

# Несовершенство понятийного базиса технологий обратного проектирования в жизненном цикле сложных систем

С.В. Карбовский

**Аннотация**—Статья посвящена развитию современного понятия обратного проектирования. Необходимость развития терминологии вызвана неоднозначностью термина «обратное проектирование», которая связана с многообразием объектов обратного проектирования в различных отраслях. Существующая терминологическая путаница осложняет взаимодействие специалистов из различных отраслей. Для решения данной проблемы проведен анализ литературных источников, содержащих определение обратного проектирования. В результате анализа составлена классификация интерпретаций обратного проектирования. В статье показано, что существует три основных контекста употребления термина «обратное проектирование»: копирование изделия, восстановление конструкторской документации изделия, моделирование системы. Произведен краткий обзор каждой интерпретации обратного проектирования на основе анализа ключевых для соответствующего контекста публикаций. Установлены отличительные особенности каждого контекста, выделены типичные определения обратного проектирования. Наконец, выдвинуто определение обратного проектирования как процесса параметризации частных моделей сложной системы. Статья предназначена для специалистов в области системного анализа, а также для исследователей и практиков в области обратного проектирования.

**Ключевые слова**—обратное проектирование, восстановление документации, параметризация моделей, трансфер технологий, понимание системы, прототипирование изделий.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Необходимость конкретизации понятия обратного проектирования (англ. «reverse engineering») обусловлена наличием проблемы различного толкования данного понятия различными техническими специалистами. В настоящее время термин «reverse engineering» имеет большую популярность и используется по отношению как к техническим, так и к нетехническим системам. За время своего существования термин пережил несколько этапов развития. Маскируя поначалу не вполне легальную практику, в данное время термин обозначает полезный,

в ряде случаев необходимый процесс. Тем не менее, более ранние определения обратного проектирования сохранились в неизменном виде в отдельных отраслях. Кроме того, неформальные отраслевые определения в отдельных случаях противоречат друг другу, что создает терминологическую путаницу. Возрастающий интерес к обратному проектированию (см. рисунок 1) требует однозначности понятийного аппарата.

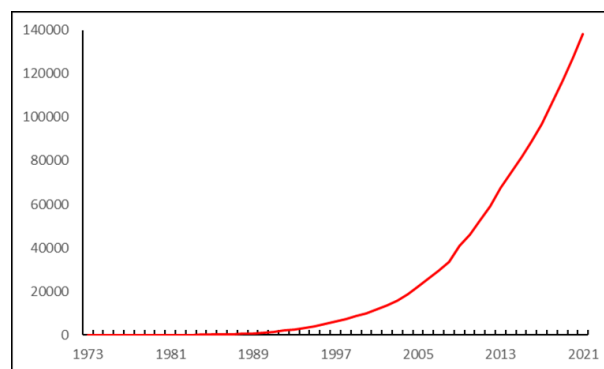


Рис. 1 – Статистика публикаций по запросу «reverse engineering» (по данным [1])

В отечественной литературе встречается несколько вариантов перевода термина «reverse engineering». Более того, в некоторых работах [2, 3] несколько вариантов перевода используются одновременно, что лишь усиливает существующую терминологическую путаницу. В данной статье используется перевод «обратное проектирование» по соображениям сохранения отечественного инженерного дискурса [4]. Настоящая статья, не претендуя на построение таксономии, подобной [5], ставит **целью** заполнить указанный пробел и сформулировать общесистемное определение обратного проектирования. Для достижения данной цели предпринят краткий обзор существующих интерпретаций означенного понятия.

## II. МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обратное проектирование применяется во многих отраслях народного хозяйства, например, в машиностроении (в частности, в приборостроении), в транспортной и химической отраслях промышленности,

в биоинформатике и фармакологии, и др. Хотя обратное проектирование является распространенной практикой, существующие определения обратного проектирования имеют отраслевые особенности, что не позволяет проводить их непосредственное сопоставление. Например, под обратным проектированием в машиностроении может пониматься трехмерное сканирование детали для изготовления ее аналога [6], а в разработке программного обеспечения – декомпиляция программы для восстановления утраченной документации [7].

Приведенный пример иллюстрирует отраслевые отличия в объекте обратного проектирования (система, подвергаемая обратному проектированию), а также в применяемых инструментах, определяющих возможные действия в ходе обратного проектирования. Важно отметить также следующее наблюдение. Хотя цели обратного проектирования в описанном примере различаются, данное отличие не является характеристикой отрасли. Возможно проводить сканирование детали для восстановления утраченной конструкторской документации, как и декомпилировать компьютерную программу для создания ее аналога.

Таким образом, для построения однозначного и непротиворечивого понятия обратного проектирования необходимо сопоставить определения обратного проектирования относительно контекста, в котором употребляется соответствующий термин, абстрагируясь при этом от особенностей отрасли, в которой приняты данные определения. Для этого произведен анализ литературных источников, в которых дается определение обратному проектированию. Результат анализа сведен в классификацию, изображенную на рисунке 2.

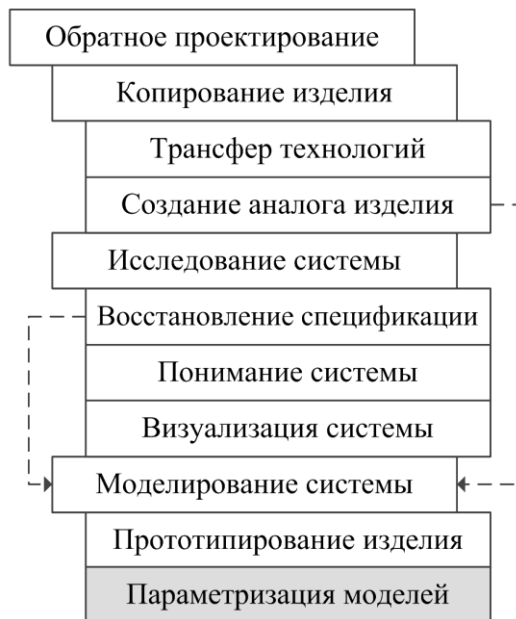


Рис. 2 – классификация контекстов обратного проектирования

Установлено, что понятие обратного проектирования

существует в трех основных контекстах – копирования, исследования и моделирования, соответственно. Каждый контекст имеет дополнительные интерпретации, уточняющие содержание понятия обратного проектирования. Пунктирные стрелки отражают влияние, оказанное исторически более ранними интерпретациями обратного проектирования.

Наиболее современная интерпретация обратного проектирования заключена в прямоугольник в нижней части схемы (в данной интерпретации обратное проектирование является процессом параметризации модели сложной системы данными, полученными при изучении образцов данной системы). Далее приведен краткий обзор выявленных контекстов обратного проектирования.

#### А. Копирование изделия

Термин «обратное проектирование» имеет американское происхождение; ранние публикации используют данный термин как синоним промышленного шпионажа. Обратное проектирование в данной интерпретации воспринимается как единичное событие, направленное на копирование некоторого (обычно импортного) изделия или технологического процесса по его созданию. Приведем несколько определений обратного проектирования этого периода:

- разборка некоторой машины для определения ее внутреннего устройства и последующего воспроизведения ее точной копии [8];
- работа в противоположном направлении относительно сделанного другими и попытка сделать то же самое для себя [9];
- разборка недавно импортированных устройств и оборудования для изучения принципов его работы и, в некоторых случаях, его копирования [10].

Первые документированные случаи упоминания обратного проектирования показывают неоднозначную оценку данного явления авторами. С одной стороны, известно, что термин «обратное проектирование» появился в 60-х годах XX века в правительственных кругах США [11] как эвфемизм для нелегального копирования американского оборудования в Японии [8, 12], Китае [13] и СССР [14]. С другой стороны, в публикациях данного периода отмечаются положительные эффекты от применения обратного проектирования:

- развитие собственных технологий в странах третьего мира [10, 15];
- заимствование ноу-хау с целью увеличения скорости механизации труда [16];
- ограничение влияния транснациональных корпораций на экономику развивающихся стран [17].

В ряде отчетов для Центра технической информации Минобороны США 70-х годов XX века обратное проектирование также упоминается в контексте трансфера технологий. В отчетах отмечается высокая сложность обратного проектирования [14, 18], а также

содержатся рекомендации по проведению обратного проектирования при трансфере военных технологий внутри блока НАТО [19, 20].

Характерным примером задачи разработки аналога с помощью обратного проектирования является советский проект по созданию компьютера ЕС ЭВМ. Исследователи, называя данный проект копированием технологии [21], тем не менее, отмечают, что при создании ЕС ЭВМ было выполнено не точное копирование оригинального компьютера компании IBM, а создание функционально подобного устройства, совместимого с оригиналом по системе команд и интерфейсам [22, 23].

В настоящее время обратное проектирование используется для создания аналогов не только в сферах машиностроения [24, 25] и электроники [26], но и в других областях:

- в фармакологии при создании биоаналогов лекарственных препаратов [27, 28];
- в пищевой промышленности для идентификации рецептов и техпроцессов приготовления пищи [29];
- в культурологии при создании репродукций художественных изделий [30, 31].

Единых этических норм обратного проектирования к настоящему моменту не сформировано. Существуют аргументы в поддержку различных оценочных суждений. Отдельные публикации аргументируют допустимость обратного проектирования, нарушающего права интеллектуальной собственности, для обеспечения альтернативы дорогостоящему ремонту [32] или лечению [33]. Кроме того, некоторые исследователи производят этическую оценку обратного проектирования с позиций религиозной морали [34].

#### *В. Восстановление конструкторской документации*

В данной интерпретации термина «обратное проектирование» акцент смещается с копирования изделий на их анализ. В этом отношении значение термина «обратное проектирование» приближается к восстановлению спецификации (англ. «design recovery») [4, 34] и, в частности, пониманию систем (англ. «system comprehension» или «system understanding») [36–38]. Некоторые исследователи [39, 40], кроме того, интерпретируют обратное проектирование как визуализацию системы. Далее приведены типичные определения обратного проектирования в данной интерпретации:

- процесс определения спецификации сложной аппаратной системы с помощью упорядоченного изучения образцов данной системы [41, 42];
- процесс анализа системы, направленный на идентификацию компонентов данной системы и их взаимосвязей, а также на создание абстрактных описаний исследуемой системы [5, 43];
- процесс реконструкции архитектурной информации из существующей системы посредством изучения структуры и поведения данной системы [44];

- совокупность операций, направленных на восстановление или раскрытие конструкторской и/или технологической документации на изделие по его образцу, включая извлечение той или иной информации: программ, ключей, и т.д. [45].

Обратное проектирование как восстановление спецификаций получило наибольшее распространение в анализе программного [5] и аппаратного [42] обеспечения. В данных областях оно применяется в различных процессах жизненного цикла технических систем:

- при создании архитектуры [35, 46];
- при модификации систем [47, 48];
- при поддержке унаследованных систем [48, 49];
- при оценке качества и безопасности [50, 51];
- при валидации и верификации [52, 53].

Более подробно применение обратного проектирования в рамках жизненного цикла программного обеспечения рассмотрено в [43], а через призму существующих инструментов – в [54]. Обратное проектирование в контексте понимания программного обеспечения и его визуализации всесторонне рассмотрено в [55]. Обзор подходов к обратному проектированию аппаратного обеспечения представлен в [56]. Кроме того, для более подробного ознакомления с рассмотренной интерпретацией обратного проектирования рекомендуется опираться на библиографию [44, 57].

#### *С. Моделирование системы*

Данный контекст включает интерпретации обратного проектирования, которые можно характеризовать следующим утверждением: *результатом обратного проектирования некоторой системы является модель данной системы*. Иными словами, обратное проектирование в данной интерпретации направлено на построение абстрактных схем устройства и функционирования исследуемых систем.

Преимущество данной интерпретации по отношению к ранее рассмотренным интерпретациям обусловлено большей гибкостью модели системы по сравнению с документацией или копией системы [58]. Так, модель, полученная с помощью обратного проектирования одной системы, может служить основой для создания семейства прототипов другой [59]. Далее, полученная модель может быть параметризована [60]. Наконец, модель может быть использована вместо объекта обратного проектирования в его надсистеме [61].

Распространенным сценарием применения обратного проектирования в данной интерпретации является геометрическое моделирование механических деталей. При этом осуществляется 3D-сканирование детали и преобразование полученного облака точек в CAD-модель детали. Полученная модель допускает параметризацию и может быть использована в дальнейшем многократно. Исчерпывающий обзор данного направления представлен в обзорах [62, 63].

Интерпретация обратного проектирования как моделирования также позволяет исследовать нетехнические системы. Так, в системной биологии и биоинформатике цель обратного проектирования – вывести, проанализировать и понять функциональные и регуляторные механизмы некоторой биологической системы [64]. Иными словами, в ходе обратного проектирования необходимо сделать выводы о неизвестной системе по некоторым данным о ней [65]. Для более подробного ознакомления с ролью обратного проектирования в системной биологии рекомендуются обзорные работы [66, 67].

Кроме того, существует подход к обратному проектированию, ориентированный на использование моделей (англ. «Model-driven Reverse Engineering», MDRE). Данный подход предполагает создание формальных спецификаций моделируемой системы и ее окружения с последующей верификацией полученных моделей [68]. В процессе обратного проектирования модели насыщаются данными, а также претерпевают трансформации в соответствии с predetermined правилами и общесистемными метамоделями [69].

### III. ОБЩЕСИСТЕМНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБРАТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Рассмотренные интерпретации обратного проектирования обладают следующим сходством. Вне зависимости от преследуемых целей и отраслевой специфики, обязательной составляющей процесса обратного проектирования является добытие информации об объекте обратного проектирования непосредственно из этого объекта, а также обработка добытой информации. Иными словами, обратное проектирование носит поисково-аналитический характер.

Добытая информация представляется в виде фактов и описывает структуру и поведение объекта обратного проектирования. Обработка добытой информации приводит к построению и параметризации описаний (не во всех интерпретациях данные описания называются моделями), характеризующих структуру и поведение соответствующих элементов исследуемой системы.

Практика показывает, что обратное проектирование в общем случае не является исчерпывающим, т.е. не преследует цель построить полную модель исследуемой системы. Напротив, цель обратного проектирования часто формулируется в виде вопроса о структуре или поведении объекта обратного проектирования. Результатом обратного проектирования, таким образом, является модель, отвечающая на заданный об исследуемой системе вопрос.

В обобщение сказанного сформулируем следующее определение: *обратное проектирование – процесс параметризации частных структурных и поведенческих моделей исследуемой системы с помощью анализа информации, добытой непосредственно из данной системы.*

Нетрудно заметить, что предлагаемое определение допустимо не только в контексте моделирования. Так, при создании копии или аналога изделия необходимо сформулировать соответствующий технологический процесс, что, в свою очередь, требует настройки параметров средств производства. Предлагаемое определение обратного проектирования в явном виде позволяет установить взаимосвязи между параметрами средств производства и искомыми параметрами изделия, а также моделями, представляющими данные взаимосвязи, и целями обратного проектирования. Аналогично, необходимость в репрезентативных моделях возникает и в задачах восстановления документации и понимания системы. Модели в таких задачах должны лаконично и точно отражать интересующие исследователя характеристики системы. Иными словами, в указанных задачах обратное проектирование также может быть определено как процесс параметризации частных моделей.

### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье предложено определение обратного проектирования, не зависящее от рода исследуемой системы и целей проекта, в рамках которого применяется обратное проектирование. Согласно данному определению, обратное проектирование является процессом параметризации частных моделей исследуемой системы на основе анализа добытых об этой системе фактов. Использование данного определения несет ряд преимуществ. Для академического сообщества главное преимущество заключается в возможности сопоставления моделей и методов обратного проектирования в разных отраслях. Преимущество для специалистов в области системного анализа и обратного проектирования состоит в возможности расширения системного подхода и описания разнородных систем в едином терминологическом контексте.

Перспективным направлением для дальнейшего исследования является построение формальной модели процесса обратного проектирования, опирающейся на предлагаемое определение. В частности, значимым компонентом такой модели должно быть описание цели обратного проектирования в виде вопроса. Другим важным направлением является исследование взаимосвязей между частными моделями объекта обратного проектирования и вопросов композиции частных моделей.

### БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Dimensions. Reverse engineering in Publications – overview [сайт] //Dimensions. URL: [https://app.dimensions.ai/analytics/publication/overview/timeline?search\\_mode=content&search\\_text="reverse%20engineering"&search\\_type=kws&search\\_field=full\\_search](https://app.dimensions.ai/analytics/publication/overview/timeline?search_mode=content&search_text=) (дата обращения: 28.02.2022)
- [2] Анисимова Н.С., Назарова О.Б. Case-средства для проектирования баз данных: обзор и краткая характеристика //Наука. Информатизация. Технологии. Образование: Материалы XI междунар. науч.-практической конф.-Екатеринбург. – 2018. – С. 472.

- [3] Маханькова Н.А. Барьеры трансфера технологий и пути их преодоления в современной России //Научные исследования экономического факультета. Электронный журнал. – 2018. – Т. 10. – №. 3. – С. 27-37.
- [4] Черкасова М.Н. Роль иностранных слов в инженерном дискурсе (на материале преподавания английского языка) //Преподаватель высшей школы в XXI веке. – 2017. – С. 63-68.
- [5] Chikofsky E.J., Cross J.H. Reverse engineering and design recovery: a taxonomy // IEEE Softw. 1990. Т. 7. № 1. С. 13–17.
- [6] Тулупов Д.С. Щит и меч против санкций //Россия в глобальной политике. – 2016. – Т. 14. – №. 1. – С. 77-87.
- [7] Деревенец Е.О., Трошина Е.Н. Структурный анализ в задаче декомпиляции //Прикладная информатика. – 2009. – №. 4. – С. 87-99.
- [8] Spencer D.L. An external military presence, technological transfer, and structural change // *Kyklos* (Oxford). 1965. Т. 18. № 3. С. 451–474.
- [9] Levitt T. Innovative Imitation // *Harvard Business Review*, 1966. - № 5. С. 63-70.
- [10] Cooper C. Science, technology and production in the underdeveloped countries: An introduction // *J. Dev. Stud.* 1972. Т. 9. № 1. С. 1–18.
- [11] Harris R.M. Trade Secrets as They Affect the Government // *Bus. Law.* – 1962. – Т.18 – С.613
- [12] Spencer D.L., Woroniak A. The feasibility of developing transfer of technology functions // *Kyklos* (Oxford). 1967. Т. 20. № 4. С. 431–459.
- [13] The Chinese machine-building industry // *China Q.* 1970. Т. 43. С. 130–133.
- [14] Kahn H. et al. National security policy issues in US-Soviet technology transfer. Fort Belvoir, VA: Defense Technical Information Center, 1974.
- [15] Majumdar B.A. Technology transfers and international competitiveness: The case of electronic calculators // *J. Int. Bus. Stud.* 1980. Vol. 11, № 2. P. 103–110.
- [16] Ullerich C. Rural employment & manpower problems in China. : Routledge, 1979.
- [17] Joelson M.R. United States Law and the Proposed Code of Conduct on the Transfer of Technology // *Antitrust Bull.* – 1978. – Т. 23. – С. 835.
- [18] Gessert R.A. et al. NATO standardization and technology transfer. Volume 2. Main report. Fort Belvoir, VA: Defense Technical Information Center, 1977.
- [19] Kozemchak P.S. Method, myth and model: Analysis and the international transfer of technology. Fort Belvoir, VA: Defense Technical Information Center, 1975.
- [20] Williams W.B. et al. NATO standardization and interoperability - handbook of lessons learned. Fort Belvoir, VA: Defense Technical Information Center, 1978.
- [21] Davis N.C., Goodman S.E. The Soviet bloc's unified system of computers // *ACM Computing Surveys* (CSUR). – 1978. – Т. 10. – №. 2. – С. 93-122.
- [22] Goodman S.E. Soviet computing and technology transfer: an overview // *World Politics.* – 1979. – Т. 31. – №. 4. – С. 539-570.
- [23] Koenig R.A. An evaluation of the East German RYAD 1040 system // *Proceedings of the June 7-10, 1976, national computer conference and exposition.* – 1976. – С. 337-340.
- [24] Ильин А.А. и др. Опыт использования технологии прототипирования для изготовления деталей авиационных агрегатов // *Литейное производство.* – 2007. – №. 6. – С. 39-41.
- [25] Наумкин Н.И., Кильмашкин Е.А., Зайцев В.Д. Обратное проектирование механических систем-важный этап создания инновационных продуктов // *XLIV Огаревские чтения.* – 2016. – С. 275-279.
- [26] Ахрамович И.Л., Жулинский С.Ф., Ковалев Б.М. Электронная компонентная база: предотвратить проникновение контрафакта // *Стандарты и качество.* – 2014. – №. 8. – С. 62-65.
- [27] Ниязов Р. Р. и др. Биоаналоги: разработка и изучение с помощью современных биотехнологий // *Сахарный диабет.* – 2020. – Т. 23. – №. 6. – С. 551-563.
- [28] Ниязов Р.Р. и др. Биоаналоги: воспроизведение клинического профиля с помощью современных биотехнологий // *Ремедиум.* – 2021. – №. 2. – С. 8-24.
- [29] Коновалов К.Л. и др. Технологическое предвидение в пищевых отраслях // *Переработка молока.* – 2012. – №. 7. – С. 18-23.
- [30] Коржов Е.Г. Копирование архитектурных и скульптурных памятников средствами сканирующих технологий // *Дизайн. Материалы. Технология.* – 2009. – №. 2. – С. 94-100.
- [31] Писаренко М.И., Сотников Н.Н. Фотограмметрия-инструмент воспроизведения художественных объектов // *Gaudeamus Igitur.* – 2016. – №. 1. – С. 59-62.
- [32] Berning J. Tractor-Hacking Farmers Take on John Deere [статья] // *FreeThink.* Дата публикации: 05.02.2021. URL: <https://www.freethink.com/shows/coded/season-3/tractor-hacking> (дата обращения: 28.02.2022)
- [33] Koebler J. I am Possibly Alive Because It Exists: Why Sleep Apnea Patients Rely on a CPAP Machine Hacker [статья] // *Vice.* Дата публикации: 15.11.2018. URL: <https://www.vice.com/en/article/xwjd4w/im-possibly-alive-because-it-exists-why-sleep-apnea-patients-rely-on-a-cpap-machine-hacker> (дата обращения: 28.02.2022)
- [34] Perkins D. Moral Perspective Reverse Engineering // *Journal of Business, Technology and Leadership.* – 2019. – Т. 1. – №. 1.
- [35] Biggerstaff T.J. Design recovery for maintenance and reuse // *Computer.* – 1989. – Т. 22. – №. 7. – С. 36-49.
- [36] Müller H.A. et al. A reverse-engineering approach to subsystem structure identification // *Journal of Software Maintenance: Research and Practice.* – 1993. – Т. 5. – №. 4. – С. 181-204.
- [37] Müller H.A., Wong K., Tilley S.R. Understanding software systems using reverse engineering technology // *Object-Oriented Technology for Database and Software Systems.* – 1995. – С. 240-252.
- [38] Tilley S.R. et al. Programmable reverse engineering // *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering.* – 1994. – Т. 4. – №. 04. – С. 501-520.
- [39] Canfora G., Di Penta M. New frontiers of reverse engineering // *Future of Software Engineering (FOSE'07).* – IEEE, 2007. – С. 326-341.
- [40] Koschke R. Software visualization in software maintenance, reverse engineering, and reengineering: a research survey // *Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice.* – 2003. – Т. 15. – №. 2. – С. 87-109.
- [41] Hansen M.C., Yalcin H., Hayes J.P. Unveiling the ISCAS-85 benchmarks: A case study in reverse engineering // *IEEE Design & Test of Computers.* – 1999. – Т. 16. – №. 3. – С. 72-80.
- [42] Rehoff M.G. On reverse engineering // *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics.* – 1985. – №. 2. – С. 244-252.
- [43] Chikofsky E.J., Cross J.H., May Jr C.H. Reverse engineering // *Advances in Computers.* – Elsevier, 1992. – Т. 35. – С. 199-254.
- [44] Koschke R. Architecture reconstruction // *Software Engineering.* – Springer, Berlin, Heidelberg, 2007. – С. 140-173.
- [45] Белов Е.Н. и др. Перспективные технологии защиты микросхем от обратного проектирования в контексте информационной безопасности // *М.: Технофера.* – 2017.
- [46] Harris D.R., Reubenstein H.B., Yeh A.S. Reverse engineering to the architectural level // *1995 17th International Conference on Software Engineering.* – IEEE, 1995. – С. 186.
- [47] Мансуров Н.Н. Архитектурно-управляемая модернизация существующего программного обеспечения // *Труды Института системного программирования РАН.* – 2004. – Т. 5. – С. 227-248.
- [48] Moraga M., Zhao Y.Y. Reverse engineering a legacy software in a complex system: A systems engineering approach // *INCOSE International Symposium.* – 2018. – Т. 28. – №. 1. – С. 1250-1264.
- [49] Aiken P., Muntz A., Richards R. DoD legacy systems: Reverse engineering data requirements // *Commun. ACM.* – 1994. – Т. 37. – №. 5. – С. 26-41.
- [50] Bafleur M., Buxo J. Reliability assessment of integrated circuits through reverse engineering techniques // *Microelectronics Journal.* – 1986. – Т. 17. – №. 4. – С. 11-26.
- [51] Naresky J.J. Microcircuit reliability characterization // *Risk and Failure Analysis for Improved Performance and Reliability.* – Springer, Boston, MA, 1980. – С. 281-302.
- [52] Бурдонов И.Б. и др. Формальные спецификации в технологиях обратной инженерии и верификации программ // *Труды Института системного программирования РАН.* – 2000. – Т. 1. – С. 39-54.
- [53] Долгова К.Н., Чернов А.В. О некоторых задачах обратной инженерии // *Труды Института системного программирования РАН.* – 2008. – Т. 15. – С. 119-134.
- [54] Kienle H.M., Müller H.A. The tools perspective on software reverse engineering: requirements, construction, and evaluation // *Advances in Computers.* – Elsevier, 2010. – Т. 79. – С. 189-290.
- [55] Ghaleb T., Alturki M.A., Aljasser K. Program comprehension through reverse-engineered sequence diagrams: A systematic review // *Journal of Software: Evolution and Process.* – 2018. – Т.30. – №. 11.
- [56] Quadir S.E. et al. A survey on chip to system reverse engineering // *ACM journal on emerging technologies in computing systems (JETC).* – 2016. – Т. 13. – №. 1. – С. 1-34.
- [57] van den Brand M.G.J., Klint P., Verhoef C. Reverse engineering and system renovation—an annotated bibliography // *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes.* – 1997. – Т. 22. – №. 1. – С. 57-68.
- [58] Боровков А.И. и др. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК // *Вестник Восточно-Сибирской открытой академии.* – 2019. – №. 32. – С. 2-2.

- [59] Lee K.H., Woo H. Direct integration of reverse engineering and rapid prototyping //Computers & Industrial Engineering. – 2000. – Т. 38. – №. 1. – С. 21-38.
- [60] Кузьмичев В.Е., Сахарова Н.А., Чжан Ш. Проектирование цифровых двойников исторических систем" фигура-костюм" //Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019. – Т. 6. – №. 384. – С. 9-15.
- [61] Ayani M., Ganebäck M., Ng A.H.C. Digital Twin: Applying emulation for machine reconditioning //Procedia Cirp. – 2018. – Т. 72. – С. 243-248.
- [62] Buonamici F. et al. Reverse engineering modeling methods and tools: a survey //Computer-Aided Design and Applications. – 2018. – Т. 15. – №. 3. – С. 443-464.
- [63] Geng Z., Bidanda B. Review of reverse engineering systems–current state of the art //Virtual and Physical Prototyping. – 2017. – Т. 12. – №. 2. – С. 161-172.
- [64] Villaverde A.F., Banga J.R. Reverse engineering and identification in systems biology: strategies, perspectives and challenges //Journal of the Royal Society Interface. – 2014. – Т. 11. – №. 91.
- [65] D'haeseleer P., Liang S., Somogyi R. Genetic network inference: from co-expression clustering to reverse engineering //Bioinformatics. – 2000. – Т. 16. – №. 8. – С. 707-726.
- [66] Qinfeng W. et al. Tools to reverse-engineer multicellular systems: case studies using the fruit fly //Journal of Biological Engineering. – 2019. – Т. 13. – №. 1. – С. 1-16.
- [67] Villaverde A.F., Ross J., Banga J.R. Reverse engineering cellular networks with information theoretic methods //Cells. – 2013. – Т. 2. – №. 2. – С. 306-329.
- [68] Rugaber S., Stirewalt K. Model-driven reverse engineering //IEEE software. – 2004. – Т. 21. – №. 4. – С. 45-53.
- [69] Raibulet C., Fontana F. A., Zannoni M. Model-driven reverse engineering approaches: A systematic literature review //IEEE Access. – 2017. – Т. 5. – С. 14516-14542.

# Reverse Engineering Conceptual Framework Imperfectness During the Complex Systems Lifecycle

S.V. Karbovskiy

**Abstract**—The article is devoted to the development of the modern concept of reverse engineering. The need to develop terminology is caused by the ambiguity of the term «reverse engineering» which is associated with a variety of reverse engineering objects different industries. The article provides a classification of key reverse engineering interpretations. Main contexts of reverse engineering are discovered, which are product copying, product design recovery and system modeling. A brief overview of each interpretation of reverse engineering is made based on the analysis of key publications for the relevant context. The distinctive features of each context are established, typical definitions of reverse engineering are highlighted. Finally, the definition of reverse engineering as a partial model parameterization process of a complex system is stated. The article is intended for system analysts, as well as for researchers and experts in the field of reverse engineering.

**Keywords**— reverse engineering, design recovery, model parametrization, technology transfer, system comprehension, prototyping.

## REFERENCES

- [1] Dimensions. Reverse engineering in Publications – overview [site] //Dimensions. URL: [https://app.dimensions.ai/analytics/publication/overview/timeline?search\\_mode=content&search\\_text="reverse%20engineering"&search\\_type=kw&search\\_field=full\\_search](https://app.dimensions.ai/analytics/publication/overview/timeline?search_mode=content&search_text=) (visit date: 28.02.2022)
- [2] Anisimova N.S., Nazarova O.B. CASE-tools for database design: overview and brief description //Science. Informatization. Technologies. Education: Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference – Ekaterinburg. – 2018. – C. 472.
- [3] Makhankova N.A. Barriers to Technology Transfer and Ways to Overcome them in Modern Russia //Scientific research of the Economic faculty. E-magazine. – 2018. – T. 10. – №. 3. – C. 27-37.
- [4] Cherkasova M.N. The Role of Foreign Words in Engineering Discourse (based on teaching English) //High-school teacher in XXI century. – 2017. – C. 63-68.
- [5] Chikofsky E.J., Cross J.H. Reverse engineering and design recovery: a taxonomy //IEEE Softw. 1990. T. 7. № 1. C. 13–17.
- [6] Tulupov D.S. Shield and sword against sanctions //Russia in global politics. – 2016. – T. 14. – №. 1. – C. 77-87.
- [7] Derevenets E.O., Troshina E.N. Structure analysis in the problem of decompilation //Applied Informatics. – 2009. – №. 4. – C. 87-99.
- [8] Spencer D.L. An external military presence, technological transfer, and structural change // Kyklos (Oxford). 1965. T. 18. № 3. C. 451–474.
- [9] Levitt T. Innovative Imitation // Harvard Business Review, 1966. - № 5. C. 63-70.
- [10] Cooper C. Science, technology and production in the underdeveloped countries: An introduction // J. Dev. Stud. 1972. T. 9. № 1. C. 1–18.
- [11] Harris R.M. Trade Secrets as They Affect the Government //Bus. Law. – 1962. – T.18 – C.613
- [12] Spencer D.L., Woroniak A. The feasibility of developing transfer of technology functions // Kyklos (Oxford). 1967. T. 20. № 4. C. 431–459.
- [13] The Chinese machine-building industry // China Q. 1970. T. 43. C. 130–133.
- [14] Kahn H. et al. National security policy issues in US-Soviet technology transfer. Fort Belvoir, VA: Defense Technical Information Center, 1974.
- [15] Majumdar B.A. Technology transfers and international competitiveness: The case of electronic calculators // J. Int. Bus. Stud. 1980. Vol. 11, № 2. P. 103–110.
- [16] Ullrich C. Rural employment & manpower problems in China. : Routledge, 1979.
- [17] Joelson M.R. United States Law and the Proposed Code of Conduct on the Transfer of Technology //Antitrust Bull. – 1978. – T. 23. – C. 835.
- [18] Gessert R.A. et al. NATO standardization and technology transfer. Volume 2. Main report. Fort Belvoir, VA: Defense Technical Information Center, 1977.
- [19] Kozemchak P.S. Method, myth and model: Analysis and the international transfer of technology. Fort Belvoir, VA: Defense Technical Information Center, 1975.
- [20] Williams W.B. et al. NATO standardization and interoperability - handbook of lessons learned. Fort Belvoir, VA: Defense Technical Information Center, 1978.
- [21] Davis N.C., Goodman S.E. The Soviet bloc's unified system of computers //ACM Computing Surveys (CSUR). – 1978. – T. 10. – №. 2. – C. 93-122.
- [22] Goodman S.E. Soviet computing and technology transfer: an overview //World Politics. – 1979. – T. 31. – №. 4. – C. 539-570.
- [23] Koenig R.A. An evaluation of the East German RYAD 1040 system //Proceedings of the June 7-10, 1976, national computer conference and exposition. – 1976. – C. 337-340.
- [24] Il'in A.A. et al. Using the prototyping technology for the aircraft parts manufacturing //Foundry production. – 2007. – №. 6. – C. 39-41.
- [25] Naumkin N.I., Kil'myashkin E.A., Zaytsev V.D. Mechanical systems reverse engineering is the important part of innovative products creation //XLIV Ogaryovskie chteniya. – 2016. – C. 275-279.
- [26] Akhramovich I.L., Zhulinskiy S.F., Kovalev B.M. Electronic component base – prevent counterfeit penetration //Standards and Quality. – 2014. – №. 8. – C. 62-65.
- [27] Niyazov R.R. et al. Bioanalogs: research and development using modern biotechnologies //Diabetes. – 2020. – T. 23. – №. 6. – C. 551-563.
- [28] Niyazov R.R. et al. Bioanalogs: clinical profile reproduction using modern biotechnologies //Remedium. – 2021. – №. 2. – C. 8-24.
- [29] Konovalov K.L. et al. Technological foresight in food industry //Milk processing. – 2012. – №. 7. – C. 18-23.
- [30] Korzhov E.G. Copying of architectural and sculptural monuments using scanning technologies //Design. Materials. Technology. – 2009. – №. 2. – C. 94-100.
- [31] Pisarenko M.I., Sotnikov N.N. Photogrammetry Фотограмметрия is an tool for the reproduction of artistic objects //Gaudemus Igitur. – 2016. – №. 1. – C. 59-62.
- [32] Berning J. Tractor-Hacking Farmers Take on John Deere [paper] //FreeThink. Publication date: 05.02.2021. URL: <https://www.freethink.com/shows/coded/season-3/tractor-hacking> (visit date: 28.02.2022)
- [33] Koebler J. I am Possibly Alive Because It Exists: Why Sleep Apnea Patients Rely on a CPAP Machine Hacker [paper] //Vice. Publication date: 15.11.2018. URL: <https://www.vice.com/en/article/xwjd4w/possibly-alive-because-it-exists-why-sleep-apnea-patients-rely-on-a-cpap-machine-hacker> (visit date: 28.02.2022)
- [34] Perkins D. Moral Perspective Reverse Engineering //Journal of Business, Technology and Leadership. – 2019. – T. 1. – №. 1.
- [35] Biggerstaff T.J. Design recovery for maintenance and reuse //Computer. – 1989. – T. 22. – №. 7. – C. 36-49.
- [36] Müller H.A. et al. A reverse-engineering approach to subsystem structure identification //Journal of Software Maintenance: Research and Practice. – 1993. – T. 5. – №. 4. – C. 181-204.

- [37] Müller H.A., Wong K., Tilley S.R. Understanding software systems using reverse engineering technology //Object-Oriented Technology for Database and Software Systems. – 1995. – C. 240-252.
- [38] Tilley S.R. et al. Programmable reverse engineering //International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering. – 1994. – T. 4. – №. 04. – C. 501-520.
- [39] Canfora G., Di Penta M. New frontiers of reverse engineering //Future of Software Engineering (FOSE'07). – IEEE, 2007. – C. 326-341.
- [40] Koschke R. Software visualization in software maintenance, reverse engineering, and reengineering: a research survey //Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice. – 2003. – T. 15. – №. 2. – C. 87-109.
- [41] Hansen M.C., Yalcin H., Hayes J.P. Unveiling the ISCAS-85 benchmarks: A case study in reverse engineering //IEEE Design & Test of Computers. – 1999. – T. 16. – №. 3. – C. 72-80.
- [42] Rekoff M.G. On reverse engineering //IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics. – 1985. – №. 2. – C. 244-252.
- [43] Chikofsky E.J., Cross J.H., May Jr C.H. Reverse engineering //Advances in Computers. – Elsevier, 1992. – T. 35. – C. 199-254.
- [44] Koschke R. Architecture reconstruction //Software Engineering. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2007. – C. 140-173.
- [45] Belov E.N. et al. Emerging technologies for microcircuits reverse engineering protection in the context of information security //M.: Tekhnosfera. – 2017.
- [46] Harris D.R., Reubenstein H.B., Yeh A.S. Reverse engineering to the architectural level //1995 17th International Conference on Software Engineering. – IEEE, 1995. – C. 186.
- [47] Mansurov N.N. Architecture-driven modernization of existing software //Proceedings of ISP RAS. – 2004. – T. 5. – C. 227-248.
- [48] Moraga M., Zhao Y.Y. Reverse engineering a legacy software in a complex system: A systems engineering approach //INCOSE International Symposium. – 2018. – T. 28. – №. 1. – C. 1250-1264.
- [49] Aiken P., Muntz A., Richards R. DoD legacy systems: Reverse engineering data requirements //Commun. ACM. – 1994. – T. 37. – №. 5. – C. 26-41.
- [50] Baffleur M., Buxo J. Reliability assessment of integrated circuits through reverse engineering techniques //Microelectronics Journal. – 1986. – T. 17. – №. 4. – C. 11-26.
- [51] Naresky J.J. Microcircuit reliability characterization //Risk and Failure Analysis for Improved Performance and Reliability. – Springer, Boston, MA, 1980. – C. 281-302.
- [52] Burdakov I.B. et al. Формальные спецификации в технологиях обратной инженерии и верификации программ //Труды Института системного программирования РАН. – 2000. – T. 1. – C. 39-54.
- [53] Dolgova K.N., Chernov A.V. On some reverse engineering problems //Proceedings of ISP RAS. – 2008. – T. 15. – C. 119-134.
- [54] Kienle H.M., Müller H.A. The tools perspective on software reverse engineering: requirements, construction, and evaluation //Advances in Computers. – Elsevier, 2010. – T. 79. – C. 189-290.
- [55] Ghaleb T., Alturki M.A., Aljasser K. Program comprehension through reverse-engineered sequence diagrams: A systematic review //Journal of Software: Evolution and Process. – 2018. – T.30. – №. 11.
- [56] Qadir S.E. et al. A survey on chip to system reverse engineering //ACM journal on emerging technologies in computing systems (JETC). – 2016. – T. 13. – №. 1. – C. 1-34.
- [57] van den Brand M.G.J., Klint P., Verhoef C. Reverse engineering and system renovation—an annotated bibliography //ACM SIGSOFT Software Engineering Notes. – 1997. – T. 22. – №. 1. – C. 57-68.
- [58] Borovkov A.I et al. Digital twins and the digital transformation in defensive industry //Vestnik of Eastern-Siberia open academy. – 2019. – №. 32. – C. 2-2.
- [59] Lee K.H., Woo H. Direct integration of reverse engineering and rapid prototyping //Computers & Industrial Engineering. – 2000. – T. 38. – №. 1. – C. 21-38.
- [60] Kuz'michev V.E., Saharova N.A., Zhang S. Designing digital twins of historical systems "figure-costume" //Izvestiya vuzov. Textile industry technology. – 2019. – T. 6. – №. 384. – C. 9-15.
- [61] Ayani M., Ganebäck M., Ng A.H.C. Digital Twin: Applying emulation for machine reconditioning //Procedia Cirp. – 2018. – T. 72. – C. 243-248.
- [62] Buonamici F. et al. Reverse engineering modeling methods and tools: a survey //Computer-Aided Design and Applications. – 2018. – T. 15. – №. 3. – C. 443-464.
- [63] Geng Z., Bidanda B. Review of reverse engineering systems—current state of the art //Virtual and Physical Prototyping. – 2017. – T. 12. – №. 2. – C. 161-172.
- [64] Villaverde A.F., Banga J.R. Reverse engineering and identification in systems biology: strategies, perspectives and challenges //Journal of the Royal Society Interface. – 2014. – T. 11. – №. 91.
- [65] D'haeseleer P., Liang S., Somogyi R. Genetic network inference: from co-expression clustering to reverse engineering //Bioinformatics. – 2000. – T. 16. – №. 8. – C. 707-726.
- [66] Qinfeng W. et al. Tools to reverse-engineer multicellular systems: case studies using the fruit fly //Journal of Biological Engineering. – 2019. – T. 13. – №. 1. – C. 1-16.
- [67] Villaverde A.F., Ross J., Banga J.R. Reverse engineering cellular networks with information theoretic methods //Cells. – 2013. – T. 2. – №. 2. – C. 306-329.
- [68] Rugaber S., Stirewalt K. Model-driven reverse engineering //IEEE software. – 2004. – T. 21. – №. 4. – C. 45-53.
- [69] Raibulet C., Fontana F. A., Zanoni M. Model-driven reverse engineering approaches: A systematic literature review //IEEE Access. – 2017. – T. 5. – C. 14516-14542.