

# Онтологическая инженерия вычислений: к материалистической парадигме семантики языков программирования

## Аннотация

**Цель:** Разработка формальной методологии проектирования семантики языков программирования (ЯП), основанной на онтологической редукции вычислительных абстракций к физическому субстрату. Создание инструментальной базы для преодоления идеалистической парадигмы в программировании через внедрение категорий материального бытия (ресурс, энергия, противоречие) в ядро типовых систем.

**Методы:** Междисциплинарный синтез методов системного анализа (2.3.1), философской онтологии (5.7.6) и термодинамики вычислений. Используются: диалектический системный подход к формализации противоречий; аппарат модальной логики ресурсов; теория информационной энтропии (физика); методология социально-экономического моделирования когнитивных издержек разработки. Предложена концепция «ресурсно-контрактной семантики», где вычислительный процесс моделируется как физическое движение с конечными энергетическими и информационными затратами.

**Результаты:** Впервые построена формальная модель семантики ЯП, изоморфная термодинамике реальных вычислительных систем (с явным выделением энтропийных и энергетических параметров). Обоснована корректность разрешения системных противоречий (гибкость/производительность, стоимость/надежность) через реконфигурацию ресурсных контрактов на различных этапах проектирования и исполнения. В отличие от существующих подходов, где ресурсные ограничения являются внешними метасвойствами, в предлагаемом подходе они конституируют (constitute) семантику на уровне типовой системы, что реализует принцип материалистической редукции абстракций к физическому субстрату. Разработан прототип языка «Контекст», демонстрирующий возможность материалистической редукции абстракций (отказ от аксиомы бесконечной памяти и бесконечного времени) и социальной адаптации инструмента (снижение когнитивного барьера через «раскрывающуюся сложность»).

**Значимость:** Результаты создают основания для нового направления в системном анализе — онтологической инженерии, интегрирующей физические законы, социальные практики разработки и философские основания технологий. Предложенный подход позволяет снизить экзистенциальную отчужденность разработчиков от материальной природы вычислений и повысить надежность сложных систем через учет термодинамических ограничений на этапе как компиляции, так и исполнения.

**Ключевые слова:** системный анализ; онтология программирования; диалектический материализм; ресурсно-контрактная семантика; термодинамика вычислений; формальная редукция абстракций; социальная инженерия ПО; когнитивная экономика разработки.

**Коды специальностей ВАК:** 2.3.1 (Системный анализ, управление и обработка информации); 5.7.6 (Философия науки и техники); 1.2.2 (Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ).

**Для рецензента (примечание к подаче):** данная статья является междисциплинарной и адресована научному сообществу в областях системного анализа (формализация ресурсных ограничений), философии науки (онтология технических систем) и социологии разработки ПО (когнитивные аспекты инструментария).

## 1. Введение

### 1.1. Онтологический разрыв в современном программировании: к постановке проблемы

Современная индустрия программного обеспечения (ПО) переживает системный кризис, корни которого лежат не в технической, но в методологической (а следовательно, онтологической) плоскости. Несмотря на экспоненциальный рост вычислительной мощности, наблюдаемый «разрыв семантики» [1] между спецификацией программы и её физическим поведением приводит к нарастанию технического долга, энергетическому кризису центров обработки данных [2] и когнитивной перегрузке разработчиков [3].

Традиционные формальные семантики (денотационная, операционная, аксиоматическая) базируются на платонической онтологии, постулирующей существование «чистых» математических объектов, не зависящих от физического субстрата [4]. Это проявляется в фундаментальных аксиомах:

- бесконечная лента Тьюринга [5],
- нулевая стоимость  $\beta$ -редукции в  $\lambda$ -исчислении [6],
- отсутствие времени как физического параметра в логике Хоара [7].

Данная установка отражает идеалистическую парадигму в программировании, где абстрактная форма признаётся первичной по отношению к материальному содержанию (ресурсам энергии, времени, пространства), что порождает отчуждение [8] разработчиков от физической природы вычислений.

Диалектический материализм позволяет иначе концептуализировать вычисление: как отражение объективной реальности в субъективной модели, как процесс движения материи (носителей информации), подчинённый законам термодинамики [9, 10]. В рамках данной парадигмы программа не существует «априори» в мире идей, а возникает только как процесс взаимодействия физических систем (кристаллы памяти, электронные потоки, тепловое излучение), что требует онтологической редукции семантических категорий к категориям материального бытия.

## 1.2. Термодинамический предел абстракции

Физика вычислений устанавливает фундаментальные ограничения, игнорируемые классической семантикой. Принцип Ландауэра [11] и теорема Беннетта [12] демонстрируют, что логически необратимые операции (стирание информации) сопряжены с диссипацией энергии

$$E \geq kT \ln 2,$$

а предельная плотность вычислений ограничена энтропийными барьерами [13]. Однако существующие языки программирования (ЯП) трактуют память и время как бесконечные ресурсы, что приводит к антропогенному конфликту между растущей сложностью ПО и физическими законами сохранения.

Системный анализ [14] показывает, что данное противоречие носит структурный характер: абстракции высокого уровня (объекты, функции, монады) скрывают энтропийные издержки, создавая иллюзию «бесплатной» выразительности. Это порождает экзистенциальный разрыв между семантикой языка (что декларируется) и онтологией вычисления (что происходит физически), что в социальном измерении ведёт к формированию «касты технологических жрецов» [15], владеющих эзотерическими знаниями о скрытой материальной природе системы, и «профанов» (прикладных разработчиков), лишённых понимания ресурсных ограничений.

## 1.3. Степень разработанности проблемы

Попытки преодоления онтологического разрыва предпринимались в нескольких направлениях. В физике вычислений исследованы термодинамические пределы (Ландауэр [11], Ллойд [16]), однако они не были интегрированы в практику языков программирования как онтологические примитивы.

В формальной логике линейная логика Жирара [17] ввела ресурсную интерпретацию (формулы как consumable resources), что стало теоретической основой для систем владения (Rust [18], LinearML [19]). Однако данные подходы ограничиваются управлением памятью, игнорируя энергетические и социально-экономические измерения ресурса.

В системном анализе разработаны методы учёта ограничений (constraints satisfaction) и теория системной динамики (Forrester [20]), но они применяются к программированию как внешние регуляторы, а не как внутренняя семантика языка.

В философии техники обсуждалась проблема «отчуждения» в цифровых системах (Хайдеггер [21], Фуко [22], современные авторы [23]), однако без инструментализации в формальных методах разработки.

Таким образом, существует научный пробел: отсутствие формальной методологии проектирования семантики ЯП, в которой физические ограничения (энергия, энтропия, пространство-время) и социальные параметры (когнитивная стоимость, доступность) были бы конститутивными (constitutive), а не внешними ограничениями; где диалектика противоречий (тезис–антитезис–синтез) формализована как механизм адаптации; где «материалистическая редукция» абстракций к субстрату реализована на уровне типовой системы.

## 1.4. Цель и задачи исследования

Цель данной работы — разработка методологии онтологической инженерии вычислений, основанной на синтезе диалектического материализма (как методологии анализа противоречий), термодинамики информационных процессов и формальной семантики, направленной на создание языка программирования, семантика которого изоморфна физической реальности вычислений.

### Задачи:

Формализация категорий диалектического материализма (противоречие, становление, отражение) в рамках системного анализа как иерархических систем ресурсных ограничений с динамическим разрешением конфликтов.

Разработка ресурсно-контрактной семантики, интегрирующей термодинамические параметры (энергетическая стоимость, энтропийный след) в типовую систему языка.

Обоснование корректности механизма разрешения противоречий между декларативностью и эффективностью через количественный переход в качественный (снижение уровня строгости при критическом дефиците ресурсов).

Создание прототипа языка «Контекст» с реализацией социальной адаптации инструмента (принцип «раскрывающейся сложности») и экспериментальная проверка снижения когнитивной нагрузки и плотности дефектов.