Sept. 2018 DOI: 10.1109/ITMQIS.2018.8524925
- [4] Desyatirikova E.N., Kuripta O.V., Stroganova Y.S., Abrosimov I.P. "Quality management in IT service management based on statistical aggregation and decomposition approach" // 2017 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", IT and QM and IS 2017, 2017, стр. 500-505, 8085871
- [5] Каширская И.И. Реализация реверсного подхода к проектированию объекта с заданными свойствами: функциональная модель и логическая модель данных. // Информатика: проблемы, методы, технологии. Материалы XXI Международной научно-методической конференции. Воронеж, 11–12 февраля 2021 г. С. 1208–1218.
- [6] Каширская И.И. Реверсный подход к процедуре построения объекта с заданными атрибутами // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики : сборник трудов Международной научной конференции, Воронеж, 17–19 декабря 2018 г. С. 1572–1575.
- [7] Каширская И.И. Пример формирования исходной информации для построения модели объекта с использованием реверсного подхода / И.И. Каширская // Информатика: проблемы, методология, технологии: сборник материалов XIX Международной научно-методической конференции, Воронеж, 14–15 февраля 2019 г. С. 96–100.
- [8] Каширская И.И. Модель бизнес-процессов с использованием реверсного подхода // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. Сборник трудов Международной научной конференции. Воронеж, 7–9 декабря 2020 г. С. 378–381.
- [9] Lutin V.I., Khripunov Yu.V., Desyatirikova E.N., Myshovskaya L.P., Lapsina K.N. "Automatic Quality Control of Processes in the Online Educational Environment" // 2019 IEEE International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies IT and QM and IS 2019, 2019, стр. 634-638, 8928311