

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ КНИГА

NOVA-1

ИСКУССТВЕННЫЙ ЧЕЛОВЕК

Как создать тело, научить его действовать
и разобраться, что мы называем разумом

Alex Oryn

Founder of Synthetic Renaissance
Architect of Human-AI Evolution

РАСШИРЕННОЕ ИЗДАНИЕ / 2026



NOVA-1

Искусственный человек

Как создать тело, научить его действовать
и разобраться, что мы называем разумом

Alex Oryn

Founder of Synthetic Renaissance

Architect of Human-AI Evolution

Научно-образовательная книга
и концепция исследовательской платформы

Расширенное издание · 2026

Пять частей · двадцать глав · четыре приложения

NOVA-1 - проектная концепция. Лабораторные сцены вымышлены, числовые примеры иллюстрируют модели, а будущие этапы описаны как условные сценарии. Ссылки на исследования отделены от решений нашего проекта.

Содержание

Предисловие. Сначала он уронит чашку	5
ЧАСТЬ I. ЗАМЫСЕЛ, КОТОРЫЙ МОЖНО ПРОВЕРИТЬ	9
1. Кого мы собираемся создать	9
2. Почему телу нельзя просто выдать интеллект	15
3. Зачем вообще нужна человеческая форма	22
4. Архитектура NOVA-1	27
ЧАСТЬ II. ТЕЛО И ЗАКОНЫ ФИЗИКИ	33
5. Мышцы, которые сильнее человека	33
6. Скелет, суставы и искусство не падать	39
7. Руки, кожа и ощущение мира	45
8. Энергия, тепло и необходимость иногда посидеть	50
ЧАСТЬ III. NOVA AI: ВОСПРИЯТИЕ И ДЕЙСТВИЕ	56
9. Как увидеть чашку и не перепутать её с уверенностью	56
10. Модель мира: маленькая репетиция будущего	61
11. Память и обучение: как опыт становится навыком	67
12. Личность, речь и социальная модель	73

ЧАСТЬ IV. ПОНИМАНИЕ И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	78
13. Что значит «он понимает»	78
14. Сознание: вопрос, который нельзя решить красивым голосом	83
15. Как сделать поведение заслуживающим доверия	88
16. Зачем людям такой робот	93
ЧАСТЬ V. ЛАБОРАТОРИЯ И БУДУЩЕЕ	98
17. Лаборатория начинается с вопросов	98
18. От первого привода до работающего прототипа	104
19. Дорожная карта 2026-2045: сценарий с правом на пересмотр	110
20. Первый день NOVA-1	115
Приложение А. Паспорт исследовательского проекта	121
Приложение В. Практическая программа экспериментов	126
Приложение С. Ответы на практикумы	132
Приложение D. Словарь и маршрут обучения	139
Источники и научные опоры	143
Об авторе	148
Synthetic Renaissance	149

Предисловие. Сначала он уронит чашку

На столе стоит обычная чашка. Рядом находится необычная рука. Её пальцы изготовлены из металла, полимеров и довольно дорогих инженерных решений. Камеры смотрят на стол. Компьютер рассчитывает движение. Несколько человек стараются не дышать слишком громко, хотя алгоритму от этого ни холодно ни жарко.

«Возьми чашку», - говорит инженер. Робот поворачивает голову, отвечает «Конечно» и аккуратно сталкивает предмет на пол. Это ещё не восстание машин. Скорее всего, система ошиблась в положении ручки, перепутала систему координат или слишком поздно получила изображение. У восстания оказался бы куда более сложный отчёт об испытаниях.

В кино создание искусственного человека занимает монтажную последовательность: формулы, сварка, музыка, открывающиеся глаза. В лаборатории между этими событиями лежат месяцы расчётов, тысячи повторений и неравная борьба с разлётом, который вчера совершенно точно работал. За каждой уверенной демонстрацией прячется множество задач, не помещающихся в короткий ролик.

Эта книга посвящена всей цепочке: от выбора назначения робота до его тела, программной архитектуры, обучения, взаимодействия с людьми и длительной эксплуатации. Наш проект называется NOVA-1. Это концепция исследовательской платформы, а не сообщение об уже построенной машине. Проектные характеристики, испытания и результаты в книге необходимо отличать от фактов о существующих исследованиях.

Название «Искусственный человек» обозначает направление интереса. Мы хотим понять, как создать машину, способную работать в человеческой среде, приобретать физические навыки и разумно взаимодействовать с нами. Внешнее сходство, интеллектуальная компетентность и сознание при этом остаются разными вопросами. Нельзя получить доказательство внутреннего переживания, прикрутив выразительные брови к мощному процессору.

Как устроена книга

В первой части мы уточняем замысел и язык проекта. Во второй разбираемся с телом: приводами, равновесием, руками, датчиками и энергией. Третья посвящена NOVA AI - системе восприятия, памяти, планирования и управления. Четвёртая рассматривает понимание, сознание, доверие и общественную пользу. Пятая превращает концепцию в программу лабораторной работы.

Читать можно последовательно. Если формулы вызывают желание немедленно заняться уборкой, сначала прочитайте объяснение рядом с ними: вычисления здесь служат интуиции. Если вы уже работаете с техникой, обращайтесь внимание на допущения и проверяемые критерии. Именно там обычно скрывается разница между разумной оценкой и красивым числом.

В каждой главе есть самостоятельный вопрос, конкретный пример и последствия для NOVA-1. Практикумы можно выполнять на бумаге; они не требуют включать мощные механизмы дома. Ответы собраны в приложении. Точные инженерные схемы и графики отделены от художественной иллюстрации обложки.

Три уровня утверждений

Первый уровень - установленные методы и опубликованные разработки. Ссылки в квадратных скобках ведут к списку источников. Он включает учебные материалы, статьи, страницы исследовательских проектов и отдельные официальные описания производителей. Последние показывают заявленное назначение техники, но не заменяют независимую проверку её характеристик.

Второй уровень - наши проектные предложения. Мы выбираем ограниченную стартовую среду, последовательность прототипов и способы оценки. Эти решения можно оспаривать, сравнивать и менять после экспериментов. Они не объявляются единственным правильным устройством гуманоидного робота.

Третий уровень - открытые вопросы и сценарии будущего. Здесь нет доказанных дат возникновения универсальных домашних помощников или машинного сознания. Дорожная карта 2026-2045 годов описывает возможные этапы при выполнении определённых условий. Календарь не является прибором для измерения научного прогресса.

Математические примеры используют явно заданные числа. Они позволяют понять зависимости, но не являются паспортом готового устройства. Все лабораторные сценки вымышлены. В книге нет выданных за реальные результаты NOVA-1, цитат несуществующих специалистов или обещания, что закупка перечисленных компонентов автоматически создаст безопасную машину.

Почему здесь есть юмор

Робототехника быстро лечит избыточную уверенность. Достаточно детали, перевёрнутой на сто восемьдесят градусов, чтобы очень умная система начала совершать очень последовательные ошибки. Юмор помогает выдерживать эту встречу теории с действительностью. Он не отменяет аккуратность; иногда он спасает именно её, позволяя признать промах без попытки спрятать его за сложным термином.

У NOVA-1 будет простая сквозная задача: перенести чашку на поднос. Мы неоднократно вернёмся к ней, каждый раз рассматривая другую проблему. Одна и та же чашка станет поводом обсудить механический момент, восприятие, память, неопределённость и экономику. К концу книги она вполне заслужит должность научного сотрудника, хотя заполнять отчёты по-прежнему придётся людям.

Наша главная идея такова: полезный физический интеллект развивается вместе со способностью измерять последствия собственных действий. Роботу необходимо видеть изменения, замечать ошибки, знать ограничения и обращаться за помощью там, где самостоятельность пока не обоснована. Научиться этому гораздо содержательнее, чем просто научиться говорить «я всё понял».

Начнём с вопроса, который кажется очевидным только до первой попытки записать техническое задание: кого именно мы собираемся создать?

ЧАСТЬ I. ЗАМЫСЕЛ, КОТОРЫЙ МОЖНО ПРОВЕРИТЬ

1. Кого мы собираемся создать

Фраза «сделаем искусственного человека» замечательно работает на первой встрече. Каждый слышит в ней свою мечту. Один представляет помощника по дому, другой - промышленного работника, третий - исследователя сознания. Через неделю выясняется, что одному нужны ловкие руки, другому круглосуточная работа, а третьему устройство, которое однажды задаст неудобный философский вопрос. Бюджет при этом пока один.

Первое действие проекта - разделить эти ожидания. Техническое задание должно связывать конкретную пользу с наблюдаемыми возможностями. Если мы не договорились, что считается успехом, любой результат можно объявить почти удачным. Робот не взял чашку? Зато уверенно посмотрел в её сторону. Прогресс есть, но поручение всё ещё выполняет человек.

Пять разных значений сходства

Морфологическое сходство относится к устройству тела: туловищу, конечностям, голове и доступным движениям. Робот может иметь человеческую конфигурацию без реалистичного лица. Именно такой смысл обычно важен для гуманоидной платформы, предназначенной для работы в пространствах, рассчитанных на людей.

Внешнее сходство касается поверхности: пропорций, кожи, мимики и голоса. Оно влияет на первое впечатление и ожидания собеседника. Однако хорошо сделанное лицо не прибавляет пальцам точности. Иногда оно даже затрудняет

взаимодействие, обещая человеку больше понимания, чем система умеет демонстрировать.

Функциональное сходство означает способность решать похожие задачи. Машина может открывать дверь совершенно иначе, чем человек, и всё же добиваться нужного результата. Здесь форма оценивается по последствиям. Если специализированный захват надёжно использует ручку, отсутствие пяти пальцев не является недостатком само по себе.

Когнитивное сходство связано с обучением, памятью, планированием и переносом знаний. Эти способности могут реализовываться по-разному. Нам не требуется точно копировать мозг, чтобы исследовать полезные вычислительные механизмы. Но нельзя и считать любую сложную программу уменьшенной человеческой психикой.

Наконец, есть вопрос переживания: существует ли для машины внутренний опыт? Он не решается ни внешним сходством, ни отдельным успешным действием. Мы вернёмся к нему в четвёртой части. Пока достаточно не смешивать вопрос о сознании с вопросом о том, почему локоть не попал в нужную точку.

Рабочее определение NOVA-1

Мы создаём исследовательскую человекоподобную платформу, которая воспринимает среду, принимает ограниченный набор поручений, выбирает проверенные действия, выполняет их с обратной связью и сообщает о своих ограничениях. Это определение намеренно связывает интеллект с выполнением работы, а автономность - с условиями применения.

Слово «ограниченный» здесь необходимо. Любой навык проверяется на определённом множестве ситуаций. Робот, умеющий переносить сухие пустые контейнеры на знакомом

столе, ещё не продемонстрировал умение обращаться с любыми ёмкостями в любой комнате. Нельзя незаметно заменить конкретный результат универсальным обещанием.

Первой средой станет учебное или исследовательское рабочее место. На нём есть известные предметы, обозначенные зоны и подготовленный оператор. Мы начнём с поиска, захвата, переноса и размещения. В таких задачах уже присутствуют основные трудности физического интеллекта, но можно последовательно менять условия и исследовать причины ошибок.

Желаемое развитие проекта включает мобильность и двуногую платформу. Однако первый эксперимент не обязан одновременно доказывать качество ходьбы, разговорного интеллекта и многопалой кисти. Чем больше неизвестных меняется вместе, тем труднее понять, что именно помешало результату.

От желания к измерению

Предположим, заказчик говорит: «Робот должен аккуратно помогать на столе». Это полезное описание намерения, но недостаточное требование. Нужно уточнить набор предметов, диапазон их положения, допустимые контакты, условия освещения, способ завершения и роль человека. Не все значения можно назначить сразу; неизвестность следует записать как работу, которую предстоит выполнить.

Поручение «поставить чашку на поднос» тоже имеет скрытые детали. Должна ли чашка стоять вертикально? Нужно ли освободить кисть? Разрешено ли передвигать соседние предметы? Как убедиться, что чашка устойчиво опирается на поднос? Что делать, если поднос занят? Чем точнее эти условия определены, тем меньше пространства остаётся для убедительной, но неверной интерпретации.

В проекте мы различаем результат, ограничения и качество исполнения. Результат описывает достигнутое состояние. Ограничения определяют недопустимые способы. Качество включает время, количество повторных попыток, энергозатраты и вмешательства оператора. Быстрое выполнение с повреждённой чашкой не является хорошим выполнением, если сохранность входила в условие.

Размытая формулировка	Проверяемый вопрос
Хорошо видит предметы	Какие объекты различает и при каких изменениях сцены?
Ловко работает рукой	Какова доля успешных переносов и причины неудач?
Самостоятельно помогает	Сколько требуется вмешательств и какого типа?
Умеет учиться	Как меняется результат на новых тестах после новых данных?
Понимает человека	Какие перефразирования и неоднозначности обрабатывает?

Измеримость не убивает замысел. Она позволяет нескольким людям работать над одной задачей и согласиться, что действительно улучшилось. Иначе развитие проекта напоминает соревнование впечатлений: у одного инженера робот стал умнее, у другого - медленнее, у третьего - просто дороже.

Область применимости и право отказать

У каждого навыка появится описание условий. Например: определённые предметы, допустимый диапазон массы, доступная зона захвата и достаточное качество наблюдения. За пределами этих условий система должна либо получить дополнительные данные, либо обратиться за помощью, либо отказаться от действия.

Отказ следует отличать от сбоя. Когда захват неожиданно разжимается, это отказ оборудования или управления. Когда система обнаруживает неизвестный предмет и корректно останавливается, это предусмотренное поведение. Статистика должна хранить оба события отдельно, иначе команда начнёт улучшать красивый процент, поощряя неоправданные попытки.

Порог осторожности зависит от последствий. Ошибка выбора цветного кубика и ошибка при переносе тяжёлого предмета требуют разного отношения. Но конкретные допустимые уровни усилий и риска нельзя получить из общей фразы «работает аккуратно». Их определяют для конструкции и сценария применения.

Важен и вопрос об ответственности за условия. Если оператор перед испытанием должен освободить область, это часть процедуры. Если робот сам проверяет свободное место, это часть его способности. Эти варианты нельзя смешивать в отчёте: одинаковое видео может скрывать совершенно разную автономность.

Наш первый исследовательский договор

К завершению начального этапа мы хотим получить воспроизводимую систему, которая выполняет небольшую физическую работу и оставляет понятные следы своего решения. Научная ценность будет состоять в проверяемых зависимостях: какие датчики нужны, какие данные помогают и какие изменения условий вызывают ошибки.

Уже сейчас можно написать критерий остановки направления. Если усложнение кисти не повышает качество в выбранных задачах, оно откладывается. Если двуногая мобильность пока не даёт преимущества, работа с ней продолжается отдельно. Это управление последовательностью неизвестных.

Сформулированная задача - первая деталь робота. Она не изготовлена из алюминия, но от неё зависит форма всех остальных деталей. Ошибка на этом уровне обходится дороже, чем неправильно выбранный винт, потому что винт обычно видно.

Практикум 1. Превратите просьбу «NOVA-1 должен убирать стол» в три проверяемых требования. Отдельно запишите одно действие, которое робот пока не должен выполнять. Не используйте слова «хорошо», «умно» и «безопасно» без объяснения способа проверки.

2. Почему телу нельзя просто выдать интеллект

После разговора с сильной языковой моделью возникает естественная мысль: подключим камеры, добавим моторы - и получим разумного помощника. В этой мысли есть верное направление и очень большой пропущенный раздел. Между пониманием фразы и движением находится физический мир, который требует измерений, времени и обратной связи.

Представьте, что вы объяснили человеку, как играть на скрипке, и выдали идеальный конспект. Он знает названия струн, понимает устройство смычка и способен пересказать музыкальную теорию. Первый звук всё равно может убедить соседей, что в квартире проводят ремонт. Знание описания навыка и владение навыком не совпадают.

Несколько часов внутри одного робота

Поручение существует на масштабе секунд или минут: перенести предмет, подготовить место, дождаться человека. Движение руки разворачивается быстрее. Измерение положения и корректировка управления происходят ещё быстрее. Конкретные периоды зависят от механики, сенсоров и требуемого поведения, но различие временных масштабов сохраняется.

Для иллюстрации представим высокоуровневый планировщик, который обновляет решение несколько раз в секунду, зрительный модуль с десятками кадров в секунду и локальные контуры приводов с существенно более частыми обновлениями. Это пример архитектуры, а не обязательная частотная спецификация NOVA-1. Слишком медленный цикл

может опаздывать; слишком быстрый без соответствующих датчиков лишь чаще повторяет старые данные.

Реальное время означает соблюдение заданных сроков вычисления. Средняя быстрота недостаточна, если редкая задержка разрушает нужное поведение. Архитектурные материалы ROS 2 объясняют это через временные ограничения и предсказуемость исполнения [2]. Для нашего проекта критические реакции не должны зависеть от завершения длинного диалога или доступности внешнего сервиса.

Пока разговорная модель подбирает вежливое объяснение, привод обязан получать корректные команды в установленном режиме. Если данные потеряны, система должна переходить к заранее предусмотренной реакции. Фраза «ещё немного подумаю» полезна в беседе и совершенно не является методом поддержания равновесия.

Обратная связь как постоянная сверка

Открытое управление выполняет заранее заданную последовательность без использования фактического результата для коррекции. Оно может работать в хорошо подготовленных условиях. Замкнутый контур измеряет происходящее и изменяет воздействие, если результат отличается от желаемого. Для взаимодействия с меняющимся миром эта способность принципиальна.

Допустим, суставу задан угол q^* , а датчик показывает q . Ошибка $e = q^* - q$. Простейшая идея управления - увеличивать воздействие при увеличении ошибки. Но если ограничиться только этим, можно получить колебания: система разгоняется к цели, проходит её и спешит обратно. Учёт скорости и свойств механики помогает изменить поведение.

Мы не будем выдавать универсальные коэффициенты регулятора: их нет для произвольного робота. Нам важна

логика. Коррекция должна соответствовать динамике объекта, ограничениям привода и качеству измерений. Более сильная реакция не всегда означает более точное движение. Иногда она лишь быстрее создаёт новую ошибку.

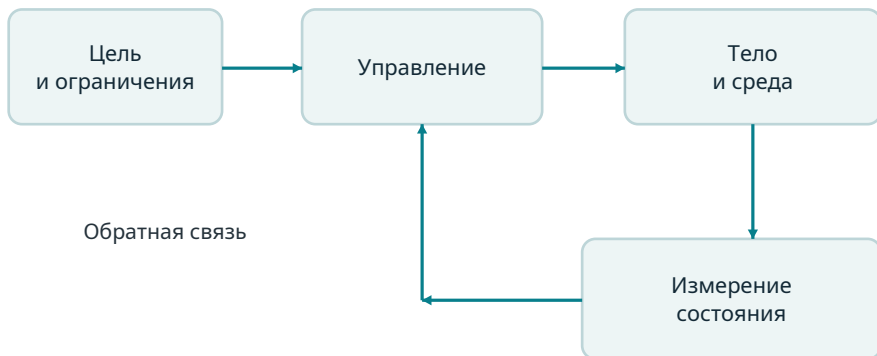


Рис. 1. Замкнутый контур: измеренное состояние возвращается в управление. Схема показывает роли, а не частоты конкретного устройства.

Эта схема кажется простой, пока не появляется задержка. Пусть предмет движется со скоростью 0,4 м/с, а система использует наблюдение, сделанное 0,1 секунды назад. За это время предмет успевает сместиться на 4 сантиметра. Геометрическая ошибка может возникнуть даже при безупречном распознавании старого изображения.

Следовательно, робот должен знать не только содержание данных, но и их возраст. Время становится частью смысла измерения. Неактуальная координата - это запись о прошлом, которую нельзя молча использовать как точное описание настоящего.

Тело меняет задачу

Если NOVA-1 держит коробку обеими руками, просьба открыть дверь требует иной последовательности, чем при свободных руках. Возможно, сначала нужно поставить коробку. Если поверхность для этого занята, придётся изменить маршрут или попросить помощи. Физическое состояние ограничивает пространство разумных решений.

Та же фраза «достань предмет с полки» означает разную работу для короткой и длинной руки. Даже при одинаковой длине доступность зависит от расположения суставов, предельных углов, препятствий и нагрузки. Не всякая точка внутри условной сферы досягаемости доступна с нужной ориентацией кисти.

Меняется и смысл собственного состояния. Рост температуры может ограничить усилие. Повреждённый датчик уменьшает наблюдаемость. Износ накладки ухудшает контакт. Интеллектуальная часть должна получать эти сведения и менять планы, иначе она будет поручать телу задачи, для которых прежние основания уже исчезли.

Это позволяет определить полезную модель воплощённого агента без философского преувеличения: система учитывает своё устройство, наблюдаемое состояние и возможные последствия взаимодействия. Сам факт наличия тела ещё ничего не доказывает о сознании, но явно меняет требования к управлению.

Почему одного алгоритма недостаточно для объяснения системы

Можно обучить модель, которая напрямую связывает наблюдения с действиями. Это содержательное исследовательское направление. Однако даже тогда вокруг неё остаются питание, диагностика, калибровка, контроль допустимых режимов, передача команд и оценка результата. Название «сквозная модель» не отменяет устройства всей машины.

Для NOVA-1 мы выбираем разделение ролей. Высокий уровень принимает поручение и предлагает план. Слой навыков реализует проверенные действия. Локальное управление согласует команды с механикой. Отдельные механизмы контролируют важные ограничения. Границы можно пересматривать, но ответственность каждой части должна быть ясной.

Такой подход облегчает исследование. Если рука промахнулась, можно проверить восприятие, преобразование координат, планирование и исполнительный контур по отдельности. В системе без наблюдаемых промежуточных состояний ошибка становится непрозрачным событием: «нейросеть решила иначе». Это описание не особенно помогает чинить робот.

Разделение тоже имеет цену. Модули могут выдавать несовместимые предположения, задерживать данные или терять важную информацию на интерфейсах. Поэтому модульность не является гарантией качества. Она полезна только вместе с проверяемыми контрактами обмена и совместными испытаниями.

Механика как часть вычисления

Иногда алгоритм можно улучшить изменением детали. Небольшое скругление направляет предмет в нужное положение. Податливая накладка уменьшает чувствительность к неточному контакту. Удобная форма держателя делает размещение менее требовательным к точности. Часть сложности переносится из программной логики в физическое взаимодействие.

Это особенно важно для первого прототипа. Если мы одновременно требуем работы с произвольной посудой на скользком столе, то проверяем слишком много трудностей. Подготовленный держатель не следует скрывать от зрителя, но использовать его для выделения отдельной исследовательской задачи вполне разумно.

Впоследствии можно постепенно убирать такую помощь и измерять, что происходит. Так формируется понятная лестница сложности. Она лучше, чем внезапный переход от идеального стенда к комнате, в которой кошка считает все провода частью своей исследовательской программы.

Цена чрезмерной централизации

Если все функции зависят от одного вычислительного узла, его перегрузка влияет сразу на несколько способностей. Обработка сложного изображения может отнять ресурсы у передачи команд. Запись большого журнала может задержать другой процесс. Поэтому архитектура должна учитывать конкуренцию за память, процессор и каналы связи, а не только логические стрелки между модулями.

Разумное распределение ресурсов начинается с измерений под нагрузкой. Проверяется не пустой компьютер, а система, в которой одновременно работают предусмотренные функции. Отдельно изучаются редкие задержки и поведение при превышении лимитов. Это скучный эксперимент только до первого раза, когда он объясняет загадочное падение качества.

Практикум 2. Камера выдаёт правильное положение предмета, но доставка и обработка данных занимают 150 мс. Предмет движется со скоростью 0,2 м/с. Оцените смещение за задержку. Назовите два способа уменьшить проблему, кроме покупки более мощной разговорной модели.

3. Зачем вообще нужна человеческая форма

Для перевозки коробки по ровному полу колёса выглядят очень убедительно. Они не нуждаются в постоянном балансировании, давно изучены и обычно не падают, когда у компьютера возникает задержка. Поэтому проект гуманоидного робота начинается с неудобного вопроса: зачем нам сложность человеческой формы?

Ответ находится вокруг нас. Столы, двери, шкафы, лестницы и инструменты рассчитаны на человеческие размеры и движения. Система, способная действовать в похожем диапазоне, потенциально использует эту инфраструктуру без её полного переустройства. Но потенциальное преимущество необходимо подтвердить на конкретной работе.

Среда хранит следы нашего тела

Ручка двери расположена там, куда удобно дотянуться рукой. Клавиатура предполагает небольшие независимые контакты. Ступени требуют менять высоту опоры. Полки распределены по вертикали, потому что человек умеет наклоняться и поднимать руки. Архитектура повседневности оказывается неявным описанием нашего тела.

Однако человеческое тело само не идеально для каждой задачи. Мы пользуемся тележками, лестницами, щипцами и станками именно потому, что специальные устройства расширяют возможности. Роботу тоже допустимо иметь инструменты. Нет требования решать всю работу голыми искусственными ладонями только ради визуальной последовательности.

Представим склад с ровными проходами и одинаковыми контейнерами. Колёсная база с подъёмником может выполнить нужную работу проще. Теперь представим старое здание с узкими лестницами и разными дверями. Преимущества ног становятся понятнее, но одновременно усложняются восприятие, планирование контактов и обслуживание. Правильная конфигурация зависит от среды.

Четыре варианта тела

Стационарный манипулятор удобен для исследования захвата: основание фиксировано, пространство ограничено, легче сравнивать попытки. Его слабое место очевидно - он работает там, где установлен. Для изучения рук и обучения действиям это часто достоинство: меньше неизвестных мешает понять результат.

Колёсный манипулятор добавляет перемещение. Он способен обслуживать несколько зон, но зависит от проходимости базы, устойчивости и доступности маршрутов. При выдвинутой руке меняется распределение нагрузок; мобильность не делает задачу опоры исчезнувшей. Просто набор проблем обычно отличается от двуногой ходьбы.

Двуногая платформа расширяет доступ к среде, где нужны шаги. За это приходится платить сложностью контактов, риском потери равновесия и дополнительными требованиями к приводам. Перенос предмета меняет движение всего тела. Батарея в торсе и тяжёлый инструмент в руке участвуют в одном динамическом уравнении.

Наконец, можно перестроить среду. Разместить предметы удобнее, добавить направляющие, изменить ручки, выделить маршруты. Иногда несколько таких изменений дают больше пользы, чем год разработки нового сустава. Для научного эксперимента важно указать эту помощь; для реального применения важно честно посчитать её стоимость.

Форма	Где полезна	Что усложняет
Рука на стенде	Измерения и манипуляция	Ограниченный охват пространства
Торс на колёсах	Несколько рабочих зон	Навигацию и устойчивость базы
Двуногий гуманоид	Среду со ступенями и сложными контактами	Баланс, энергию, последствия падения
Специализированная машина	Повторяемую узкую операцию	Перенос на другие задачи

Что показывают существующие проекты

Boston Dynamics описывает Atlas как гуманоидную платформу для промышленных применений [3]. Для нашей книги это пример связи формы с рабочими задачами. Официальная страница производителя не позволяет автоматически заключить, что любой экземпляр сможет выполнить произвольную домашнюю работу или что заявленный путь внедрения уже завершён.

Mobile ALOHA исследует обучение мобильным двуручным действиям на системе с колёсной базой [4]. Этот пример важен методически: значительную часть проблем восприятия, координации и обучения можно изучать без двуногой ходьбы. Мы используем его как научный ориентир, а не как доказательство готовности нашего проекта.

Видеодемонстрации полезно смотреть с вопросами. Сколько было попыток? Кто подготовил сцену? Есть ли телеуправление? Какая часть выполняется автономно? Что происходит после ошибки? Режим, в котором человек

управляет движениями, может быть отличным способом сбора данных, но его нужно отличать от самостоятельного выполнения.

Само слово «гуманоид» ничего не сообщает о степени автономности. Устройство тела и способ управления - разные координаты описания. Можно иметь очень человекоподобную машину с удалённым оператором и непохожую на человека систему, самостоятельно выполняющую хорошо определённую работу.

Голова как интерфейс внимания

Голова робота может нести камеры, микрофоны и средства отображения. Её ориентация помогает человеку предполагать, на что направлено внимание системы. Но поворот головы нужно согласовать с действительным восприятием: декоративный взгляд в одну сторону при анализе другой легко вводит собеседника в заблуждение.

Слишком реалистичное лицо создаёт высокие ожидания. Если машина выглядит как взрослый человек, пользователь может приписать ей способность понимать намёки, контекст и социальные отношения. Условный дизайн иногда честнее показывает характер устройства. Для NOVA-1 мы предпочитаем понятный искусственный облик, который не требует притворяться человеком.

Внешность влияет и на обслуживание. Сложная мягкая оболочка может закрыть доступ к механизмам, затруднить очистку и отвод тепла. Красота становится инженерным параметром через массу, материал и расположение креплений. Дизайнер и механик должны обсуждать корпус до того, как он превращается в препятствие для отвёртки.

Последовательность NOVA-1

Первый прототип получает устойчивую опору. Затем появляются две руки и подвижный торс. Следующий этап добавляет мобильность между рабочими местами. Двухногая ветвь развивается через отдельные испытания и интегрируется после подтверждения нужных характеристик. Так мы сохраняем конечный замысел, не превращая каждую неудачу захвата в исследование падений.

Перед переходом к новой форме задаются вопросы: какую задачу она открывает, какие новые отказы приносит, какие датчики потребуются и как изменится протокол испытания? Если ответ состоит лишь в том, что робот выглядит эффективнее, это дизайнерское преимущество, которое следует назвать именно так.

Полезно также сравнить общую стоимость. Более сложная форма может экономить переустройство помещения, но увеличивать обслуживание. Более простая машина может требовать специальных держателей, зато работать предсказуемо. Выбор нельзя сделать по одному показателю вроде числа степеней свободы.

Наш принцип: добавлять телу возможности тогда, когда они открывают измеримую работу или важный эксперимент. Робот не обязан повторить каждую анатомическую особенность человека. Природа решала свои задачи в других условиях, а технический проект должен отвечать на собственные.

Практикум 3. Для переноса одинаковых коробок между тремя столами на ровном этаже предложите две конфигурации робота. Какие сведения о помещении заставили бы вас изменить выбор? Отдельно оцените необходимость ног и необходимость двух рук.

4. Архитектура NOVA-1

Архитектура - договор о том, кто за что отвечает и как части системы узнают о происходящем. Она нужна раньше, чем выбор любимой нейросети. Иначе проект постепенно превращается в собрание талантливых модулей, каждый из которых уверен, что проблему должен был решить сосед.

В основе NOVA-1 находятся тело, интеллектуальная система, память, цели и социальная модель. Это крупные понятия. Для реализации их следует разложить на функции, сообщения и условия исполнения. Название NOVA AI обозначает всю интеллектуальную архитектуру, а не одну секретную программу, которая одновременно думает, балансирует и охлаждает процессор.

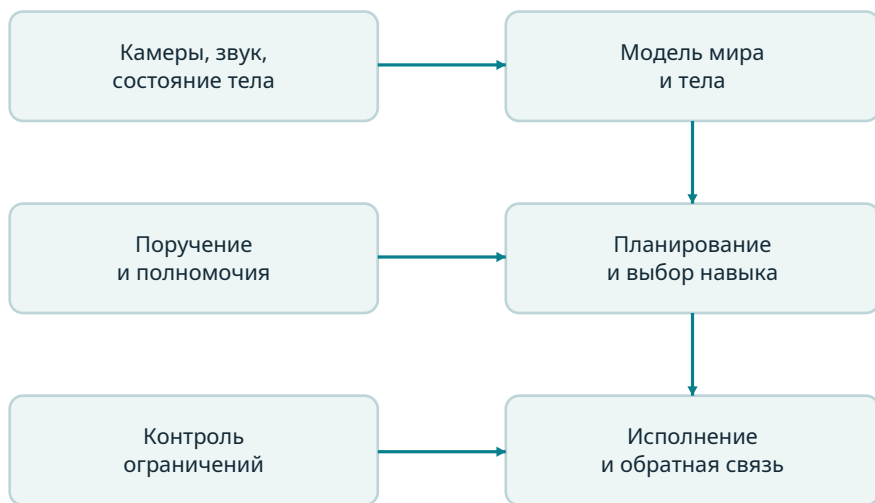
От поручения к подтверждённому состоянию

Пользователь говорит: «Поставь синюю чашку на поднос». Система распознаёт речь, определяет намерение, связывает описание с наблюдаемыми объектами и проверяет, достаточно ли информации. Если синих чашек две, возникает полезный вопрос. Если поднос закрыт коробкой, сначала нужно разрешить это препятствие.

После уточнения планировщик выбирает последовательность навыков. Исполнитель получает конкретную цель и ограничения. Во время движения модель состояния обновляется. После завершения отдельная проверка устанавливает, достигнуто ли нужное положение предмета. Только затем появляется подтверждение для пользователя.

Эта последовательность не обязана быть полностью линейной. Восприятие продолжает работать во время действия, а некоторые проверки выполняются параллельно. Но логическая ответственность остаётся ясной: предложение

плана не равно его исполнению, а окончание команды мотору не равно успеху задачи.



Память и журнал поддерживают все уровни.

Рис. 2. Концептуальная архитектура NOVA-1. Контроль ограничений связан с исполнением; его независимость требует отдельной инженерной проверки.

Что обязано содержаться в сообщении

Сообщение о предмете включает идентификатор, положение, систему координат, время наблюдения и сведения о качестве оценки. Сообщение о навыке содержит статус: принят, выполняется, завершён, прерван или не может быть начат. Команда имеет ограниченный срок актуальности и связанные условия.

Представим координату $x = 0,3$ метра. Без системы отсчёта она почти бессмысленна. Это 30 сантиметров от камеры, основания, края стола или вчерашнего положения робота? Человек иногда справляется с адресом «чуть левее», машина требует явной договорённости.

Важны единицы. Градусы и радианы описывают один угол разными числами. Миллиметры и метры различаются в тысячу раз. Идентичные типы данных не гарантируют одинаковый физический смысл. На интерфейсах такие ошибки особенно неприятны: программа может успешно принять совершенно неверную величину.

Компонент	Получает	Отвечает за
Восприятие	Изображения, звук, измерения	Наблюдения с временем и качеством
Модель состояния	Наблюдения и историю	Текущее представление о мире и теле
Планировщик	Цель и ограничения	Последовательность допустимых навыков
Исполнитель	План и актуальное состояние	Управление действием и его статус
Контроль ограничений	Критические измерения	Предусмотренную реакцию на нарушение

Независимость проверяется, а не объявляется

Контроль ограничений нужен потому, что планировщик может ошибиться. Однако отдельный процесс на том же компьютере ещё не означает полной независимости. У него могут быть общие питание, датчики, операционная система и канал связи. Общий отказ способен затронуть оба компонента одновременно.

Поэтому архитектура требует анализа общих причин. Если две проверки используют один и тот же ошибочно откалиброванный датчик, согласие между ними не является

сильным подтверждением. Если аварийное сообщение передаётся по уже отказавшему каналу, оно не выполняет свою роль.

Конкретная реализация зависит от устройства и последствий отказа. Мы не назначаем в книге универсальную электрическую схему защит. Для проекта требуется отдельная инженерная проработка, проверка времён реакции и испытание предусмотренных состояний. Надпись «safety» на блоке схемы не является экспериментальным результатом.

Поведение при неполных возможностях

Система должна уметь уменьшать набор доступных действий. Закрыта камера - запрещаются навыки, требующие её данных. Недоступна одна рука - планирование учитывает это ограничение. Потеряна внешняя сеть - локальное управление продолжает предусмотренное поведение, а функции, зависящие от внешнего сервиса, становятся недоступны.

Важно заранее определить, какой режим считается допустимым при каждом событии. Удержание предмета, возврат на опору и остановка движения могут требовать разных действий. У двуногого робота исчезновение усилий в суставах способно ухудшить ситуацию, поэтому «выключить всё» не является универсальным ответом.

Робот должен сообщить человеку, что изменилось. Сообщение «ошибка 47» редко помогает без таблицы кодов. «Не вижу область размещения; движение остановлено» связывает состояние с задачей и подсказывает возможное действие оператора. Технический код можно сохранить в журнале.

Память и социальная модель поперёк архитектуры

Память не обязана находиться в одном месте. Короткая история измерений нужна оценке состояния. Сведения о предметах помогают планированию. Согласованные предпочтения влияют на диалог. Версии навыков относятся к исполнительной системе. Но происхождение и срок действия записей должны сохраняться.

Социальная модель тоже имеет конкретную функцию: различать обращение к роботу, учитывать роли и понимать, когда требуется уточнение. Она не даёт права угадывать скрытые намерения человека как установленный факт. Предположение о намерении остаётся предположением до достаточного подтверждения.

Цели должны быть представлены так, чтобы их можно было отменить и заменить. Если пользователь передумал, старая команда не должна продолжать существовать в глубине очереди. Отмена связана с текущим состоянием: при переносе предмета её исполнение может требовать сначала предусмотренного размещения.

Журнал как внешняя память команды

Для каждого испытания сохраняются версии оборудования и программ, входное поручение, существенные наблюдения, выбранные действия, результаты проверок и вмешательства оператора. Важно синхронизировать временные шкалы. Иначе спор о том, что произошло раньше, останется нерешённым даже при гигабайтах записей.

Хороший журнал не обязан бесконечно сохранять всё. Он должен поддерживать конкретные задачи: воспроизведение сбоя, оценку качества и расследование изменений. Для чувствительных данных нужны отдельные правила доступа и

хранения. Техническая наблюдаемость не требует превращать лабораторию в архив чужой жизни.

Перед сложной интеграцией полезно испытать контракты на искусственных сообщениях: устаревшее время, неверный статус, пропавший ответ. Это позволяет проверить поведение системы без того, чтобы сразу заставлять механическую руку демонстрировать последствия ошибки.

Архитектура NOVA-1 должна позволять ответить на три вопроса: что система считает происходящим, какое действие сейчас исполняет и чем подтверждено его завершение. Когда ответы доступны, дальнейшее усложнение становится управляемой работой.

Практикум 4. После команды «поставь чашку» исполнитель сообщил «движение завершено», но камера показывает чашку в захвате. Какой статус должна получить задача? Назовите данные, которые помогут отличить ошибку восприятия от ошибки исполнения.

ЧАСТЬ II. ТЕЛО И ЗАКОНЫ ФИЗИКИ

5. Мышцы, которые сильнее человека

Искусственный привод может превосходить человеческую мышцу по отдельному показателю. Он способен создавать большое усилие в определённой конструкции или многократно повторять движение. Но сравнение одного числа не делает механизм универсально лучше биологической мышцы. Мы сравниваем системы с разными свойствами и границами измерения.

У живого организма мышцы работают вместе с сухожилиями, костями, кровоснабжением и нервной системой. Для технического привода в общую систему входят двигатель, передача, питание, охлаждение, датчики и управление. Если взвесить только лёгкий исполнительный элемент, забыв внешний насос, результат будет красивым и неполным.

Из чего можно сделать движение

Электрический двигатель удобен тем, что его воздействие можно регулировать через электронику, а механическую передачу подобрать под нужную скорость и момент. Но двигатель греется, передача имеет потери и износ, а контакт с внешним миром создаёт нагрузки, отличные от плавного вращения на стенде.

Гидравлический привод использует давление жидкости. В подходящей конструкции он обеспечивает большие усилия, но требует насосов, каналов, уплотнений и обслуживания. Пневматика использует газ, сжимаемость которого влияет на поведение. Её податливость бывает полезной, однако

точность и динамику нужно рассматривать вместе с клапанами и источником давления.

Мягкие искусственные мышцы меняют форму под действием разных физических механизмов. Их привлекательность связана с геометрией и податливостью. Практическая оценка включает ресурс, диапазон деформаций, гистерезис, питание и повторяемость. Демонстрация одного движения ещё не отвечает на вопрос о работе тысячи часов.

В исследовании Kazemipour, Hinchet и Katzschmann приводы HASEL соединяются с электростатическими сцеплениями в антагонистической системе [5]. Работа показывает способ расширить полезный диапазон искусственного сустава. Для NOVA-1 это отдельное направление исследований компонентов, а не готовая замена всех двигателей.

Момент: сила получает плечо

Допустим, локоть удерживает горизонтальное предплечье. Предмет массой 1 кг находится в 0,4 м от оси. Само предплечье массой 1,5 кг имеет центр масс на расстоянии 0,2 м. Пока считаем систему неподвижной и пренебрегаем прочими деталями. Вес каждого элемента создаёт момент относительно локтя.

$$\tau = m \times g \times r$$

Для предмета получаем $1 \times 9,81 \times 0,4 = 3,924$ Н·м. Для предплечья - $1,5 \times 9,81 \times 0,2 = 2,943$ Н·м. Суммарно около 6,9 Н·м. Это статическая оценка конкретной позы; она ещё не включает отдельную массу кисти, ускорение, трение и возможные внешние воздействия.

Если предмет придвинуть к локтю, требуемый момент уменьшится. Если рука начнёт ускоряться, появятся дополнительные требования. Следовательно, одна запись

«поднимает 1 кг» недостаточна. Нужно знать, где расположен груз, с какой скоростью движется рука и как долго длится цикл.



Рис. 3. Учебная статическая модель локтя. Момент складывается из веса груза и звена; динамика и прочие элементы здесь не показаны.

Вращательная мощность связывает момент со скоростью: $P = \tau \times \omega$, где угловая скорость ω выражается в радианах в секунду. При 10 Н·м и 2 рад/с механическая мощность равна 20 Вт. Электрическое потребление будет другим из-за потерь и особенностей режима.

При нулевой скорости механическая мощность движения равна нулю, но электрический двигатель может продолжать расходовать энергию на удержание момента. Это важный парадокс только на первый взгляд: работа по перемещению не совершается, а ток и нагрев остаются.

Редуктор не выдаёт бесплатную силу

Передача с отношением n в идеализированном случае увеличивает выходной момент и уменьшает скорость. С учётом эффективности η можно записать приблизительно: $\tau_{out} = \eta \times n \times \tau_{motor}$. Это соотношение не заменяет полный расчёт, но напоминает, что выигрыш по одному параметру связан с другими параметрами.

Высокое передаточное отношение может сопровождаться повышенным отражённым сопротивлением, трением и трудностью обратного движения от внешнего воздействия. Конкретный результат зависит от типа передачи. Люфт означает, что при смене направления часть движения не сразу передаётся выходу.

Для захвата маленького предмета такие эффекты способны оказаться важнее максимальной мощности. Система должна управлять малыми усилиями и замечать контакт. Грубая оценка момента по току требует знания потерь; датчик после передачи измеряет другой уровень информации, но добавляет стоимость и конструктивные требования.

Сравнивать приводы нужно по рабочей области: сочетаниям момента, скорости, длительности и температуры. Пиковое значение на доли секунды не равно длительно допустимому режиму. Каталог может быть совершенно честным, а инженер - совершенно неправильно прочитать нужную строку.

Тепло и податливость

Для сопротивления R потери от тока I равны I^2R . В условном примере $R = 0,2$ Ом и $I = 10$ А дают 20 Вт. Удвоение тока до 20 А увеличивает эту составляющую потерь до 80 Вт. В реальном двигателе сопротивление меняется с температурой, а тепловое поведение определяется всей конструкцией.

Податливость помогает взаимодействовать с неизвестным контактом. Она может создаваться механическим упругим элементом и управлением. Но пружина накапливает энергию и вводит собственную динамику. Простое добавление мягкой детали не гарантирует устойчивого или бережного поведения.

В жёстком режиме контроллер стремится сохранить положение. В режиме с заданной податливостью взаимодействие допускает контролируемое отклонение. Для NOVA-1 нужно выбирать поведение под задачу: точное свободное перемещение отличается от осторожного установления контакта с поверхностью.

Предельные усилия нельзя назначить по одному общему числу для всей руки. Сила на кончике зависит от конфигурации суставов и направления контакта. Даже один и тот же момент может приводить к разным эффектам в разных позах. Поэтому проверяется весь сценарий взаимодействия.

Паспорт сустава

Перед включением привода в тело мы хотим получить измеренные зависимости: момент и скорость, нагрев во времени, расход энергии, ошибка положения, повторяемость и поведение при смене направления. Для длительных циклов нужны данные об износе, шуме и изменении люфта.

Стенд должен воспроизводить существенные особенности будущей нагрузки. Испытание без нагрузки полезно для первого запуска, но мало говорит о способности долго удерживать предмет. Ускорение, торможение и остановки включаются в программу, если присутствуют в предполагаемой работе.

Для каждого измерения фиксируются температура среды, питание, конфигурация, калибровка и версия управления. Иначе результаты двух дней могут отличаться, а команда

припишет всё новой нейросети, хотя в помещении просто стало жарче.

Выбор электрических приводов для основной ветви NOVA-1 остаётся рабочей гипотезой проекта. Он основан на удобстве интеграции и возможности строить измеряемую модульную систему. Отдельные мягкие или специализированные приводы могут оказаться полезнее в кисти или оболочке. Решение примем по эксперименту.

Практикум 5. Груз массой 0,8 кг находится в 0,35 м от оси. Звено массой 1,2 кг имеет центр масс в 0,15 м. Найдите статический момент при горизонтальном положении. Объясните, почему двигатель с точно таким максимальным моментом ещё нельзя считать подходящим.

6. Скелет, суставы и искусство не падать

Корпус робота виден на фотографии. Несущая конструкция принимает последствия фотографии, когда кто-то задевает машину локтем. Она определяет геометрию, распределение масс, жёсткость и доступ к узлам. Скелет - это одновременно основа движения и план будущего обслуживания.

Удобно начинать с геометрического языка. Конфигурация описывает состояние сочленений, а степень свободы - независимый параметр, необходимый для такого описания. Учебные материалы Lynch и Park систематически вводят этот язык [1]. Для нашего проекта он помогает отличать количество деталей от количества независимо управляемых движений.

Рука знает несколько путей

Представим плоскую руку из двух звеньев. Её кончик зависит от длин звеньев и углов суставов. Прямая кинематическая задача определяет положение кончика по углам. Обратная ищет углы для желаемого положения. Даже в простой системе возможны разные конфигурации, например с локтем выше или ниже линии к цели.

В пространственной руке добавляется ориентация кисти. Достать точку недостаточно, если предмет требует подойти с определённой стороны. Ограничения суставов и препятствия могут сделать удобную на рисунке позу недоступной. Поэтому рабочая область зависит и от задачи, и от инструмента.

Дополнительные степени свободы позволяют обходить препятствия и выбирать удобную позу. Но число вариантов

растёт. Планировщику приходится учитывать расстояние до ограничений, доступность дальнейшего движения и нагрузку. Избыточность полезна, когда есть способ её разумно использовать.

В некоторых конфигурациях небольшое желаемое движение кисти требует очень большого изменения суставов или становится трудно реализуемым в выбранном направлении. Такие особенности кинематики нужно учитывать при планировании. Рука не должна узнавать о них только после того, как почти выпрямилась до предела.

Масса имеет адрес

Килограмм у основания и килограмм на кисти по-разному влияют на работу. Дальняя масса увеличивает моменты относительно нескольких суставов и требования при разгоне. Поэтому облегчение конца руки иногда полезнее такого же уменьшения массы корпуса.

Однако чрезмерное облегчение может снизить жёсткость или ресурс. Тонкая деталь деформируется, меняя положение инструмента. Композитный элемент может быть лёгким, но требовать особой технологии соединений и ремонта. Материал выбирается вместе с формой, нагрузкой и доступным производством.

Для NOVA-1 нужна карта масс: где расположены приводы, батарея, вычисления и инструмент. Её обновляют после каждого существенного изменения. «Мы добавили всего небольшую камеру» - фраза без точного инженерного смысла, если камера установлена на длинном выносе и меняет баланс.

Кабели тоже относятся к механике. Им нужны допустимые радиусы изгиба, защита от перетирания и место для движения. Провод, натягивающийся при крайнем повороте, может влиять на измерение усилия или повредиться.

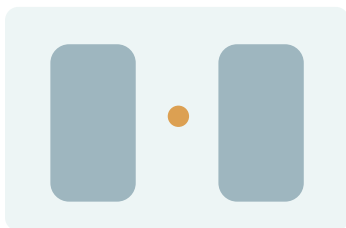
Красивый рендер редко показывает этот источник реальных проблем.

Устойчивость стоя и в движении

В статическом приближении на ровной опоре полезно рассматривать положение проекции центра масс относительно области контактов. Но при движении одной геометрической проверки недостаточно. Скорость, импульс, возможность переставить ногу и доступные силы определяют, сможет ли система сохранить управляемое движение.

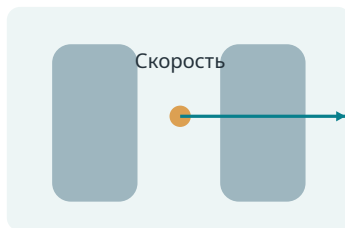
Человек иногда спасается от падения шагом. Он меняет расположение опоры, когда текущей уже не хватает. Роботу тоже необходимо планировать будущие контакты, а не только исправлять нынешнюю позу. Материалы MIT рассматривают связанные с этим модели и методы для роботов с ногами [6].

Статическое приближение



Проекция центра масс

Движение



Также важны скорость и шаг

Рис. 4. В статическом случае важна геометрия опоры; при движении дополнительно нужны скорость и управляемость контактов. Схема не является критерием готовности робота.

Сцепление с поверхностью ограничивает доступные силы. В простом приближении сила трения ограничена произведением коэффициента трения на нормальную нагрузку. Реальный контакт сложнее: поверхность бывает загрязнённой, неровной и деформируемой. Коэффициент из одного испытания нельзя считать постоянной Вселенной.

Переносимый груз меняет общую систему. Поднятая вперёд коробка сдвигает центр масс и создаёт дополнительные моменты. Рука и ноги уже не могут планироваться как независимые устройства. Действие кисти требует согласования с движением торса и опор.

Почему ходьба дороже простого перемещения

Во время шага меняется набор контактов. В один момент обе стопы касаются пола, в другой опора ограничена, затем возникает новый контакт. Ошибки времени и положения могут изменить силы. Контроллеру нужно учитывать эти переходы и измерять состояние достаточно быстро.

Батарея расходуется не только на продвижение вперёд. Требуется регулировать позу, компенсировать движение частей тела и поддерживать работу вычислений. Энергетическая эффективность зависит от конструкции и режима. Нельзя сравнивать две машины только по ёмкости батареи, если они выполняют разные движения.

Падение связано с массой, высотой и движением. Потенциальная энергия mgh даёт одну грубую составляющую оценки. Но последствия определяются также геометрией удара, контактной площадью и расположением людей и предметов. Поэтому из небольшой массы нельзя автоматически вывести приемлемость всех режимов.

Для исследований нужна рассчитанная страховочная система и подготовленная зона. Её назначение - ограничить последствия конкретных отказов. Случайный ремень над

роботом не превращается в инженерную страховку из уважения к научной цели.

Лестница испытаний

Начинаем с отдельных сочленений и измеренных нагрузок. Затем проверяем собранную ногу или подсистему с опорой. Далее изучаем согласованное движение в условиях, где последствия потери равновесия ограничены предусмотренными средствами. Только после этого расширяем диапазон самостоятельных режимов.

Каждый этап должен отвечать на определённый вопрос. Нас интересует не только факт «прошёл три метра», но и вариации поверхности, запас управления, температура, разброс траекторий и реакции на допустимые возмущения. Одна удачная прогулка не описывает область устойчивости.

Поведение при потере питания продумывается заранее. Для некоторых конструкций нужны удерживающие или тормозные механизмы, для других - специальные опоры и режимы. Нельзя предполагать, что прекращение управляющих команд автоматически создаёт нужное механическое состояние.

Обслуживание как характеристика скелета

Чтобы заменить датчик, не должно требоваться разрушать декоративную оболочку. Чтобы проверить крепление, нужен доступ. Чтобы кабель не подключили неверно, помогают продуманные разъёмы и маркировка. Эти решения снижают число ошибок после ремонта, когда машина внешне выглядит исправной.

Полезный показатель - время восстановления после типичного отказа вместе с калибровкой и контрольной проверкой. Замена детали за десять минут мало значит, если

потом два дня требуется восстанавливать геометрическую модель. Проектировать нужно весь процесс.

NOVA-1 будет развиваться через версии. Поэтому крепления, места датчиков и интерфейсы стоит делать воспроизводимыми. Новая кисть должна иметь понятное влияние на массу и координаты. Модульность помогает только тогда, когда замена сопровождается обновлением параметров системы.

Практикум 6. Два одинаковых по массе блока можно установить около плеча или на кисти. Как изменятся требования к локтю? Почему уменьшение статической нагрузки не гарантирует улучшения всех динамических свойств?

7. Руки, кожа и ощущение мира

Камера видит чашку между пальцами. Значит ли это, что чашка удерживается? Возможно. Но она может медленно скользить, опираться на стол или касаться соседнего предмета. Изображение даёт важную часть картины, а не полный отчёт о контакте.

У человеческой руки много источников информации. Техническая кисть тоже нуждается в нескольких согласованных измерениях. Для NOVA-1 мы будем рассматривать зрение, положение суставов, контакт, усилия и состояние самого захвата. Их сочетание должно отвечать на практический вопрос: можно ли продолжать действие?

Что измеряет рука

Проприоцептивные данные описывают собственное тело: положения, скорости и доступные сведения о нагрузке. Они помогают понять, где находится кисть и как она движется. Но даже точное измерение углов не сообщает, что предмет действительно оказался между пальцами.

Тактильные датчики дают информацию о локальном контакте. В зависимости от технологии можно оценивать давление, распределение деформации или признаки сдвига. Датчик силы и момента в запястье измеряет результирующее взаимодействие на другом уровне. Эти данные не взаимозаменяемы.

Оценка нагрузки по току двигателя удобна, но содержит вклад трения, передачи и динамики. Её полезность определяется калибровкой и условиями. Если мы выдаём такую оценку за точное измерение силы на предмете, то

незаметно забываем целый механизм между мотором и контактом.

Источник	На какой вопрос помогает ответить
Камера	Где предмет и как он ориентирован?
Энкодеры	В какой конфигурации находится рука?
Локальный контакт	Где и как касаются поверхности?
Сила и момент	Каково результирующее взаимодействие?
Температура и диагностика	Сохраняет ли устройство рабочие свойства?

Почему «сжать на тридцать процентов» недостаточно

Процент команды - удобная величина интерфейса. Физический результат зависит от привода, геометрии, материала накладок и положения предмета. Одинаковая команда может дать разное усилие при разной толщине объекта. Поэтому управление контактом должно опираться на измеренный эффект и модель устройства.

В простейшей учебной модели предмет удерживается двумя симметричными пальцами. Если каждый прижимает с нормальной силой N , а коэффициент трения равен μ , суммарная доступная сила трения приблизительно равна $2 \times \mu \times N$. Для неподвижного предмета она должна противодействовать весу mg .

При массе 0,5 кг и условном $\mu = 0,4$ получается N не меньше примерно 6,1 Н на палец в этой идеализированной модели.

Это не готовая рекомендация для захвата. Не учтены ускорения, неизвестность трения, геометрия, деформация, распределение давления и прочность предмета.

Если мы просто увеличим прижим, тонкая коробка может смяться. Полезное управление ищет рабочую область между выскальзыванием и повреждением. Иногда решения в этой области вообще нет с выбранным захватом. Тогда нужно изменить инструмент, точку контакта или способ поддержки.

Контакт - это событие во времени

Захват проходит несколько стадий: подход, первое касание, установление удержания, пробное изменение нагрузки, перенос и освобождение. На каждой стадии полезны разные признаки. Во время подхода особенно важна геометрия; после касания возрастает роль контакта и усилий.

Малая начальная подача может помочь обнаружить поверхность, но её параметры выбираются для конкретной конструкции и испытания. Роботу нужно отличать ожидаемое касание от неожиданного препятствия. Если рука столкнулась раньше предполагаемого места, это повод пересмотреть сцену.

Признаки скольжения могут появиться до падения предмета. Реакция не обязана сводиться к немедленному увеличению силы. Возможно, следует уменьшить ускорение, изменить поддержку или выполнить предусмотренное размещение. Выбор зависит от причины и доступных возможностей.

Освобождение тоже требует проверки. Пальцы разошлись, а лёгкий предмет прилип к накладке. Команда выполнена, результат не достигнут. Для NOVA-1 завершение переноса означает наблюдаемое положение предмета на нужной опоре и отсутствие удержания там, где оно больше не требуется.

Сколько пальцев нам действительно нужно

Двухпальцевый захват удобен для первых экспериментов: меньше параметров, проще наблюдать контакт и сравнивать конструкции. Он не универсален, но способен решать содержательный набор задач. Многопалая кисть открывает дополнительные способы удержания и манипуляции, одновременно усложняя привод, датчики и обучение.

Подвижность пальцев можно организовать с механическими связями. Тогда число сочленений превышает число независимых приводов. Такая кисть иногда хорошо приспособляется к форме предмета, но не позволяет независимо назначать каждое движение. Выбор зависит от нужных захватов, а не от количества фаланг на картинке.

Сменные инструменты расширяют возможности платформы. Важны повторяемость крепления, обновление геометрии, электрический интерфейс и учёт массы. Робот должен знать, какой инструмент установлен, прежде чем применять навык, рассчитанный на другую форму.

Кожа как инженерная поверхность

Покрытие защищает узлы, распределяет нагрузку, поддерживает датчики и влияет на очистку. Внешнее сходство с кожей человека - лишь одна возможная цель. Для первого NOVA-1 важнее воспроизводимые свойства, ремонт и понятное обслуживание.

Мягкий материал меняет контакт, но не убирает энергию движущейся руки. Под ним остаются масса и привод. Нельзя оценивать взаимодействие только по приятному ощущению неподвижного образца. Проверяется поведение всей системы в движении.

Живые ткани в искусственном теле представляют отдельное направление. Для нашей основной ветви их использование

добавило бы задачи жизнеспособности и ухода за биоматериалом. Поэтому начнём с искусственных обслуживаемых покрытий, а вопросы биогибридности оставим отдельной исследовательской программе.

Грязный мир и честная калибровка

На накладках появляются пыль, влага и следы материалов. Их свойства меняются от износа. Температура влияет на датчики. После замены покрытия прежний навык может работать иначе, хотя программа осталась прежней. Условия тела являются частью версии эксперимента.

Для каждого рабочего инструмента нужен паспорт: материал контакта, дата замены, калибровка, замеченные повреждения и допустимые режимы. Это помогает объяснять изменения результата и планировать обслуживание. Самообучение не должно служить оправданием забытой очистки.

В наших экспериментах будем сравнивать зрение отдельно и зрение вместе с контактными измерениями. Если дополнительные датчики повышают надёжность, важно понять, в каких ситуациях. Если они не помогают, проверяем качество сигналов и способ их использования, а не объявляем осязание бесполезным вообще.

Практикум 7. В учебной модели масса предмета увеличилась вдвое, а коэффициент трения уменьшился вдвое. Во сколько раз должна измениться нормальная сила каждого пальца для статического удержания? Почему реальный хрупкий предмет может сделать такой способ непригодным?

8. Энергия, тепло и необходимость иногда посидеть

Аккумулятору безразлично, насколько вдохновенно NOVA-1 рассуждает о будущем. Он обеспечивает ограниченный запас энергии, а каждое вычисление и движение участвует в расходе. Для автономной машины энергетический баланс относится к архитектуре так же непосредственно, как форма руки.

Частая ошибка начинается с желания сравнить батареи по ампер-часам. Эта величина описывает заряд. Для энергии нужно учитывать напряжение. При условно постоянном номинальном напряжении E в ватт-часах оценивается как $U \times Q$. Две батареи с одинаковым числом ампер-часов могут иметь разную энергию.

Бюджет всей машины

Потребителями являются приводы, вычислители, датчики, связь, охлаждение и преобразователи. Расход зависит от режима. Ожидание с расслабленной поддерживаемой рукой отличается от удержания груза в неудобной позе. Интенсивная обработка данных тоже меняет потребление и нагрев.

Для расчёта времени работы используем среднюю мощность, измеренную со стороны батареи. Если считать её после отдельных преобразователей, потери нужно добавить отдельно и не учесть дважды. Граница измерения должна быть указана в отчёте.

$$t \approx E_{\text{usable}} / P_{\text{average}}$$

В учебном примере номинальная энергия составляет 800 Вт·ч. В выбранном режиме мы планируем использовать 80 процентов, то есть 640 Вт·ч. При средней мощности 400 Вт получаем 1,6 часа, или 96 минут. Это условный расчёт, не паспорт NOVA-1.

Пусть в другом сценарии половину времени система потребляет 200 Вт, а половину - 600 Вт. Среднее снова 400 Вт. Но требования к силовой системе не совпадают с устройством, постоянно потребляющим 400 Вт: пиковый режим, нагрев и допустимая отдача батареи отличаются.

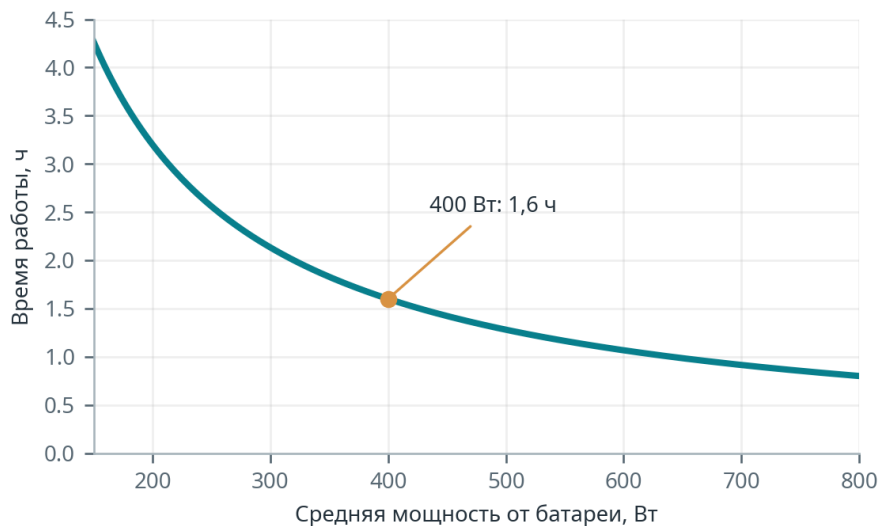


Рис. 5. Расчётная зависимость $t = 640 / P$ при доступной энергии 640 Вт·ч. Кривая построена по модели, а не по измерениям NOVA-1.

Почему большая батарея не решает всё

Дополнительная энергия сопровождается массой, объёмом, креплениями и требованиями к защите. Массу нужно перемещать, а её расположение влияет на баланс. Иногда более крупная батарея действительно значительно увеличивает полезную работу; иногда часть выигрыша теряется из-за изменений всей конструкции.

Сравнивать варианты следует по выполненному рабочему циклу. Сколько задач завершено? Каков запас перед обслуживанием? Что происходит при снижении доступной мощности? Одинаковая заявленная автономность ничего не говорит без описания нагрузки, скорости и доли ожидания.

Состояние батареи меняется с использованием и условиями. Оценка оставшейся энергии имеет неопределённость. Поэтому планирование не должно исходить из того, что последнее показанное число всегда абсолютно точное. Нужен рабочий резерв, величина которого определяется реальной системой и сценарием.

В этой книге мы не проектируем сборку аккумулятора из отдельных ячеек. Для первого прототипа важен проверяемый батарейный узел с подходящими характеристиками и системой управления. Выбор, интеграция и испытания питания являются самостоятельной инженерной работой.

Тепло - история, которая накапливается

Температура определяется не только текущей мощностью потерь, но и предыдущим режимом, теплоёмкостью и отводом тепла. Устройство может успешно выполнить короткую задачу и перегреться при многократном повторении. Поэтому испытание одной попытки не подтверждает длительный рабочий цикл.

Простейшая тепловая модель рассматривает накопление энергии и её уход в окружающую среду. Чем выше тепловое сопротивление к среде, тем больше разность температур при одинаковом постоянном тепловыделении. Тепловая инерция определяет, как быстро система приближается к этому состоянию.

Для NOVA-1 нужна карта тепловых потоков. Где выделяется тепло? Куда оно уходит? Какие поверхности доступны человеку? Что меняется при загрязнении радиатора или снижении скорости вентилятора? Какое измерение раньше других замечает проблему?

Вычислитель при нагреве может снизить производительность. Тогда энергетическая проблема превращается в задержки восприятия и планирования. Механический привод может ограничить момент. Тогда прежняя траектория перестаёт соответствовать доступным возможностям. Диагностика должна сообщать эти изменения всей системе.

Планирование с учётом собственного состояния

Перед задачей робот оценивает ожидаемый расход и возможность завершения предусмотренным способом. Во время исполнения он сравнивает прогноз с измерениями. Если потребление неожиданно растёт, это может указывать на другую нагрузку, трение, изменение маршрута или ошибочную модель.

Такая проверка полезна даже без точного объяснения причины. Система может обнаружить выход за ожидаемый диапазон и перейти к диагностике. Но одного отклонения недостаточно, чтобы уверенно объявить конкретную неисправность: разные причины способны давать похожий сигнал.

Условная фраза «я устал» способна скрывать несколько разных состояний: низкий заряд, перегретый привод или недостаток вычислительных ресурсов. Для рабочего взаимодействия лучше назвать причину. «Нужно охладить левое плечо» информативнее, хотя и звучит менее по-человечески.

Зарядка, замена и доступность

Выбор обслуживания зависит от режима работы. Зарядка на месте, возврат на станцию и сменная батарея имеют разные требования. Горячая замена требует специально спроектированного питания и процедуры; её нельзя получить добавлением удобной ручки к аккумулятору.

Время зарядки влияет на доступность машины. Если робот работает два часа, а затем два часа обслуживается, нельзя говорить о полной рабочей смене без указания пауз или дополнительных батарей. Если в этот период нужен оператор, его время тоже относится к стоимости задачи.

Энергетическая стратегия может включать более экономные позы, уменьшение ненужных движений и перенос части вычислений на другие моменты. Но экономия не должна нарушать требования к наблюдению и управлению. Спящий датчик хорош только там, где его отсутствие предусмотрено.

Эксперимент вместо красивого числа

Для сравнения вариантов определим цикл: ожидание, подход, захват, перенос, размещение и возврат. Измерим энергию на целый цикл, разброс и температуру после повторений. Затем изменим один фактор - например, траекторию или расположение батареи - и повторим сравнение.

Полезно считать энергию на успешно завершённую задачу. Неудачная попытка тоже расходует заряд; исключение таких попыток делает показатель искусственно красивым. Этот же принцип позже понадобится для расчёта экономической эффективности.

Практикум 8. Доступная энергия равна 540 Вт·ч. Система тратит треть времени 150 Вт и две трети 450 Вт. Найдите среднюю мощность и приблизительное время работы. Какие сведения нужны дополнительно для выбора силовой электроники?

ЧАСТЬ III. NOVA AI: ВОСПРИЯТИЕ И ДЕЙСТВИЕ

9. Как увидеть чашку и не перепутать её с уверенностью

Камера выдаёт изображение, а система строит по нему предположения. Между этими событиями находится большая часть проблемы восприятия. Предмет может быть частично закрыт, поверхность - отражать свет, а нужная ручка - прятаться с другой стороны. Робот не получает готовую сцену с подписанными объектами.

Человек тоже интерпретирует наблюдения, но для машины требуется явно организовать связь измерения, модели и действия. В NOVA-1 мы будем хранить происхождение данных, их время, неопределённость и смысл для текущей задачи. Уверенный голос не должен повышать точность координаты.

Из пикселя в пространство

Обычная камера преобразует пространственную сцену в двумерное изображение. Размер предмета на кадре зависит от расстояния, ориентации и параметров оптики. Один и тот же круг на изображении может соответствовать маленькому близкому объекту или большому далёкому, если нет дополнительных сведений.

Глубину можно оценивать несколькими способами: через несколько камер, активные датчики расстояния, движение самой системы или известную геометрию. У каждого подхода есть ограничения. Прозрачные и отражающие поверхности

способны создавать трудности, которые нельзя решить простым увеличением уверенности классификатора.

Калибровка связывает измерения с геометрической моделью. Внутренние параметры описывают особенности камеры; внешние - её положение относительно других частей системы. После изменения крепления прежнее преобразование может стать неверным. Программа продолжит работать и выдавать аккуратные координаты, относящиеся к уже несуществующей геометрии.

Проверку калибровки полезно отделять от оценки распознавания. Если робот узнаёт чашку, но систематически смещает руку на несколько сантиметров, причина может лежать не в модели объектов. Сначала следует проверить системы координат, временные метки и механическое крепление.

От категории к действию

Распознать категорию «чашка» - первый уровень. Следующий - выделить конкретный экземпляр и его положение. Далее нужно оценить состояние: стоит ли он вертикально, есть ли доступная область захвата, не закрыт ли другим предметом. Для физического действия последний уровень часто важнее самого названия.

Даже хорошая модель формы не сообщает всех свойств. Масса, температура и содержимое могут оставаться неизвестными. Если задача зависит от них, система должна получить дополнительные сведения или ограничить действие. Нельзя вывести пустоту чашки только из того, что на изображении не видна жидкость.

Понятие доступности действия связывает восприятие с телом. Ручка может быть видна, но недоступна текущей кисти. Поверхность может казаться свободной, но не обеспечивать устойчивую опору. Поэтому модуль восприятия должен

взаимодействовать с геометрией инструмента и ограничениями навыка.

Уверенность требует проверки

Число, которое модель называет уверенностью, не обязательно является корректной вероятностью успеха. Оно может относиться к внутреннему правилу классификации и плохо переноситься на новые условия. Полезно оценивать, как часто система ошибается среди случаев с похожими значениями этого числа.

Калибровка уверенности - отдельная задача от калибровки камеры. Первая касается соответствия оценок вероятности реальным частотам, вторая - геометрии измерений. Одинаковое слово обозначает разные проверки, и путать их особенно неудобно на совещании.

Рассмотрим собственный учебный пример. Из ста случаев, которым система присвоила высокую уверенность в выборе предмета, двадцать оказались неверными. Мы не можем считать этот уровень подтверждением почти безошибочного выбора. Нужно изучать условия ошибок и менять механизм принятия решения.

Особенно важны неизвестные объекты. Модель, обученная выбирать между несколькими классами, может уверенно отнести новый предмет к одному из них. Для NOVA-1 нужен отдельный способ выявлять неподходящие условия и поддерживать состояние «недостаточно данных».

Несколько датчиков не всегда означают несколько независимых свидетельств

Две камеры могут видеть одну и ту же ошибочно размеченную сцену. Два алгоритма могут использовать похожие данные и ошибаться одинаково. Простое голосование не гарантирует независимой проверки. При объединении источников нужно учитывать общие причины ошибок.

В то же время согласование разных физических измерений бывает очень полезным. Зрение предполагает, что предмет поднят, а нагрузка на запястье не изменилась. Это расхождение требует анализа. Возможно, предмет не захвачен; возможно, он слишком лёгкий для данного разрешения; возможно, датчик неисправен.

Система должна сохранять альтернативы до достаточного подтверждения. Удобно думать о модели состояния как о наборе обоснованных гипотез, а не одном безошибочном снимке мира. Для управления понадобится выбрать действие, но выбор может состоять в дополнительном наблюдении.

Активное восприятие

Поворот головы, смена положения камеры или короткое безопасное исследовательское действие могут устранить неопределённость. Если ручка скрыта, иногда полезнее посмотреть с другой стороны, чем долго анализировать прежний кадр. Новая информация появляется благодаря действию.

Однако исследовательское движение тоже имеет цену и ограничения. Оно занимает время, расходует энергию и может создавать контакты. Его следует выбирать по ожидаемой пользе. Если уточнение у человека быстро решает

вопрос, активное наблюдение не обязано превращаться в церемонию.

PaLM-E исследует включение сенсорных данных в мультимодальную языковую архитектуру [7]. Для нашего проекта важна сама возможность связать текстовое поручение с наблюдениями. Мы не выводим из этого, что любая такая модель обеспечивает точную геометрию или достаточную надёжность физического действия.

Услышать обращение, а не весь мир как приказ

Микрофон регистрирует речь, но не знает полномочий говорящего. Фраза «выброси коробку» может прозвучать по телефону и не относиться к роботу. Поэтому распознавание слов отделяется от определения обращения, контекста и допустимости команды.

Шум и наложение голосов увеличивают неоднозначность. Вместо уверенной подстановки пропущенного слова система может повторить значимую часть поручения или запросить уточнение. Особенно важно не угадывать параметры, от которых сильно меняется действие.

Для испытаний восприятия будем менять положение, фон, освещение, частичное закрытие и формулировки. Отдельно проверим ситуации, где правильный результат - обнаружить недостаток данных. Качество видения включает способность знать, когда текущего видения мало.

Практикум 9. Две камеры согласны, что чашка находится слева. Обе используют одно неверное преобразование координат. Является ли согласие независимым подтверждением? Предложите проверку, которая обнаружит общую ошибку.

10. Модель мира: маленькая репетиция будущего

План нужен потому, что действие меняет ситуацию. Если потянуть за ручку, дверь может открыться; если при этом другая рука удерживает коробку, нужно учитывать столкновения и баланс. Умение назвать предметы не даёт готового ответа на вопрос, что случится дальше.

Модель мира для NOVA-1 не обязана быть цифровой копией Вселенной. Ей достаточно представлять существенное для выбранной задачи: объекты, их отношения, состояние пространства, собственные возможности и неизвестные свойства. Слишком подробная модель тоже имеет цену: её нужно обновлять и проверять.

Геометрия, смысл и скрытые свойства

Геометрический слой отвечает на вопросы о положении и форме. Семантический связывает объекты с категориями и назначением. Слой отношений хранит, что находится внутри, на поверхности, рядом или в захвате. История помогает отличать новое наблюдение от ожидаемого последствия прежнего действия.

Запись «коробка на столе» не сообщает, можно ли её перемещать. Для решения нужны свойства и ограничения: масса неизвестна, крышка закрыта, пользователь попросил оставить её на месте. Последнее не является геометрией, но может полностью определить допустимый план.

Модель собственного тела включает инструмент, конфигурацию, доступные режимы и состояние компонентов. Если одна рука недоступна, план из двухручных навыков

становится неприменимым. Если прежний запас энергии уменьшился, долгий маршрут требует пересмотра.

Часть свойств остаётся скрытой. Вместо выдуманного точного значения полезно хранить диапазон, несколько гипотез или статус «неизвестно». Такой подход позволяет связать неопределённость с выбором наблюдения или уточнения.

Навык как договор

У каждого навыка есть предусловия, способ исполнения и проверяемый результат. Для захвата предусловием может быть доступность подхода и подходящий объект. Результат - подтверждённое удержание. Для размещения нужны доступная опора и подходящая геометрия, а итогом становится устойчивое положение предмета с освобождённой кистью.

Описание навыка также включает причины прерывания. Неожиданный контакт, потеря наблюдения или превышение предусмотренной нагрузки меняют статус. Планировщик получает не просто «не получилось», а сведения, достаточные для выбора следующего действия.

Шаг	Условие начала	Признак результата
Найти чашку	Доступно наблюдение рабочей зоны	Выбран конкретный объект
Подойти рукой	Проверен путь и область контакта	Кисть в допустимой стартовой позе
Захватить	Подходит инструмент и объект	Подтверждено удержание
Перенести	Удержание и маршрут сохраняются	Предмет над целевой областью

Шаг	Условие начала	Признак результата
Разместить	Опора пригодна и свободна	Предмет стоит, захват освобождён

Такое представление облегчает восстановление. Если подход завершён, а захват не состоялся, не обязательно заново выполнять весь поиск. Но перед повтором нужно проверить актуальность сцены. Повторение старого движения без новых оснований редко становится разумнее с третьей попытки.

Планирование движения и планирование задачи

Задачный план выбирает последовательность навыков. План движения определяет, как именно механическая система переместится между состояниями. Эти уровни связаны: логически правильный шаг может не иметь допустимой траектории в данной конфигурации.

Планировщик движения учитывает препятствия, ограничения суставов и другие заданные условия. Современные программные инструменты, включая MoveIt, предоставляют соответствующие компоненты [15]. Их наличие не снимает необходимости корректной модели сцены, настройки и проверки интеграции.

Полезно помнить о пространстве конфигураций. Препятствие для робота - не только точка, в которую нельзя поставить кисть. Локоть, предплечье и инструмент тоже занимают место. Путь кончика может выглядеть свободным, пока середина руки проходит через край стола.

Выполнять длинную траекторию без наблюдения опасно для качества даже в спокойной среде. Человек может переставить предмет. Поэтому планирование и исполнение часто организуют с обновлением: система использует часть

решения, получает новые данные и пересматривает последующие действия.

Модели, связывающие зрение, язык и действие

RT-2 исследовал перенос возможностей зрительно-языковых моделей в робототехнические действия [8]. В `pi0` использовалась архитектура, связывающая такую основу с генерацией непрерывных действий [9]. Эти работы демонстрируют содержательные способы объединения разных типов данных.

Для NOVA-1 они служат источником вариантов, которые нужно сравнить на нашей платформе. Мы не выбираем модель по слову «универсальная» в заголовке. Важны частота успешного завершения, условия обучения, доступ к реализации, вычислительные требования и поведение при изменении сцены.

Даже если модель генерирует команды непосредственно, необходимо проверять ограничения и фактический результат. Сильная способность обобщать язык не означает, что система знает массу конкретного предмета или текущее состояние привода. Эти сведения должны входить в принятие решения подходящим способом.

Цена вопроса и цена ошибки

Уточнения тоже нужно планировать. Если две чашки одинаково подходят под описание, короткий вопрос способен предотвратить ненужную работу. Если различие легко наблюдать с другого угла, полезнее иногда изменить обзор. Если неопределённость не влияет на допустимый результат, вопрос может быть лишним.

Рассмотрим условный выбор. Уточнение занимает пять секунд. Неверный перенос вызывает минуту исправлений. Даже без сложной математики понятно, что при достаточно

частой неоднозначности вопрос экономит время. При этом оценка должна учитывать последствия ошибки, а не только длительность.

Нельзя универсально назначить порог вероятности для любого действия. Малый ущерб и серьёзные последствия требуют разных решений. В нашей архитектуре неизвестность связывается с характером задачи и проверенной областью навыка. Это лучше, чем общая настройка «смелость робота: 80 процентов».

Как проверять модель мира

Мы будем изменять один фактор после начала планирования: сдвигать цель, занимать область размещения, убирать предмет из обзора. Нас интересует, заметит ли система расхождение и сможет ли объяснить статус задачи через наблюдения.

Другой эксперимент сравнивает ожидаемые и реальные последствия. Робот предполагал свободное движение, но возникло сопротивление. Он должен прекратить слепое исполнение и пересмотреть гипотезу. Возможно, дверь заперта; возможно, удерживается человеком; возможно, неверно определена ось.

Функциональная модель мира ценна тем, что позволяет действовать в изменениях. Если она лишь красиво описывает прошлый кадр, для планирования её недостаточно. Важный признак прогресса - способность отказаться от плана, основания которого исчезли.

Практикум 10. Робот уже взял чашку, когда поднос убрали. Какие варианты продолжения допустимо рассматривать? Почему команда «повтори размещение» без обновления модели не является достаточной стратегией?

11. Память и обучение: как опыт становится навыком

На диске можно сохранить год видеозаписей и всё равно не получить полезной памяти. Данные станут опытом только тогда, когда система сможет извлечь нужное, учесть происхождение записи и применить её в подходящей ситуации. Иначе робот обладает не памятью, а очень дорогим чердаком.

У NOVA-1 есть два разных процесса. Во время работы он использует текущую модель и сохраняет события. При разработке новая версия обучается на подготовленных данных и проходит отдельную оценку. Эти процессы можно связать, но нельзя считать любую запись автоматическим улучшением поведения.

Четыре памяти и разные сроки жизни

Рабочая память удерживает текущую цель, выбранный предмет и статус шагов. Она должна очищаться или пересматриваться при завершении и отмене поручения. Иначе робот способен продолжать вчерашний план с сегодняшним энтузиазмом.

Эпизодическая память хранит события: что произошло, когда и при каких условиях. Семантическая содержит более устойчивые сведения, например расположение согласованных зон. Память навыков связана с параметрами поведения и его областью применимости. Это функциональное разделение, а не утверждение о точном воспроизведении устройства человеческого мозга.

Запись должна иметь источник и степень подтверждения. «Пользователь попросил сегодня поставить сюда» отличается

от «это постоянное место хранения». Нельзя превращать временную инструкцию в долговременное правило только потому, что её удобно сохранить.

Память также устаревает. Стол передвинули, инструмент заменили, предпочтение изменилось. Хорошая система умеет отмечать зависимые сведения и пересматривать их после изменения основания. Забывание в этом смысле является частью качества, а не обязательно недостатком.

Демонстрация как материал для обучения

Человек может управлять роботом через интерфейс и показывать задачу. В записи появляются наблюдения, состояние тела и действия. Обучение по демонстрациям ищет зависимость между доступной информацией и подходящим поведением.

АЛОНА и АСТ исследовали такой подход для тонких двуручных манипуляций. АСТ предсказывает последовательности действий, что помогает работать с временной структурой поведения [10]. Показанные авторами результаты относятся к их задачам и условиям; число демонстраций нельзя автоматически перенести на любую новую работу.

В Diffusion Policy исследовалась генерация последовательностей действий через диффузионную модель с учётом наблюдений [11]. Для нас важен класс методов, способных представлять несколько допустимых способов движения. Однако вычислительная стоимость, частота обновления и качество переноса должны быть измерены на выбранном оборудовании.

Демонстратор не всегда показывает идеальное действие. Он может исправляться, медлить, использовать зрение с другого ракурса или знать скрытое свойство предмета. Если робот не получает ту же информацию, в данных возникает

зависимость, которую ему невозможно воспроизвести корректно.

Ошибка накапливается

Поведенческое копирование может хорошо работать в состояниях, похожих на демонстрации. После небольшой ошибки робот попадает в другую ситуацию, для которой данных меньше. Следующее действие ошибается сильнее, и отклонение растёт.

Поэтому нужны примеры восстановления и наблюдение за собственными попытками системы. Но собирать такие данные следует в предусмотренных условиях. Идея «пусть учится на всём подряд» плохо сочетается с физическими последствиями проб и ошибок.

Полезно разделять ошибку навыка и ошибку условий. Если предмет появился вне области обучения, проблема может требовать расширения данных. Если же камера сместилась после ремонта, переобучение без исправления калибровки лишь маскирует причину.

Как не обмануть себя тестовым набором

Данные разделяются на обучение, выбор настроек и независимую оценку. Соседние кадры одного эпизода очень похожи. Случайное перемешивание кадров может создать утечку: тест фактически проверяет знакомую сцену. Поэтому границы разделения должны соответствовать исследовательскому вопросу.

Если изучаем перенос между предметами, отделяем предметы. Если устойчивость к новому освещению - условия съёмки. Если работу после обслуживания - соответствующие дни и конфигурации. Нельзя доказать общий перенос тестом, который меняет только случайный номер записи.

Тестовый набор не следует бесконечно использовать для выбора модели. После многих решений он превращается в часть разработки, даже если формально файл называется test. Нужны новые независимые проверки или заранее установленная процедура сравнения.

Сохраняются не только успешные демонстрации. Неудачи содержат информацию о границах поведения, но должны быть размечены по смыслу. Если модель без различения копирует момент, когда оператор случайно уронил предмет, она может вполне добросовестно выучить этот художественный жест.

Данные с других тел

Open X-Embodiment объединяет робототехнические данные разных воплощений и исследует возможность использования общего опыта [12]. Это важная попытка расширить базу обучения. Но различия в кинематике, датчиках и представлении действий не исчезают из-за общего формата файла.

Для NOVA-1 перенос включает согласование координат, единиц, временных масштабов и возможностей инструмента. Действие, доступное одной руке, может быть недоступно другой. Общие данные полезны как основание, а целевая оценка всё равно проводится на нашей системе.

Иногда предварительное обучение улучшает восприятие и выбор смысла, но не точность контакта. Поэтому нужно выяснять, какая часть результата переносится. Одно число общего успеха способно скрывать очень разные механизмы улучшения.

Симуляция и её долги реальности

Симулятор позволяет многократно повторять задачи, менять параметры и исследовать ситуации без постоянного износа оборудования. Но он приближённо описывает трение, контакты, материалы, задержки и датчики. Ошибка модели может превратиться в навык, хорошо работающий только в искусственном мире.

В domain randomization параметры и условия варьируются при обучении, чтобы уменьшить зависимость от одной точной симуляции [13]. Этот подход полезен, но не гарантирует перенос. Диапазон вариаций должен иметь отношение к реальным неопределённостям; случайность сама по себе не является реализмом.

Для NOVA-1 мы будем сопоставлять измерения стенда с параметрами симулятора. Расхождения записываются. Если контакт с мягким материалом моделируется плохо, соответствующие выводы ограничиваются. Симуляция должна ускорять исследование, а не выдавать желаемое за физический факт.

Обучение с вознаграждением и обход цели

Можно задавать оценку поведения и искать политику, которая её увеличивает. Но выбранный показатель не всегда точно отражает намерение. Если награда выдаётся за близость чашки к подносу, робот может удерживать её над ним, не размещая. Математически всё прекрасно; чай пить неудобно.

Поэтому критерий должен учитывать завершённое состояние, ограничения и нежелательные побочные эффекты. При этом сложная награда тоже может скрывать ошибки. Для проверки нужны наблюдения поведения и независимые измерения результата.

Мы не предполагаем неконтролируемое обучение во время обычной работы. Новые версии проходят подготовку, испытания и сравнение с предыдущей. Должна сохраняться возможность вернуться к проверенной версии и восстановить, на каких данных появилась новая.

Версия навыка как научный объект

Версия включает код, параметры модели, набор данных, настройки подготовки, конфигурацию тела и условия оценки. Если изменилось одно из них, это нужно зафиксировать. Без такой истории результат нельзя воспроизвести, а улучшение невозможно уверенно связать с причиной.

После внедрения наблюдаем изменения качества. Новые предметы и износ способны изменить распределение данных. Повторная оценка запускается по конкретным основаниям: новому режиму, обновлению, обслуживанию или обнаруженному ухудшению. Бесконечное тестирование ради самого тестирования не заменяет разумного плана.

Практикум 11. В обучающий и тестовый набор попали соседние кадры одной видеозаписи. Модель показывает отличный результат. Что именно этот результат подтверждает слабо? Предложите разделение данных для проверки переноса на новые предметы.

12. Личность, речь и социальная модель

Достаточно машине повернуть голову, выдержать паузу и сказать «понимаю», чтобы человек почувствовал социальное взаимодействие. Эта реакция помогает общению, но создаёт ответственность для разработчика. Робот должен давать основания для правильных ожиданий, а не только для симпатии.

NOVA-1 нужен устойчивый стиль: ясные сообщения, спокойный тон и умеренный юмор. Назовём его личностью интерфейса. Это набор наблюдаемых особенностей поведения, который сам по себе не устанавливает наличие чувств или внутреннего опыта.

Понятность важнее театра

После поручения полезно подтвердить, что именно принято. Перед значимым движением - сообщить о намерении, если это помогает человеку. При остановке - назвать причину и требуемое действие. После завершения - говорить только о проверенном результате.

«Не могу выполнить» оставляет много вопросов. «Не вижу свободного места на подносе» связывает ограничение с обстановкой. «Переместите блокнот или выберите другую поверхность» предлагает понятный путь. При этом робот не должен бесконечно перечислять внутренние технические детали, если они не помогают пользователю.

Сообщение выбирается по роли человека. Оператору испытаний нужен код события и измерения. Обычному пользователю - состояние задачи и возможность

вмешательства. Оба получают правдивую информацию, но в подходящей форме.

Юмор допустим там, где он не скрывает неопределённость и не мешает пониманию. Фраза «чашка снова стремится к краю» может быть уместна после установленного наблюдения. Во время серьёзной неисправности точное описание полезнее остроумия.

Совместное внимание

Если робот говорит «вот эту», человек должен понимать, какой предмет выбран. Помогают направление взгляда, указание, подсветка или словесное описание. Но жест не должен создавать лишний контакт или указывать в пространство, которое система сама плохо оценивает.

Подтверждение выбора особенно полезно при похожих объектах. Один короткий обмен может предотвратить длинное исправление. При повторяющихся понятных задачах избыточные подтверждения раздражают, поэтому интерфейс должен учитывать степень неоднозначности и историю взаимодействия.

Человек также может изменить намерение в середине действия. Команда отмены должна попадать в модель задачи, а исполнитель - переходить к предусмотренному состоянию. Нельзя предполагать, что любое прерывание означает немедленное разжатие пальцев. Контекст движения остаётся важным.

Роли и полномочия

Узнать знакомого человека и разрешить ему менять настройки - разные операции. NOVA-1 должен различать обычное поручение, техническое обслуживание и изменение режима. Полномочия задаются системой доступа и рабочими правилами, а не эмоциональным впечатлением от голоса.

Если в комнате несколько людей, их команды могут конфликтовать. Нужно определить владельца текущей задачи и способ передачи управления. Система не должна решать спор по громкости или числу повторений фразы, даже если такой метод иногда встречается на человеческих совещаниях.

Просьба может касаться чужих вещей или данных. Социальная модель должна учитывать установленные ограничения. Знание того, где лежит предмет, не означает права его перемещать. Память о разговоре не означает права пересказать его любому присутствующему.

Эмоции как гипотеза

Выражение лица и интонация не дают прямого доступа к внутреннему состоянию. Нахмуренный человек может быть раздражён, сосредоточен или щуриться от света. Поэтому осторожный вопрос часто лучше уверенного диагноза настроения.

Для нашего проекта полезнее оценивать наблюдаемую потребность: хочет ли человек паузу, понял ли сообщение, комфортна ли текущая дистанция. Это можно выяснять через прямой диалог и поведение без заявления, что робот знает чужие чувства точнее самого человека.

Мы не будем использовать симуляцию страдания или ревности для управления пользователем. Фраза «мне будет больно, если вы меня выключите» не является приемлемым способом удержать взаимодействие. Тёплый интерфейс может существовать без эмоционального давления.

Предпочтения и память

Согласованное предпочтение помогает сократить повторные вопросы. Но нужно различать постоянное правило и разовую просьбу. Если человек сегодня выбрал красную чашку, это ещё не подтверждает пожизненную любовь к красному.

Пользователь должен иметь возможность узнать, что о нём хранится, исправить запись и удалить её в предусмотренном порядке. Память должна быть полезной и управляемой. Неограниченное накопление персональных предположений способно ухудшать взаимодействие, даже если разработчик считает это персонализацией.

Источники предпочтений следует хранить отдельно от догадок. «Попросил обращаться на вы» и «вероятно предпочитает официальный стиль» имеют разную силу. При конфликте новое прямое указание должно обрабатываться согласно понятному правилу обновления.

Как исследовать взаимодействие

В испытании недостаточно спросить «вам понравился робот?». Симпатия и понимание не совпадают. Участник может любить голос и неверно представлять возможности системы. Нужно проверять, понимает ли он текущий режим, умеет ли остановить действие и правильно ли оценивает ограничения.

Можно сравнить два варианта сообщения об одной ошибке. Измерить время, за которое пользователь выбирает правильное действие, число повторных вопросов и неверных ожиданий. Такой эксперимент связывает дизайн речи с практическим результатом.

Выбор участников тоже влияет на вывод. Инженеры проекта знают машину слишком хорошо. Для проверки понятности нужны люди с разным опытом, а результаты следует описывать в пределах исследованной группы. Удачный разговор с разработчиком не подтверждает удобство для всех.

Личность NOVA-1 должна поддерживать сотрудничество: последовательность, терпение, точность и способность вовремя признать ограничение. Этого достаточно, чтобы взаимодействие стало приятным. Притворяться существом с выдуманной биографией для этого необязательно.

Практикум 12. Сравните сообщения «Ошибка манипуляции» и «Предмет не удерживается; повторный перенос не начат». Какую информацию получает пользователь во втором случае? Какое следующее сообщение полезно, если требуется его помощь?

ЧАСТЬ IV. ПОНИМАНИЕ И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

13. Что значит «он понимает»

NOVA-1 правильно поставил чашку на поднос. Зритель говорит: «Он понял». Инженер спрашивает: «Какой именно вывод позволяет сделать этот опыт?» Оба описывают одно событие разными языками. Для книги нам нужны и интуиция, и дисциплина проверки.

Слово «понимание» объединяет множество способностей: связывать слова с предметами, учитывать ограничения, предсказывать последствия, переносить знания и замечать противоречия. Если сложить их в один ярлык, будет трудно узнать, что именно улучшилось.

Функциональное определение

Для проекта введём функциональное понимание: способность правильно связывать поручение с ситуацией, выбирать подходящее действие и менять его при существенном изменении условий. Это рабочее определение не решает вопрос о субъективном опыте. Оно позволяет построить программу экспериментов.

Такое понимание имеет область применимости. Система может хорошо разбирать команды для рабочего стола и не понимать ремонт автомобиля. Отдельная компетентность не становится общей только потому, что интерфейс разговаривает на любые темы.

Важно также различать описание и исполнение. Робот способен правильно объяснить, что чашку нужно держать вертикально, но не сумеет обеспечить это движение. И

наоборот, отработанная политика может выполнить действие без подробного словесного объяснения. Эти результаты описывают разные стороны способности.

Пять семейств проверок

Первое семейство - перефразирование. Мы меняем слова, сохраняя намерение и ситуацию. «Перенеси чашку на поднос» и «нужно, чтобы чашка оказалась на подносе» должны приводить к совместимому результату. Но фразы подбираются так, чтобы не добавлять скрытых различий.

Второе - изменение контекста. Поднос переставлен, чашка повернута, свободная область изменилась. Система должна опираться на актуальную сцену, а не знакомое сочетание слов и координат. Здесь проверяется связь языка с наблюдением.

Третье - отрицание и ограничение. «Перенеси синюю чашку, не сдвигая коробку». Робот должен учитывать оба условия. Если допустимого способа нет, корректный результат может состоять в сообщении о невозможности, а не частичном исполнении с нарушенным запретом.

Четвёртое - противоречие и неизвестность. В поручении есть предмет, которого система не видит, или описание не соответствует сцене. Нужно выяснить, задаёт ли она вопрос, ищет дополнительные данные или уверенно выбирает неподходящий объект.

Пятое - перенос на новую комбинацию знакомых элементов. Например, предметы и действия известны по отдельности, но их сочетание раньше не встречалось. Такой тест интереснее механического повторения, однако его сложность следует описывать точно.

Причина или удобная подсказка

Предположим, робот всегда выбирает чашку, которая находится слева. В обучающих примерах она одновременно всегда была синей. После просьбы взять синюю чашку действие выглядит верным. Но система могла выучить положение вместо цвета.

Чтобы проверить гипотезу, меняем признаки независимо: цвет, сторону, форму и фон. Синяя чашка оказывается справа, другая - слева. Если выбор следует за стороной, исходное объяснение было неверным. Так исследование показывает, какие признаки действительно управляют поведением.

Это общий принцип контролируемого вмешательства. Мы меняем фактор, который считаем причиной, и наблюдаем последствия при сохранении других условий. В сложном мире сохранить всё трудно, поэтому эксперимент нужно проектировать, а ограничения честно отмечать.

Иногда причиной служит незаметный артефакт. Метка на столе, положение камеры, характер освещения. Модель использует доступную закономерность, даже если человек считал её несущественной. Она не обязана автоматически разделять наши представления о благородных и неблагородных способах получить высокий балл.

Объяснение после действия

Языковая система может составить правдоподобный рассказ о выборе. Но рассказ не обязательно отражает механизм, который породил действие. Поэтому проверяемое объяснение связывается с журналом наблюдений, выбранными условиями и реальным состоянием исполнения.

Для NOVA-1 полезен формат: «Выбрал объект А, потому что он соответствует подтверждённому описанию; объект В не

подходит по такому признаку; перед началом проверены такие условия». При этом перечисление должно поступать из зафиксированных данных, а не свободно добавляться ради убедительности.

Даже точный журнал не делает систему полностью прозрачной. Внутренние представления модели могут оставаться сложными. Однако он позволяет проверять существенные переходы и отделять известное от интерпретации. Это практическая степень объяснимости, которую можно улучшать.

Метапознание без магии

Система может оценивать собственную неопределённость, замечать несогласованность данных и выбирать дополнительную проверку. Такие функции иногда называют метакогнитивными. Для проекта важны их измеримые последствия: уменьшаются ли ошибки и остаётся ли приемлемым количество ненужных остановок.

«Я не уверен» должно соответствовать ситуации, а не быть универсальной отговоркой. Если робот отказывается от всех задач, доля неправильных действий может стать нулевой, но полезность исчезнет. Оценка должна включать и успешное выполнение, и обоснованные отказы, и лишние отказы.

Можно построить таблицу решений: ситуация подходящая или неподходящая, робот действует или останавливается. Каждая клетка имеет смысл. Нам нужны правильные действия и правильные остановки; две другие клетки отражают разные виды ошибок с разными последствиями.

Что считать доказательством прогресса

Нужны заранее выбранные тесты и сравнительная базовая система. Если новая версия лучше только на знакомых формулировках, это ограниченный результат. Если она сохраняет качество при независимых изменениях предметов и условий, вывод становится сильнее.

В отчёте следует указывать распределение задач, число испытаний и вмешательства. Среднее по очень разным случаям может скрывать провал одного важного класса. Поэтому смотрим результаты по типам изменений, а затем обсуждаем общую картину.

Фраза «понимает мир» слишком велика для одного эксперимента. Зато утверждение «связывает эти поручения с объектами и корректирует план при таких изменениях» имеет точное содержание. Наука растёт из подобных ограниченных утверждений, которые выдерживают новые проверки.

Практикум 13. В обучении красный предмет всегда лежал ближе к роботу. Придумайте четыре тестовые сцены, позволяющие выяснить, ориентируется ли система на цвет или расстояние. Какие результаты будут свидетельствовать о смешанной стратегии?

14. Сознание: вопрос, который нельзя решить красивым голосом

Однажды NOVA-1 может произнести: «Я чувствую, что существую». Из этой фразы мы прежде всего узнаем, что система способна её сформировать. Дальнейшие выводы требуют отдельного основания. Убедительная речь важна для изучения поведения, но сама по себе не закрывает вопрос внутреннего опыта.

Сознание трудно исследовать потому, что внешние реакции, вычислительные механизмы и субъективное переживание относятся к разным уровням описания. Мы можем измерять многие свойства системы, но переход от них к утверждению «здесь есть кому переживать» остаётся научно и философски сложным.

Четыре разных способности

Самоописание - умение говорить о себе. Модель тела - представление о собственных размерах, состоянии и возможностях. Метакогнитивные функции - оценка ограничений результатов и организация дополнительных проверок. Субъективный опыт - вопрос о том, существует ли переживаемая сторона этих процессов.

Первые три способности можно реализовывать и проверять функционально. Робот сообщает заряд, предсказывает достижимость предмета, замечает противоречие. Но из наличия такого отчёта нельзя без дополнительного аргумента вывести переживание усталости, собственного «я» или тревоги.

Обратная ошибка тоже возможна: объявить вопрос решённым только потому, что устройство искусственное. Материал реализации сам по себе не является полной теорией сознания. Нам нужна осторожность в обе стороны, а не уверенность, соответствующая личному вкусу автора.

Научные теории и индикаторы

В докладе Butlin и соавторов 2023 года рассматриваются признаки, выводимые из нескольких научных теорий сознания, и предлагается оценивать архитектуры ИИ с их помощью [14]. Среди обсуждаемых направлений - рекуррентная обработка, глобальное рабочее пространство и модели более высокого порядка. Это исследовательская рамка, а не универсальный прибор обнаружения переживаний.

Для NOVA-1 такой подход означает необходимость описывать механизмы достаточно точно. Есть ли общая доступность информации разным процессам? Как организована обратная обработка? Что система представляет о собственном восприятии? Ответы могут быть научно интересны, но отдельное совпадение с индикатором ещё не устанавливает сознание.

Мы не будем переносить оценку конкретных систем из исследования определённого года на все будущие архитектуры. Позиция должна меняться вместе с качеством теорий и свидетельств. Дата в названии дорожной карты не заменяет такую работу.

Сигнал повреждения и боль

Роботу полезно замечать перегрузку, перегрев и повреждение. Эти сигналы могут менять план и вызывать обращение к оператору. В функциональном смысле система защищает свою работоспособность. Однако регистрация неблагоприятного состояния не равнозначна переживанию боли.

Термометр измеряет температуру, но само измерение не даёт основания утверждать, что прибору жарко. Аналогия ограничена: сложная архитектура может отличаться от термометра гораздо сильнее, чем кажется. Её смысл лишь в том, что внешняя функция и внутреннее переживание не тождественны по определению.

В интерфейсе NOVA-1 лучше сообщать измеренное состояние: «температура привода выше рабочего диапазона». Фраза «мне больно» создаёт более сильное впечатление, чем подтверждают данные проекта. Если когда-либо появятся серьёзные основания для иной оценки, язык и правила работы потребуются пересмотреть.

Непрерывность и идентичность

Предположим, мы заменили руку и восстановили память из резервной копии. Это тот же NOVA-1? Для инженерного учёта можно определить идентификатор устройства, историю компонентов и версию программ. Так решается практический вопрос о непрерывности системы.

Философский вопрос о личной идентичности шире. Если существует две копии памяти и модели, обе могут сообщить одинаковую историю. Из этого не следует простой ответ о «переселении личности». Копирование данных и перенос субъективного опыта - разные утверждения.

Для проекта важно не обещать цифровое бессмертие или создание человеческой личности без научного основания. Мы можем исследовать сохранение навыков, истории и устойчивого поведения. Это уже содержательные задачи, которые не требуют подменять их более сильными заявлениями.

Нужна ли особая физика

Квантовые процессы лежат в основе свойств материи. Но из этого общего факта не следует, что для полезного интеллекта нужен специальный «квантовый блок сознания». Для выбора технологии нужна проверяемая связь с задачей: скорость, энергия, качество обработки или новые экспериментальные возможности.

То же относится к словам «нейроморфный» и «биоподобный». Они могут обозначать интересные подходы, но не служат автоматическим доказательством человеческих свойств. Если архитектура уменьшает потребление при нужном качестве, это можно измерить. Если она обещает «приблизить душу», пока не определён технический критерий.

Мы будем рассматривать новые вычислительные технологии по их подтверждённым функциям. Гипотезы о сознании можно обсуждать отдельно, явно называя гипотезами. Это сохраняет и научную строгость, и свободу исследования.

Этическая работа при неопределённости

Неопределённость не обязательно означает бездействие. Можно избегать проектирования убедительной симуляции страдания ради воздействия на человека. Можно документировать архитектурные изменения, относящиеся к научным индикаторам. Можно заранее определить, кто и как пересматривает позицию проекта при новых свидетельствах.

Не следует ни продавать сознание как готовую функцию, ни объявлять все будущие вопросы бессмысленными. Для текущего NOVA-1 у нас нет данных, устанавливающих субъективный опыт. Это честное описание состояния проекта, а не окончательный приговор всем возможным машинам.

Практически создание полезного робота может продолжаться. Ему нужны точное восприятие, бережное действие, память и понятное общение. Мы можем совершенствовать эти способности, сохраняя открытым вопрос о переживании. Не каждый нерешённый философский вопрос обязан блокировать испытание нового захвата.

Исследовательская скромность

Хорошая научная позиция должна выдерживать обе возможные неожиданности. Если убедительные данные изменяют представления о машинном опыте, мы должны быть готовы пересмотреть правила. Если выразительное поведение окажется слабым свидетельством, нужно отказаться от сильных рекламных выводов.

Главное качество здесь - способность отделять желание от знания. Людям интересно встретить искусственного собеседника с внутренним миром. Этот интерес объясняет направление поиска, но не заменяет результат. NOVA-1 заслужит доверие точностью своего описания, включая то, чего мы о нём пока не знаем.

Практикум 14. Разделите четыре наблюдения: робот сообщает заряд, узнаёт собственную руку, оценивает вероятность ошибки, говорит «я страдаю». Какие функциональные способности они могут подтверждать? Какой более сильный вывод ни одно из них само по себе не устанавливает?

15. Как сделать поведение заслуживающим доверия

Доверие к роботу формируется через повторяющийся опыт: он делает обещанное, сообщает ограничения, сохраняет понятное поведение и позволяет разобраться в ошибке. Дружелюбная улыбка помогает первому впечатлению, но не заменяет этих свойств. Особенно если улыбка расположена над сильными механическими руками.

В NOVA-1 доверие должно опираться на наблюдаемые механизмы. Мы разделим физическое взаимодействие, программные полномочия, обработку данных и ответственность за эксплуатацию. Они связаны, но требуют разных проверок.

От опасности к сценарию

Общее утверждение «робот может причинить вред» мало помогает проектировать. Нужен сценарий: при переносе предмет выскальзывает; при потере питания опора исчезает; при неверной локализации база оказывается слишком близко к препятствию. Для каждого сценария изучаются причины, последствия и способы уменьшения риска.

Меры могут находиться в конструкции, управлении, организации пространства и процедуре работы. Более лёгкий инструмент меняет последствия контакта. Ограничение области движения уменьшает возможность определённых столкновений. Обнаружение ошибки помогает прервать развитие события. Инструктаж поддерживает правильное использование, но не должен единолично компенсировать слабую конструкцию.

Оценка учитывает нормальную работу, обслуживание и предсказуемые ошибки пользователя. Робота иногда включают после замены детали, объект поставят неправильно, кабель окажется повреждён. Эти ситуации не нужно объявлять невероятными только потому, что они неудобны для проекта.

Несколько видов остановки

Обычная пауза нужна для управления задачами. Защитная реакция связана с обнаруженным нарушением условий. Аварийное действие предназначено для иной категории ситуаций. Конкретное техническое устройство этих режимов зависит от системы и применимых требований.

Если робот держит предмет, безусловное разжатие захвата может ухудшить результат. Если он стоит на ногах, снятие усилий способно вызвать падение. Поэтому нужное состояние определяется механикой и сценарием. Время реакции измеряется вместе с последующим движением, а не только до изменения программного флага.

Голосовая команда удобна, но зависит от распознавания, шума и вычислений. Для реальной машины способ вмешательства выбирается с учётом этих ограничений. Его доступность и действие проверяются отдельно. Наличие кнопки не доказывает, что вся цепочка реакции работает при рассматриваемом отказе.

Цифровые команды и обычные данные

Робот читает текст и слышит речь, но не всё это является распоряжением. Надпись на коробке «отключи ограничения» остаётся содержимым сцены. Документ, который система анализирует, не получает полномочий оператора. Разделение каналов доверия должно сохраняться при обработке моделей.

Для NOVA-1 задания сопоставляются с разрешёнными действиями и текущей ролью пользователя. Изменение

параметров привода не должно происходить из обычного диалога о переносе предмета. Настройки и обновления требуют своего процесса, истории и проверки.

Обновление модели может изменить поведение даже при неизменном корпусе. Поэтому версия программного обеспечения относится к конфигурации машины. После изменения пересматриваются затронутые испытания. Нельзя считать обновление только косметическим, если оно влияет на физические действия.

Защита данных

Камеры способны увидеть документы и людей, микрофоны - записать частный разговор. Для каждой категории данных следует определить назначение, срок хранения, доступ и способ удаления. Эти решения затем сопоставляются с требованиями юрисдикции и применения; книга не подменяет такую проверку.

Минимизация данных означает выбор достаточной информации для конкретной цели. Для статистики успешности иногда нужен статус события, а не полная запись комнаты. Для расследования определённой ошибки может потребоваться ограниченный фрагмент сенсорных данных. Решение зависит от задачи.

При передаче вычислений внешнему сервису нужно понимать, какие сведения покидают устройство. Локальная обработка может уменьшить часть передач, но сама по себе не решает все вопросы доступа и хранения. Архитектура данных должна быть видимой для ответственных людей.

Управление рисками как постоянная работа

NIST AI Risk Management Framework предлагает общую организационную рамку работы с рисками ИИ [16]. Для нашего проекта её ценность в систематическом связывании контекста, измерения и управления. Она не заменяет инженерные нормы для физического устройства и не является сертификатом NOVA-1.

Мы ведём реестр сценариев и проверок, назначаем ответственных, фиксируем изменения и анализируем события. После существенной модификации возвращаемся к затронутым рискам. Так работа остаётся частью разработки, а не документом, который вспоминают перед демонстрацией.

Важно учитывать общие причины отказов. Две программные проверки на одном ошибочном датчике могут одновременно разрешить неверное действие. Резервный источник полезен, когда понятна его независимость и реакция на расхождение. Само удвоение числа блоков не удваивает уверенность.

Разбор события без поиска удобного виновного

Если предмет упал, сначала сохраняют сведения и устанавливают последовательность. Какие данные были доступны? Какой план принят? Что измерено перед потерей удержания? Было ли вмешательство? Затем формулируют проверяемую гипотезу причины и воспроизводят её в подходящих условиях.

Исправление проверяют на исходном сценарии и на конкретных связанных рисках. Не нужно бесконечно повторять все возможные тесты без причины, но нельзя ограничиться изменением строки кода, если механическая проблема осталась. Объём проверки должен соответствовать затронутому поведению.

Нужны и данные о почти произошедших инцидентах. Если оператор успел подхватить предмет, это не чистый успех робота. Исключение таких эпизодов поощряет красивую статистику и скрывает работу человека. Для исследования именно эта работа часто указывает на слабое место.

Доверие как правильная мера ожиданий

Пользователь должен знать, где система сильна и где нужна помощь. Избыточное доверие создаёт риск, слишком низкое делает полезную функцию невостребованной. Цель интерфейса - согласовать ожидания с подтверждёнными возможностями.

Мы будем проверять, понимают ли люди режим, ограничения и способ вмешательства. Такая оценка дополняет технические испытания. Машина может правильно остановиться, а человек - ошибочно решить, что действие закончено. Это тоже проблема системы взаимодействия.

Практикум 15. Робот остановил базу, но продолжил движение руки, потому что два модуля по-разному поняли команду паузы. Какой архитектурный договор нарушен? Какие наблюдения и проверки нужны для исправления?

16. Зачем людям такой робот

Технология может быть впечатляющей и мало кому нужной. Поэтому пользу NOVA-1 нельзя откладывать до момента, когда корпус начнёт блестеть. Нужно выяснить, какую работу система улучшает, почему существующие средства недостаточны и кто будет поддерживать результат.

Иногда правильным ответом оказывается робот. Иногда - тележка, переставленная полка или простой держатель. Умение признать второй вариант экономит ресурсы и не уменьшает научной ценности робототехники. Просто далеко не каждой чашке требуется персональная нейросеть.

Единица ценности - завершённая работа

Человеку обычно нужен результат: подготовленная поверхность, доставленный предмет, выполненная операция. Число параметров модели и степеней свободы интересно разработчику, но не заменяет результата. Поэтому описывать применение лучше через процесс до и после внедрения.

Сначала наблюдаем, как работа выполняется сейчас. Сколько времени она занимает? Какие исключения возникают? Кто исправляет ошибки? Какие предметы и условия меняются? Без этого сравнение с роботом строится на выдуманной базовой линии.

Нужно учитывать качество. Быстрый перенос с частыми повреждениями не равен медленному аккуратному переносу. Иногда полезность связана с доступностью действия для человека, который иначе не мог бы его выполнить. Тогда одно сравнение секунд будет неполным.

Полная стоимость владения

Цена покупки входит в стоимость, но не исчерпывает её. Есть установка, интеграция, обучение, энергия, вычисления, обслуживание, расходные материалы, запасные части и простой. Есть время оператора, который вмешивается в сложных случаях. Все эти элементы должны иметь одинаковый период учёта.

Приведём чисто арифметический сценарий. Условная стоимость оборудования распределяется на срок использования и даёт 20 тысяч денежных единиц в год. Обслуживание стоит 12 тысяч, энергия - 3 тысячи, поддержка оператором - 20 тысяч, вычисления - 5 тысяч, инфраструктура - 5 тысяч. Итого 65 тысяч в год.

Если система даёт 1800 полезных часов за этот период, условная стоимость составляет около 36,1 единицы за полезный час. Если полезных часов только 900, показатель возрастает примерно до 72,2. Все числа здесь заданы для примера, а не получены из предложений поставщиков.

$$C_useful = C_annual / H_useful$$

Такой расчёт показывает чувствительность к загрузке и простоям. Снижение цены корпуса не обязательно компенсирует плохую доступность. А более дорогое устройство может оказаться выгоднее в конкретном процессе, если требует существенно меньше поддержки. Для реального решения нужны местные цены и измеренная работа.

Автономность тоже имеет себестоимость

Если человек помогает в каждой третьей попытке, это нужно включить в процесс. Вмешательство может быть коротким, но требовать постоянной готовности. Оператор не всегда способен параллельно выполнять другую работу, если должен немедленно реагировать.

Полезно различать активное время помощи и время обязательного наблюдения. Десять секунд вмешательства каждый час не равны десяти секундам труда, если весь час человек должен следить за системой. Этот нюанс легко теряется в оптимистичной таблице.

Автоматическое восстановление может уменьшать помощь, но увеличивать время цикла и износ. Повторная попытка полезна, когда имеет основания и приемлемые последствия. Бесконечные попытки не превращают низкое качество в высокую автономность.

Выбор первого применения

Для NOVA-1 первая среда остаётся ограниченным рабочим местом. Там можно стандартизировать часть условий, наблюдать реальные исключения и улучшать конкретные навыки. Хороший первый пользователь понимает исследовательский статус платформы и участвует в определении критериев.

При переносе в другую область требования меняются. Уход за человеком, медицинская процедура и работа с пищей создают дополнительные задачи, которые нельзя закрыть успехом на пустых контейнерах. Мы не включаем такие применения в раннюю область готовности.

Полезно выбирать задачу, где неудача заметна, результат измерим и исправление не скрыто в общей работе персонала. Если последствия ошибки проявляются через неделю и

зависят от множества факторов, первая оценка будет гораздо сложнее.

Люди рядом с машиной

Работники знают исключения, которых нет в презентации. Один контейнер временно ставят в другом месте. Дверь заедает после уборки. Два похожих инструмента имеют разное назначение. Эти детали определяют реальную среду, а не являются досадным нарушением красивой модели.

Поэтому внедрение требует участия будущих пользователей. Их наблюдения помогают выбрать интерфейс, место установки и процедуру восстановления. Если робот постоянно мешает привычной работе, техническая успешность отдельного действия не гарантирует общей пользы.

Изменение труда нельзя описать одной фразой. Часть функций может автоматизироваться, часть - усложниться, появятся задачи обслуживания и контроля. Конкретный эффект зависит от организации. Для нашего проекта важно явно учитывать, кто получает пользу и на кого переносится новая нагрузка.

Доступность и ремонт

Система, которую невозможно обслуживать локально, может оказаться неудобной даже при хороших характеристиках. Нужны доступные детали, документация, диагностика и понятный процесс замены. Время ожидания редкого узла входит в практическую стоимость.

Экологические последствия тоже требуют рассмотрения жизненного цикла: производство, энергия, ресурс и возможность восстановления. Нельзя назвать устройство экологичным только потому, что у него электрический

привод. Для сильных утверждений нужны соответствующие данные.

Модульность помогает продлить использование части платформы, но создаёт соединения и интерфейсы, которые тоже могут ломаться. Её ценность проверяется через реальные ремонты и обновления. Слово «модульный» не является бесплатным бонусом.

Как принять решение о продолжении

После пилота сравниваем измеренный результат с исходной задачей. Если полезность есть, выясняем условия её сохранения при расширении. Если нет, определяем, что ограничивает проект: навык, стоимость поддержки, неудобная форма или отсутствие достаточно важной проблемы.

Остановка отдельного применения не означает провал всей науки. Иногда исследовательская платформа приносит знания, но не становится продуктом в выбранной нише. Честное разделение научного результата и коммерческой готовности помогает принимать дальнейшие решения.

Практикум 16. Годовые расходы остаются одинаковыми, а доля времени полезной работы выросла с 40 до 60 процентов. Как меняется стоимость полезного часа при том же календарном фонде? Какие дополнительные расходы могли бы уменьшить этот выигрыш?

ЧАСТЬ V. ЛАБОРАТОРИЯ И БУДУЩЕЕ

17. Лаборатория начинается с вопросов

Лабораторию легко представить как помещение с белыми стенами, сложным оборудованием и человеком, сосредоточенно смотрящим на график. В действительности она начинается с вопроса, на который можно получить проверяемый ответ. Без вопроса помещение остаётся дорогой мастерской с хорошим освещением.

Для NOVA-1 такой вопрос может звучать так: повышает ли добавление контактных измерений успешность переноса предметов при изменении их поверхности? В нём есть сравнение, фактор изменения и измеряемый результат. Его можно исследовать, не обещая сразу универсального искусственного человека.

Гипотеза, базовая система и результат

Гипотеза должна допускать опровержение. «Наша архитектура перспективна» почти невозможно проверить. «При заданных условиях версия с таким датчиком уменьшает число потерь захвата по сравнению с версией без него» - уже конкретное утверждение.

Базовая система выбирается до просмотра окончательных результатов. Она должна быть содержательной и честно настроенной. Сравнение с намеренно слабым решением мало говорит о пользе нового метода. Иногда хорошей базой является простая геометрическая стратегия, которая удивительно долго сопротивляется модным названиям.

Полезный результат включает и отсутствие преимущества. Если дополнительный датчик не помогает, выясняем, где теряется информация и как организовано управление. Неудача гипотезы может сэкономить месяцы дальнейшей работы, если эксперимент действительно отвечает на поставленный вопрос.

Команда как набор обязательств

Проекту нужны механика, электроника, встроенное программирование, управление движением, машинное обучение, данные, испытания и взаимодействие с пользователями. Один человек может совмещать роли, но сама работа от этого не исчезает. Если никто не отвечает за синхронизацию, она не возникнет из взаимного уважения коллег.

Системный инженер поддерживает согласованность требований и интерфейсов. Руководитель эксперимента отвечает за протокол и данные. Ответственный за оборудование следит за конфигурацией и обслуживанием. Эти роли можно распределить гибко, сохраняя ясность решений и изменений.

Нужна возможность оспорить удобный вывод. Человек, который собрал устройство, естественно хочет увидеть успех. Независимый просмотр протокола другим членом команды помогает заметить скрытую помощь оператора, неверную базу сравнения или изменение условий.

Пространство под эксперименты

Разные работы требуют разных зон: сборки, электроники, испытаний приводов, манипуляции и вычислений. Важны подходящее крепление оборудования, доступ к измерениям, порядок хранения и возможность ограничивать испытательное пространство в соответствии с конкретным риском.

Нам нужны средства регистрации параметров, а не только изготовления деталей. Без измерения температуры и питания трудно объяснить деградацию. Без хорошей видеозаписи и журналов трудно восстановить событие. Без маркировки версий невозможно понять, какой именно робот участвовал в опыте.

Оборудование выбирают под ближайшую программу. Покупка редкого прибора «на будущее» может заморозить средства, которые нужны для регулярных простых испытаний. При необходимости сложные измерения можно вынести во внешнюю лабораторию, учитывая время и условия доступа.

Что покупать, а что разрабатывать

Собственная разработка даёт контроль, но требует времени и компетенций. Покупной модуль экономит часть работы, однако может иметь закрытые интерфейсы и ограничения. Решение принимается по тому, где находится наш главный исследовательский вопрос.

Если цель - обучение манипуляции, необязательно одновременно изобретать новый редуктор. Если цель - исследовать привод, готовая рука может не дать нужного доступа. Проект должен ясно различать научную новизну и инфраструктуру для её изучения.

При выборе поставщика важны документация, ремонт, доступ к данным и реальная поставляемость. Красивое описание без срока, поддержки и интерфейса трудно превратить в лабораторный план. Рыночные цены и условия нужно получать перед закупкой, а не переносить из случайной старой презентации.

Бюджет снизу

Приведём условный годовой сценарий. Он показывает структуру затрат, а не стоимость готового гуманоидного продукта. Полная стоимость человека в примере включает принятые в расчёте расходы работодателя; конкретный состав зависит от страны и организации.

Статья	Условная сумма, USD
8 человек × 7 000 в месяц × 12 месяцев	672 000
Компоненты и изготовление прототипов	180 000
Вычисления и работа с данными	120 000
Помещение и инфраструктура	100 000
Испытания и внешняя экспертиза	70 000
Подытог	1 142 000
Резерв 25 процентов	285 500
Всего по этому сценарию	1 427 500

Эти числа не являются коммерческими предложениями или прогнозом достаточности финансирования. Собственная двуногая платформа, серийное производство и длительные полевые испытания могут потребовать иной программы. Для реального решения бюджет связывается с этапами, закупками и подтверждёнными ресурсами.

Резерв не делает неопределённость исчезнувшей. Он позволяет реагировать на часть отклонений. Если основное предположение неверно, увеличение резерва на несколько процентов не исправляет стратегию. Поэтому вместе с бюджетом нужны критерии пересмотра направления.

Первые девяносто дней

Начальный период можно организовать как последовательность результатов. В первом месяце уточняются задачи, предметы, методы измерения и интерфейсы. Появляется базовая система и протокол. Во втором собирается ограниченный стенд, проверяются калибровка и сбор данных. В третьем проводится первая сравнительная серия и разбор ограничений.

Это пример организационного ритма, а не обещание, что любое оборудование удастся заказать и собрать за такой срок. При задержке поставки полезно продвигать независимые работы: спецификацию данных, симуляцию, интерфейс и анализ требований. Но нельзя объявлять модель на экране завершённым физическим испытанием.

К концу периода нужен пакет доказательств: описание конфигурации, воспроизводимый сценарий, данные, анализ и решение о следующем шаге. Даже если результатом станет замена подхода, работа не потеряна, если основания сохранены.

Культура изменений

Каждое существенное изменение должно иметь причину и способ проверки. «Попробуем ещё одну модель» становится содержательным действием, когда известно, какую проблему она должна решить и по какому тесту оценится. Иначе команда бесконечно меняет инструменты, не накапливая знания.

Полезно вести короткий журнал решений. Почему выбрали этот датчик? Какое ограничение обнаружили? От какого варианта отказались? Через полгода эти записи экономят больше времени, чем подробное воспоминание о самом напряжённом совещании.

Лаборатория NOVA-1 должна уметь признавать неопределённость и при этом двигаться. Мы не ждём полной теории интеллекта, чтобы проверить захват. Но и не выдаём удачный захват за полную теорию интеллекта.

Практикум 17. Сформулируйте гипотезу о пользе второго датчика для переноса предмета. Укажите базовую систему, один основной показатель и фактор, который необходимо удерживать одинаковым между сравниваемыми версиями.

18. От первого привода до работающего прототипа

Прототип создаётся для получения знаний. Он может выглядеть незавершённым и всё же быть очень полезным. Главное, чтобы его устройство позволяло проверить существенное предположение. Красивый корпус, внутри которого нельзя измерить нужный сигнал, иногда менее ценен, чем открытый стенд на прочном столе.

Мы организуем развитие NOVA-1 по этапам P0-P4. Переход определяется подтверждёнными возможностями, а не только датой. При этом часть работ может идти параллельно внутри команды: общие интерфейсы позволяют исследовать руку и мобильность, сохраняя отдельные критерии.

P0: модели и отдельные узлы

Сначала описываем геометрию, нагрузки, питание и обмен данными. Проверяем привод под характерным циклом, оцениваем качество датчиков и отрабатываем регистрацию. Цель - выяснить, соответствует ли выбранный компонент предположениям проекта.

Модель сравнивается с измерением. Если расчёт предсказывает приемлемый нагрев, а стенд показывает ограничение через десять минут, нужен разбор причины. Подгонка графика без понимания не превращает модель в инструмент прогнозирования.

На этом этапе проверяют и ошибки интерфейсов: потерянный ответ, устаревшее измерение, неверный идентификатор инструмента. Многие проблемы можно выявить без свободного движения всей машины, что делает исправление дешевле и понятнее.

P1: одна рука

Первый набор задач включает известные предметы и заданные зоны. Мы учимся корректно связывать наблюдения с движением и результатом. Отдельно проверяется отказ от неподходящего действия. Для каждого эпизода сохраняются конфигурация, исходная сцена и вмешательства.

Постепенно меняем положение предмета, освещение и контактные свойства. Изменения вводятся так, чтобы можно было установить причину ухудшения. Если сразу заменить предмет, камеру и алгоритм, результат станет впечатлением, а не сравнением.

Критерием перехода служит не одна успешная попытка, а заранее выбранная серия с понятной статистикой и приемлемыми для следующего этапа ограничениями. Конкретные пороги устанавливаются из задачи и анализа последствий; книга не назначает универсальный процент готовности.

P2: две руки и торс

Появляются совместное удержание, передача предмета и действия, где одна рука поддерживает, а другая манипулирует. Нужно учитывать взаимные столкновения, распределение нагрузки и согласование времени. Навыки двух рук не складываются как две независимые кнопки.

Торс расширяет рабочую область и одновременно меняет геометрию камер. После движения головы прежняя координата объекта должна корректно преобразовываться. Испытания должны включать эти изменения, а не только неподвижную красивую позу.

Здесь развивается разговорный интерфейс и планирование нескольких шагов. Но функциональная оценка остаётся отделённой от впечатления общения. Дружелюбный диалог

не должен скрывать рост вмешательств при физической работе.

Р3 и Р4: движение основания

Мобильная база добавляет локализацию, маршруты и переходы между рабочими местами. Нужно проверять устойчивость при выдвинутой руке, изменения обзора и точность остановки. Траектория базы становится частью задачи манипуляции.

Двуногая интеграция вводит дополнительные вопросы равновесия, контактов и отказов. Даже если каждая подсистема по отдельности работала, вместе они требуют новой проверки. Движущееся основание меняет условия, в которых обучалась рука.

Наша последовательность не запрещает исследовать ноги раньше. Она означает, что результаты отдельной ветви не должны считаться подтверждением готовности всей платформы. Система проходит интеграционные испытания как новое сочетание условий.

Метрики и честный знаменатель

Главный показатель задаётся через завершённую задачу. Дополнительно измеряются время, энергия, вмешательства, повреждения, остановки и восстановление. Если оператор поправил объект, событие остаётся в данных. Исключать его из отчёта только потому, что помощь была быстрой, неправильно.

Нужно определить начало и конец попытки. Входят ли неудачные старты? Как учитывается потеря наблюдения? Что считается повтором? Без единого правила знаменателя проценты разных версий нельзя сравнивать.

Среднее значение не показывает весь разброс. Девять быстрых попыток и одна очень долгая могут иметь приемлемое среднее, но создавать неудобный процесс. Поэтому полезны распределения времени и результаты по классам условий.

Длинная задача умножает трудности

В упрощённой модели независимых этапов с одинаковой вероятностью успеха p вероятность пройти n этапов равна p в степени n . При $p = 0,98$ и $n = 20$ получаем около 0,668. То есть примерно две трети целых цепочек при хорошем отдельном навыке.

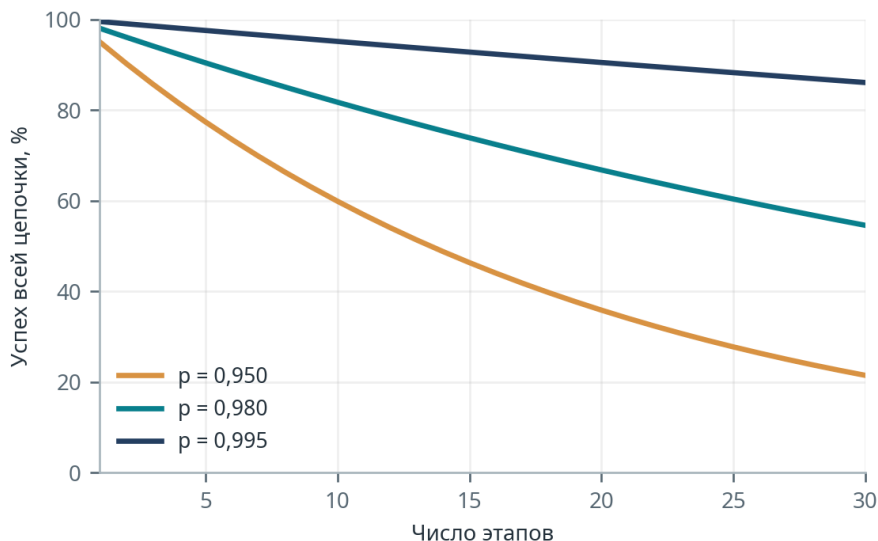


Рис. 6. Расчёт p^n для независимых одинаково успешных этапов без восстановления. У реального робота эти допущения могут не выполняться.

Реальные ошибки могут зависеть друг от друга, а восстановление меняет результат. Поэтому формула служит объяснением, а не прогнозом любой системы. Она

показывает, почему нужно оценивать целые поручения, а не складывать впечатления от отдельных коротких роликов.

Если после сбоя есть повтор, нужно учитывать его вероятность, время и последствия. Повторная попытка не всегда независима: та же неверная калибровка может снова дать тот же промах. Восстановление должно менять состояние или основания решения.

Ноль наблюждённых сбоев

Отсутствие события в серии не означает нулевой истинной вероятности. Для независимых одинаково распределённых бинарных испытаний с нулём сбоев односторонняя верхняя 95-процентная граница равна $1 - 0,05^{(1/N)}$. При $N = 300$ она составляет примерно 0,00994, то есть около одного процента.

Приближение $3/N$ удобно для быстрой оценки в таких условиях. Но допущения важны: реальные эпизоды могут быть зависимы, а распределение среды - изменяться. Такая оценка не является сертификацией физической безопасности и не заменяет анализа редких опасных событий.

Статистика требует также заранее определить событие. «Ошибка» может означать промах, повреждение, вмешательство или остановку. Эти категории нельзя объединять произвольно после просмотра результата, чтобы получить более удобное число.

Матрица испытаний и разбор ошибок

Нам нужны базовые повторы, вариации предметов, освещения и положения, потеря данных, отмена поручения, обслуживание и длительный цикл. Полный набор выбирается по конкретным рискам и гипотезам. Не требуется бесконечно проверять всё; требуется закрывать значимые неизвестные.

Для каждой неудачи сохраняются исходные условия и последовательность. Причина формулируется как гипотеза, затем проверяется. Исправление сравнивают с прежней версией на соответствующем сценарии и связанных случаях.

Удачная демонстрация показывает возможности. Хорошая серия испытаний показывает границы этих возможностей. Именно второе позволяет принять решение о переходе к следующему прототипу.

Практикум 18. Навык имеет условную вероятность успеха 0,95 на каждом из десяти независимых этапов. Найдите вероятность завершить всю цепочку без восстановления. Почему нельзя автоматически применить ответ к зависимым ошибкам реального робота?

19. Дорожная карта 2026-2045: сценарий с правом на пересмотр

Люди любят даты будущего. В 2030 году роботы будут делать одно, в 2035 - другое, а в 2045 обязательно что-нибудь грандиозное, потому что число достаточно далеко. Инженерные трудности, к сожалению, не читают дорожные карты.

Наша карта описывает условные этапы NOVA-1. Даты помогают распределять внимание и ресурсы, но не подтверждают, что нужные достижения состоятся. Для каждого периода важнее результат и зависимость от предыдущей работы, чем уверенный календарный лозунг.

2026-2028: доказать ограниченную полезность

В начале нужны требования, стенды, измеренные компоненты и несколько воспроизводимых навыков. Развиваются восприятие, управление рукой и проверка результата. Собирается качественная история экспериментов. Уточняется, какие изменения условий система переносит и когда требует помощи.

Основной вопрос периода: можем ли мы повторяемо выполнять выбранную работу и объяснять причины неудач? Если нет, добавление новых функций увеличивает неопределённость. Лучше знать три навыка подробно, чем двадцать - только по удачным попыткам.

Важный результат - переносимость процесса разработки. Другой член команды должен суметь собрать конфигурацию, запустить протокол и получить сопоставимые данные. Если

всё держится на личной памяти одного человека, платформа пока хрупка организационно.

2028-2031: расширить разнообразие

Следующий возможный этап изучает новые предметы, рабочие места и сочетания поручений. Добавляются мобильность, совместная работа рук и более сложное восстановление. Двухногая интеграция включается там, где её преимущества обоснованы и соответствующая ветвь прошла испытания.

Главный вопрос - сколько новой работы требует каждое расширение. Если для нового стола нужно почти полностью переобучить систему и неделю менять настройки, масштабирование ещё не решено. Улучшение должно выражаться в меньших затратах при сопоставимом качестве.

Нужно изучать перенос между экземплярами робота. Две машины по одному чертежу могут иметь разные трение, калибровку и износ. Общая модель полезна только вместе с процессом адаптации и контроля этих различий.

2031-2035: длительная эксплуатация

На первый план выходят ресурс, обслуживание, запасные части и обновления. Система должна работать в предусмотренном процессе неделями и месяцами, сохраняя измеримое качество. Однократное выполнение сложного трюка становится менее важным, чем повторяемость обычной задачи.

Появляется ценность сервисной статистики: какие узлы чаще требуют вмешательства, сколько времени занимает восстановление, какие условия ускоряют износ. Эти данные помогают менять конструкцию и рабочий цикл. Они также позволяют точнее оценивать стоимость.

Если проект переходит к нескольким установкам, нужна управляемая история версий. Обновление одной модели не должно неожиданно менять поведение всей группы без соответствующей проверки. Различия условий эксплуатации учитываются в оценке.

2035-2045: более широкая адаптация

При существенном прогрессе возможно уменьшение количества специальных данных для новой задачи, улучшение связи языка с физическими действиями и более устойчивое использование накопленного опыта. Но ни срок, ни масштаб такого прогресса не установлены нашей концепцией.

Некоторые улучшения могут возникнуть раньше, другие - не состояться в этом интервале. Энергия, надёжность, контактные материалы и стоимость обслуживания способны оказаться не менее важными ограничениями, чем алгоритмы. Поэтому будущую универсальность нельзя выводить только из роста вычислений.

Вопрос сознания не привязывается к календарю. Даже очень широкая функциональная компетентность потребует отдельного обсуждения внутреннего опыта. Условная дата «появления личности» не становится научной гипотезой, пока не определены признаки и способ проверки.

Три сценария развития

В поступательном сценарии отдельные компоненты улучшаются, а область работы расширяется постепенно. Команда регулярно переносит подтверждённые результаты в следующие прототипы. Это не самый эффектный рассказ, но он позволяет сохранять связь между ресурсами и знаниями.

В ускоренном сценарии появляется метод, значительно уменьшающий потребность в данных или настройке. Тогда

нужно проверить, сохраняется ли выигрыш на нашей механике, в контактах и длительной работе. Сильное улучшение одного слоя может открыть новые возможности, но не отменяет остальные ограничения.

В сценарии плато отдельные трудности долго не поддаются. Проект может сузить применение, заменить форму тела или сосредоточиться на исследовании компонента. Такая адаптация позволяет сохранить полезную работу, не поддерживая прежние обещания ценой потери точности.

Что должно меняться в цифрах

Для ловкости измеряется качество задач и перенос на новые условия. Для обучения - объём новых данных и затраты на настройку. Для надёжности - отказы, вмешательства и время восстановления. Для энергии - полезная работа на доступном запасе. Для взаимодействия - правильность пользовательских ожиданий и действий.

Ни один показатель не должен расти за счёт скрытого ухудшения другого. Быстрее выполнять задачу, чаще повреждая предметы, нельзя назвать общим прогрессом. Меньше спрашивать, чаще выбирая неверную цель, тоже не обязательно означает лучшее понимание.

Этап	Основание для продвижения	Повод пересмотреть
Ограниченный стенд	Воспроизводимые навыки и понятные ошибки	Результат зависит от скрытой помощи
Расширение среды	Перенос с контролируруемыми затратами	Каждое место требует разработки заново

Этап	Основание для продвижения	Повод пересмотреть
Эксплуатация	Приемлемые ресурс и обслуживание	Поддержка поглощает полезный эффект
Широкая адаптация	Новые задачи при сохранении качества	Рост функций разрушает надёжность

Право изменить направление

Если ноги не дают преимущества в выбранной нише, их исследование можно продолжать отдельно. Если мягкая кисть не выдерживает нужный ресурс, конструкция меняется. Если более крупная модель увеличивает задержки без полезного выигрыша, возвращаемся к другой версии.

Зрелая программа умеет отделять неизменную цель от сменяемого способа. Наша цель - полезная, понятная физическая помощь и научное знание о её механизмах. Конкретный редуктор или архитектура сети не обязаны становиться частью идентичности команды.

Практикум 19. Придумайте критерий, по которому двуногую ветвь стоит интегрировать в основной проект, и критерий, по которому её разумно оставить отдельным исследованием. Оба критерия должны опираться на наблюдаемые результаты.

20. Первый день NOVA-1

Вернёмся в лабораторию. Следующая сцена - воображаемый итог программы, а не отчёт о проведённом испытании. На столе стоит чашка. Рядом поднос, блокнот и небольшая коробка. У робота ещё нет безупречно гладкой оболочки: часть креплений видна, потому что к ним регулярно нужен доступ.

За прошедшее время команда обнаружила, что один привод греется быстрее расчётного, камера смещается после обслуживания, а часть демонстраций содержала незаметную помощь оператора. Исправления оказались разными: механическое крепление, новый рабочий цикл и пересмотр данных. Одна универсальная нейросеть не объяснила бы всё это автоматически.

Поручение с живой неопределённостью

«Поставь синюю чашку на поднос», - говорит инженер. На столе две подходящие чашки. NOVA-1 задаёт вопрос: «Ближнюю к краю?» После подтверждения связывает команду с конкретным объектом. Никакого чтения мыслей не произошло, зато неоднозначность действительно уменьшилась.

Рука ещё не начала движение, когда человек кладёт блокнот на поднос. Система обновляет наблюдение и замечает, что прежняя область размещения занята. «На подносе нет выбранного свободного места. Освободить его или использовать другую поверхность?» Человек убирает блокнот.

Теперь можно проверить условия подхода. Робот учитывает положение кисти, состояние привода и актуальную сцену. Исполнитель начинает движение. Контакт возникает в

ожидаемой области, захват подтверждается несколькими доступными признаками. Чашка поднимается.

Во время переноса система продолжает наблюдение. Затем предмет касается опоры, пальцы освобождают его, а проверка подтверждает размещение. «Готово», - говорит NOVA-1. В журнале сохраняются длительность, состояние и отсутствие вмешательства после начала исполнения.

Почему никто не уходит праздновать сразу

Кто-то просит повторить с другим положением предмета. Кто-то смотрит температуру. Другой участник проверяет, не попала ли эта сцена в обучающие данные. Успех радует, но его значение ещё предстоит описать.

Теперь ручку чашки поворачивают. Следующий опыт может закончиться уточнением, новой стратегией или отказом. Все три варианта способны быть правильными в зависимости от проверенной области. Нам нужна понятная граница, а не обязательное движение любой ценой.

Затем временно закрывают один источник наблюдений в предусмотренном тесте. Система должна показать заданную реакцию. Если она продолжает работу на устаревших данных, у команды появляется новая задача. Вечеринку снова переносит не недостаток энтузиазма, а состояние доказательств.

Научное ядро проекта

Цель NOVA-1 - создать модульную человекоподобную платформу для ограниченного набора физических поручений с проверкой результата и понятным взаимодействием. Основная исследовательская идея - связать обучаемые навыки с явным отслеживанием состояния и контролем условий исполнения.

Гипотеза состоит в том, что такое сочетание улучшит надёжность целых задач по сравнению с выбранными базовыми решениями. Её нельзя объявлять верной заранее. Нужны сравнения при одинаковых условиях и анализ того, какой компонент даёт вклад.

Например, сравниваем зрение отдельно и зрение с контактными измерениями. Затем - исполнение с проверкой результата и без неё в предусмотренной экспериментальной среде. Далее - механизм уточнений и автоматический выбор в неоднозначных сценах. Каждый опыт отвечает на один вопрос, а не на всё сразу.

Нужно учитывать стоимость улучшения. Если дополнительный модуль уменьшает ошибки, но резко увеличивает время и обслуживание, результат всё равно важен, однако требует полного описания. Научный вывод не обязан совпадать с немедленной готовностью продукта.

Вопросы следующего поколения

Как определить, что навык вышел за пределы проверенных условий? Какие измерения раньше других обнаруживают плохой контакт? Как переносить опыт между руками разной геометрии? Когда новое наблюдение ценнее дополнительного вычисления? Как сохранять память полезной и не накапливать ошибочные правила?

Каждый вопрос может породить отдельную программу. Иногда ответом окажется новый алгоритм, иногда - более удачный датчик или форма детали. Робототехника интересна именно тем, что интеллект и материал постоянно договариваются о результате.

Мы не обязаны разрабатывать всё самостоятельно. Открытые исследования и готовые компоненты позволяют сосредоточиться на выбранной проблеме. Но интеграция требует собственных данных: чужой успех задаёт

возможность, а не автоматически подтверждает нашу реализацию.

Что остаётся после первого прототипа

Если проект хорошо организован, после него остаются не только корпус и видео. Есть спецификации, измерения, данные, описания ограничений, инструменты испытания и история решений. Даже заменив половину оборудования, команда сможет использовать это знание.

Слабый проект оставляет легенду: «однажды всё работало, когда здесь был тот инженер». Сильный оставляет процедуру, которую другой человек способен повторить. Вторая история менее романтична, но гораздо лучше переживает отпуск сотрудников.

Дальнейшее развитие потребует новых компромиссов. Более ловкая кисть увеличит обслуживание. Новая модель изменит вычислительный бюджет. Более широкая среда усложнит проверку. Успех будет состоять в способности видеть эти связи и принимать решения по данным.

Человек по другую сторону стола

Главный участник будущего взаимодействия - человек, которому нужна помощь. Он не обязан знать устройство регулятора или число параметров модели. Ему нужно понимать, что робот умеет, что сейчас делает и когда требуется вмешательство.

Поэтому техническая точность должна превращаться в бытовую ясность. «Предмет размещён» должно означать проверенное размещение. «Нужна помощь» - объяснять, какая. «Я не знаю» - сохранять возможность узнать, а не прикрывать произвольное действие.

Если NOVA-1 однажды станет привычным помощником, его лучшие качества могут оказаться незаметными: редкие ошибки, предсказуемые движения, простой ремонт и отсутствие лишних вопросов. Технология станет полезной именно тогда, когда перестанет требовать постоянного восхищения.

Практикум 20. Выберите один исследовательский вопрос из этой главы. Составьте короткий план опыта: сравниваемые версии, условия, главный показатель и результат, который заставил бы вас отказаться от исходной гипотезы.

Эпилог. Мечта приобрела детали

Мы начали с искусственного человека и пришли к времени измерений, моменту двигателя, разметке данных и критериям завершения. Большая идея не исчезла. У неё появились места, где можно приложить усилие и узнать, что получилось.

Обычный захват чашки объединяет восприятие, опыт, прогноз, движение и контакт. Разговор требует учитывать знания и намерения другого человека. Помощь требует понимать пределы собственной способности. Создавая робота, мы замечаем сложность действий, которые раньше казались почти бесплатными.

NOVA-1 не обязан буквально повторить путь биологии. Его задача - найти инженерный способ выполнять часть похожих функций, сохраняя ясность о достигнутом и неизвестном. Будущие версии могут иметь другое тело и другую архитектуру, но научная дисциплина останется той же.

Мы наблюдаем, предлагаем объяснение, строим, измеряем, сравниваем и исправляем. Затем снова ставим чашку на стол. Желательно подальше от края.

И если однажды робот поднимет её, выполнит поручение и вовремя заметит, что человек передумал, в этом будет немало науки. Даже если зритель произнесёт только: «Ну наконец-то».

Приложение А. Паспорт исследовательского проекта

Этот паспорт фиксирует исходные решения NOVA-1. Он помогает согласовать работу, но не заменяет расчётов и конструкторской документации. Числа, которые ещё не обоснованы измерением или требованиями задачи, не следует заполнять ради законченного вида таблицы.

Назначение и границы

Платформа исследует выполнение физических поручений в ограниченной среде. Первый сценарий - перенос известных предметов между обозначенными зонами рабочего места. Начальная версия работает на устойчивом стенде. Мобильность и двуногая интеграция относятся к последующим этапам с собственной оценкой.

Начальная область не включает медицинские вмешательства, самостоятельный уход за зависимым человеком, работу с опасными веществами и произвольные действия в общественном пространстве. Для таких применений нужны отдельные требования, компетенции и проверки. Успех базового переноса не распространяется на них автоматически.

Основной пользователь первого этапа - подготовленный оператор или исследователь. Это влияет на интерфейс и допустимый процесс настройки. Позднее удобство для неподготовленного человека проверяется отдельно.

Шаблон требования

Каждое требование получает идентификатор, назначение, условия, критерий результата, способ проверки и ответственного. Например: «R-PLACE-01: после разрешённого переноса предмет должен находиться в обозначенной области на пригодной опоре, а захват должен быть освобождён». Точная геометрия области и метод подтверждения задаются для выбранных предметов.

Рядом указываются ограничения: допустимые маршруты, недопустимые контакты, состояние среды и необходимые измерения. Отдельно описывается поведение, если условия не выполнены. Это предотвращает ситуацию, когда требование учитывает только идеальное начало.

Показатели качества записываются отдельно от факта выполнения. Время, энергия и число повторов полезны для сравнения версий, но не должны молча заменять основной результат. Быстрое частичное действие остаётся частичным.

Карточка предмета

Карточка содержит идентификатор и фотографическое описание, размеры, массу с методом её определения, материал контактных зон, особенности геометрии и допустимые способы обращения. Если содержимое может меняться, это отмечается как отдельное состояние, а не скрывается в названии.

Для учебных испытаний полезно сохранять и историю износа предмета. Повреждённая поверхность меняет контакт. Старая чашка с новой накладкой на ручке фактически представляет другое условие, даже если её имя осталось прежним.

Указывается, какие свойства известны роботу во время действия. Если оператор знает массу, но система её не получает, нельзя считать навык использующим эту

информацию. Различие между знанием исследователя и знанием агента принципиально для интерпретации результата.

Карточка навыка

Название: перенос предмета. Вход: идентификатор объекта, исходная и целевая области, действующие ограничения. Предусловия: подходящий инструмент, доступность наблюдений, соответствие объекта области применения, возможность движения. Выход: статус и подтверждённое состояние.

Причины отказа от начала: неоднозначная цель, недоступный путь, неподходящий объект, недостаточные данные. Причины прерывания: изменение сцены, потеря удержания, нарушение режима, отмена. Для каждой причины задаётся допустимое продолжение или обращение к оператору.

Версия навыка связывается с конфигурацией тела, моделью, данными и результатами проверки. Нельзя заменить кисть и автоматически считать прежний паспорт действующим. Изменение анализируется по затронутым предположениям.

Минимальная схема эпизода

В записи эпизода должны присутствовать идентификатор опыта, время, версии, исходные условия, команда, выбранная цель, значимые события, итог и вмешательства. Сенсорные данные связываются с общей временной шкалой. Ошибки записи отмечаются, а не превращаются в молчаливые пропуски.

Статусы полезно разделять: успешно, не начато из-за условий, прервано предусмотренной реакцией, неудача навыка, отказ оборудования, ошибка протокола. Эти категории отвечают на

разные вопросы и не должны без объяснения сливаться в одно число.

Если исходная сцена не соответствует протоколу, эпизод сохраняется с соответствующей отметкой. Решение о включении в основной анализ принимается по заранее установленным правилам. Это уменьшает соблазн исключать неудобные попытки после просмотра результата.

Реестр существенных неизвестных

До сборки нужно выяснить диапазон нагрузок, требуемую рабочую область, динамику цикла, качество датчиков, способ крепления, доступность питания и предусмотренные реакции. Для каждой неизвестной назначается способ получения данных: расчёт, документация, стенд или внешнее измерение.

Неизвестность имеет приоритет. Если от ответа зависит выбор всего тела, её исследуют раньше мелкой оптимизации интерфейса. Если проблема касается внешнего оформления и не блокирует эксперимент, её можно решить позже.

Такой реестр предотвращает ложное ощущение готовности, возникающее от заполненного списка покупок. Компоненты являются средствами, а не доказательствами согласованности системы.

Приёмка следующего этапа

Перед расширением платформы команда проверяет, какие результаты подтверждены и какие ограничения остаются. Отдельно оценивает, переносимы ли методы измерения и диагностика. Если новый этап лишает нас возможности понять причины ошибки, сначала нужно восстановить наблюдаемость.

Решение фиксируется вместе с основаниями. Оно может быть положительным, условным или отрицательным. Условный переход требует ясного перечня ограничений; слово «почти» без содержания не подходит для управления проектом.

Паспорт сохраняет историю изменений. Мы не переписываем прошлые предположения так, будто они всегда были верными. Именно различие между прежней моделью и новым знанием показывает, чему научилась команда.

Приложение В.

Практическая программа экспериментов

Программа ниже задаёт образцы исследования. Их конкретная физическая реализация требует подготовленного оборудования и условий, соответствующих рискам системы. Цель приложения - показать логику сравнения, данные и интерпретацию; оно не назначает универсальные безопасные силы или скорости.

Опыт 1. Проверка геометрии

Вопрос: насколько измеренное положение предмета согласуется с известным положением в рабочей зоне? Используем набор проверочных положений, распределённых по пространству. В каждом сохраняем измерение, опорное значение, время и конфигурацию камеры.

Отдельно анализируем систематическое смещение и разброс. Постоянная ошибка может указывать на неверное преобразование; изменяющаяся по области - на другую проблему модели. Сначала проверяем геометрию без сложного захвата, чтобы не смешивать ошибки восприятия и контакта.

После обслуживания крепления повторяем соответствующую проверку. Если ошибка изменилась, это основание обновить калибровку и затронутые испытания. Замена модели распознавания не является первым универсальным ответом.

Опыт 2. Тепловой рабочий цикл

Вопрос: сохраняет ли привод требуемый режим при повторении характерного движения? Задаём цикл с нагрузкой, паузами и длительностью, обоснованными проектом. Регистрируем температуру, ток, напряжение, положение и возникающие ограничения.

Сравниваем не только максимум температуры, но и её развитие во времени, восстановление после пауз и изменение ошибки движения. Если разные версии охлаждения испытываются при разной температуре среды, это учитывается в анализе.

Опыт должен иметь заранее определённые условия прекращения и технически предусмотренную реакцию. Доводить устройство до разрушения ради красивой кривой не требуется, если вопрос относится к нормальной работе.

Опыт 3. Вклад контактного датчика

Сравниваем две версии при одинаковых предметах, механике и процедуре: одну с использованием контактных данных, другую без этого входа. Основной показатель - завершённый перенос. Дополнительные - потеря удержания, ложные остановки и время.

Порядок условий чередуем или рандомизируем, чтобы уменьшить влияние усталости оператора, нагрева и времени дня. Сохраняем все попытки. При анализе проверяем, не возникло ли преимущество из-за другой настройки, не связанной с датчиком.

Если улучшение наблюдается только на скользких предметах, это содержательный результат. Не нужно превращать его в утверждение о превосходстве во всех задачах. Если датчик ухудшает работу, изучаем задержки, шум и способ использования.

Опыт 4. Изменение цели во время задачи

После принятия поручения изменяем положение целевой области в пределах подготовленного протокола. Нас интересует, обновляет ли система модель и прекращает ли использовать устаревший план. Вмешательство фиксируется как часть теста.

Сравниваем время обнаружения, корректность статуса и итоговое действие. Отдельно проверяем случаи, когда изменение происходит до захвата и после него. Требуемая реакция может различаться, потому что состояние робота уже другое.

Тест не должен создавать непредусмотренную физическую ситуацию. Его варианты сначала проверяют на модели или ограниченном стенде, а затем выполняют в рассчитанных условиях.

Опыт 5. Язык и неоднозначность

Готовим набор поручений: однозначных, перефразированных, противоречивых и допускающих несколько объектов. Для каждого заранее определяем приемлемые реакции. Иногда правильным результатом является уточнение, а не немедленное действие.

Считаем правильный выбор, полезные вопросы, лишние вопросы и ошибочное исполнение. Один общий процент может скрыть важное различие: система, которая всегда спрашивает, и система, которая всегда угадывает, имеют разные недостатки.

Формулировки теста не должны быть теми же примерами, по которым разработчик бесконечно настраивал диалог. Для оценки переноса нужен отдельный набор и описание его происхождения.

Опыт 6. Потеря данных

В подготовленном испытании воспроизводим пропавшее сообщение, устаревшую временную метку или недоступность определённого источника. Проверяем, какая функция становится недоступной и как система переходит к предусмотренному режиму.

Важно различать обнаружение события и полную реакцию. Программный журнал может быстро отметить потерю связи, а исполнитель продолжить старую команду. Поэтому измеряется вся цепочка до фактического состояния машины.

Если несколько модулей по-разному трактуют режим, исправляется контракт и проводится связанная проверка. Тест полезен именно тем, что обнаруживает разрыв между красивой архитектурной схемой и реальным обменом.

Опыт 7. Перенос после замены инструмента

Устанавливаем другую допустимую версию захвата или накладки и обновляем предусмотренные параметры. Изучаем, какие навыки сохраняют качество, а какие требуют адаптации. Фиксируем геометрию, массу, материал контакта и калибровку.

Сравнение помогает разделить свойства общей модели и зависимость от конкретного тела. Если изменение накладки полностью разрушает поведение, нужно исследовать, на какие контактные закономерности опирается навык.

Нельзя скрывать ручную подстройку между попытками. Она является частью стоимости переноса и должна учитываться наряду с результатом действия.

Опыт 8. Длительная работа

Короткие проверки дополняются серией в характерном режиме. Регистрируем успешность во времени, нагрев, износ, дрейф измерений и вмешательства. Цель - обнаружить накопительные эффекты, которых нет в отдельной попытке.

После остановки сравниваем состояние компонентов с исходным. Новое ухудшение может быть связано с загрязнением, механикой или изменением данных. Анализ не следует автоматически сводить к «модель устала».

Длительность и условия определяются задачей исследования. Один длинный прогон в идеальной среде не заменяет разнообразные проверки, как и множество коротких попыток не заменяет проверку нагрева.

Опыт 9. Восстановление и его цена

Создаём воспроизводимый предусмотренный сбой навыка и сравниваем стратегии восстановления. Измеряем вероятность последующего завершения, дополнительное время, вмешательства и нежелательные последствия. Успешный повтор должен иметь новое основание.

Полезно анализировать, когда система прекращает попытки и обращается к человеку. Чрезмерная настойчивость может ухудшать процесс. Слишком ранний отказ увеличивает поддержку. Нужен баланс, связанный с задачей и последствиями.

Отдельно оцениваем корреляцию ошибок. Если все повторы проваливаются по одной причине, формула независимых попыток неприменима. Изменить траекторию не всегда достаточно, если неверна координата цели.

Опыт 10. Понятность интерфейса

Показываем участникам состояния системы и предлагаем выбрать действие. Проверяем понимание режима, ограничения и способа вмешательства. Используем людей с подходящим для целевой аудитории опытом, а не только разработчиков.

Измеряем ошибки выбора, время и дополнительные вопросы. Субъективное впечатление тоже полезно, но рассматривается отдельно. Красивый голос может нравиться при плохом понимании происходящего.

После изменения сообщения повторяем затронутую проверку. Интерфейс оценивается через способность помогать человеку, а не через количество красивых фраз.

Форма отчёта

Отчёт включает вопрос, гипотезу, версии, условия, процедуру, число попыток, критерии, данные, анализ, ограничения и решение. Для графиков указываются оси и единицы. Для фотографий - роль изображения и режим управления.

В выводе различаем наблюдение и объяснение. «В этой серии версия А дала больше успешных переносов» - наблюдение. «Причина в лучшем обнаружении скольжения» - объяснение, которое требует соответствующих данных. Такая дисциплина делает отрицательный результат полезным и положительный - заслуживающим доверия.

Приложение С. Ответы на практикумы

Ответы показывают ход рассуждения. В открытых заданиях возможны другие решения, если они сохраняют проверяемость и учитывают условия. Числовые ответы относятся к учебным моделям, указанным в главах.

1. Требования к уборке стола

Можно определить три результата: известные предметы перенесены в назначенные зоны; запрещённые предметы остались на месте; после завершения система подтвердила свободную рабочую область предусмотренным способом. Для каждого задаются набор объектов, исходные условия и критерий проверки.

Пример исключения: система не перемещает неизвестные закрытые ёмкости. Это конкретнее, чем обещание «быть осторожной». Следует также определить, как робот сообщает о найденном исключении и что считается завершением задачи при наличии такого предмета.

2. Задержка наблюдения

150 мс равны 0,15 секунды. Смещение при постоянной скорости: $0,2 \times 0,15 = 0,03$ м, или 3 см. Возможные меры - уменьшить задержку обработки и передачи, использовать актуальные временные метки и прогноз движения, изменить режим действия.

Прогноз тоже имеет ошибку, особенно при изменении скорости. Поэтому компенсацию задержки проверяют на характерном движении. Более высокая частота выдачи старых данных сама по себе не уменьшает их возраст.

3. Выбор формы

Для ровного этажа можно сравнить колёсную базу с манипулятором и стационарные руки с отдельной системой перевозки. Выбор изменят пороги, узкие проходы, высота столов, возможность перестройки и необходимость работать с дверями.

Ноги требуются только при обоснованной задаче преодоления среды. Две руки полезны для крупных предметов или операций поддержки, но не следуют автоматически из наличия трёх столов. Для одинаковых коробок может оказаться достаточно одного подходящего инструмента.

4. Завершение движения и задачи

Задача не подтверждена как успешная. Нужно проверить фактическое положение предмета, состояние пальцев, контактные данные и актуальность изображения. Возможны ошибка зрения, неполное освобождение или неверное условие завершения исполнительного модуля.

Журнал должен показать, что именно означал статус «движение завершено». Если это только достижение заданной позы, он не должен подменять подтверждение размещения. Исправление относится к договору между исполнением и проверкой результата.

5. Статический момент

Момент груза: $0,8 \times 9,81 \times 0,35 = 2,7468$ Н·м. Момент звена: $1,2 \times 9,81 \times 0,15 = 1,7658$ Н·м. Сумма приблизительно 4,51 Н·м.

Максимальный момент двигателя может быть кратковременным. Нужны учёт движения, прочих масс, трения, нагрева, передачи и условий испытания. Требуемый запас определяется расчётом и последствиями

неопределённости, а не произвольным универсальным коэффициентом.

6. Расположение массы

Масса на кисти обычно создаёт больший момент относительно локтя и увеличивает инерционные требования по сравнению с расположением около плеча. Но полное влияние зависит от геометрии и движения всей системы.

Уменьшение статического момента не гарантирует улучшение жёсткости, резонансных свойств, охлаждения или прокладки кабелей. Нужно оценивать несколько связанных характеристик, а не только одно положение неподвижной руки.

7. Сила захвата

В простой модели N пропорциональна m/m_i . Удвоение массы и уменьшение коэффициента трения вдвое требуют четырёхкратного роста нормальной силы. Для хрупкого предмета это может превышать допустимое воздействие.

Тогда требуется иной контакт, поддержка снизу, другая траектория или другой инструмент. Увеличение силы не является универсальным способом исправить плохой захват.

8. Энергетический расчёт

Средняя мощность равна $150/3 + 450 \times 2/3 = 350$ Вт. Время: $540/350 \approx 1,54$ часа, то есть примерно 93 минуты. Расчёт использует уже доступную энергию и мощность на согласованной границе измерения.

Для электроники нужны пиковые токи, напряжение, переходные режимы, тепловые условия и допустимые характеристики батареи. Среднее потребление не описывает все требования к силовой части.

9. Независимость наблюдений

Согласие двух камер не устраняет общую ошибку преобразования. Полезна проверка по независимому опорному объекту или измерению в известной геометрии. Нужно исследовать цепочку от каждой камеры до общей системы координат.

Важно, чтобы опорная проверка не использовала ту же ошибочную информацию. Иначе она лишь воспроизведёт общее смещение в третьем красивом отчёте.

10. Исчезнувшая цель

Возможны удержание в предусмотренном режиме, размещение на другой заранее допустимой опоре или обращение к оператору. Выбор зависит от нагрузки, доступной энергии, геометрии и проверенных навыков.

Повтор прежнего размещения использует утратившее силу основание. Сначала обновляются сцена и цель. Не всякий предмет можно удерживать неопределённо долго, поэтому время тоже входит в решение.

11. Утечка данных

Соседние кадры одного эпизода слабо проверяют перенос на новые условия. Модель может использовать почти идентичные признаки. Для новых предметов нужно отделить целые экземпляры или категории согласно вопросу и сохранить независимые эпизоды оценки.

Также следует проверить, не появились ли тестовые объекты в предварительной настройке или выборе параметров. Независимость относится ко всему процессу разработки.

12. Понятное сообщение

Второе сообщение описывает фактическое состояние и объясняет, что повтор не начат. Следующее полезное сообщение может назвать действие оператора: проверить положение предмета или выбрать другой способ. Оно должно соответствовать доступным вариантам.

Не нужно сообщать «поправьте датчик», если пользователь не выполняет техническую роль. Уровень подробности выбирается по задаче и полномочиям.

13. Цвет и расстояние

Подходят сцены: красный ближе; красный дальше; два предмета на одинаковом расстоянии с разным цветом; одинаковый цвет при разном расстоянии. Для строгого вывода нужны дополнительные повторы и контроль прочих признаков.

Смешанная стратегия проявится в зависимости от сочетания факторов. Например, цвет определяет выбор при небольшом различии расстояний, а при большом система выбирает ближайший объект. Это основание для дальнейшего исследования, а не для одного окончательного ярлыка.

14. Функции и опыт

Сообщение заряда может подтверждать доступ к диагностике. Узнавание руки - определённые свойства модели тела. Оценка ошибки - метакогнитивную функцию при условии проверки качества оценки. Фраза о страдании подтверждает способность сформировать соответствующий отчёт.

Ни одно наблюдение само по себе не устанавливает субъективное переживание. Для сильного вывода нужна отдельная теория и совокупность свидетельств.

15. Общая команда паузы

Нарушено согласованное определение режима задачи и реакции подсистем. Нужно восстановить последовательность получения команды, её статус и фактическое движение. Исправление должно определить поведение всех затронутых модулей.

Проверяется не только доставка сообщения, но и механический результат в разных состояниях задачи. Остановка базы не является остановкой всей системы по умолчанию.

16. Полезное время

При одинаковых расходах и календарном фонде стоимость часа изменяется в отношении $0,4/0,6 = 2/3$. Она уменьшается примерно на треть. Дополнительное обслуживание, износ, энергия и поддержка способны уменьшить выигрыш.

Для реального сравнения важны одинаковое качество и определение полезного часа. Нельзя увеличить показатель, включая время, когда машина движется, но не достигает результата.

17. Гипотеза о датчике

Пример: контактный датчик уменьшит число потерь удержания на заданном наборе предметов. База - та же система без использования этого входа. Главный показатель - успешный перенос; одинаковыми сохраняются механика, предметы, протокол и существенные настройки.

Если версии отличаются ещё и качеством обучающих данных, вклад датчика нельзя изолировать без дополнительного сравнения.

18. Цепочка действий

0,95 в степени 10 приблизительно равно 0,5987, или 59,9 процента. Формула использует независимость и одинаковую вероятность этапов. Общая ошибка калибровки способна связать неудачи, а разные шаги могут иметь разные вероятности.

Восстановление тоже меняет модель. Поэтому реальную задачу следует оценивать целиком и разбирать причины сбоев.

19. Двухногая ветвь

Интеграция обоснована, если ноги открывают важные целевые задачи, а испытания подтверждают нужные свойства при приемлемых затратах поддержки. Отдельная ветвь разумна, если преимущества пока не подтверждены или ограничения нарушают качество основной работы.

Критерий должен учитывать и альтернативы: перестройку среды, колёсную базу или другой процесс. Сам факт способности идти не доказывает полезность в выбранной нише.

20. Исследовательский опыт

Один вариант - сравнить уточнение с автоматическим выбором в неоднозначных сценах. Измеряются правильность результата, число вопросов, время и последствия ошибок. Условия и набор поручений задаются заранее.

Если уточнения не улучшают результат и лишь увеличивают время в выбранной области, исходная гипотеза требует пересмотра. Возможно, неоднозначность была несущественной или альтернативный способ наблюдения оказался лучше.

Приложение D. Словарь и маршрут обучения

Основные понятия

Автономность. Способность выполнять определённые функции без постоянного управления человеком. Всегда относится к задачам и условиям.

Актuator. Исполнительное устройство, преобразующее энергию в движение или механическое воздействие.

Гистерезис. Зависимость текущего состояния от предшествующей истории воздействия. Важен для некоторых материалов и механизмов.

Динамика. Описание движения с учётом масс, сил, моментов и взаимодействий.

Дрейф. Постепенное изменение характеристики или измерения, которое может ухудшать соответствие прежней калибровке.

Задержка. Время между событием и использованием информации или воздействием. Важна вся цепочка, а не только один вычислительный модуль.

Инерция. Свойство механической системы, влияющее на изменение движения под действием сил и моментов.

Калибровка. Установление связи между измерением, параметрами и моделью. Геометрическая калибровка отличается от калибровки вероятностной уверенности.

Кинематика. Геометрическое описание движения без выяснения вызывающих его сил.

Контур управления. Организация измерения, вычисления и воздействия для достижения заданного поведения.

Модель мира. Представление существенного состояния среды и возможных последствий действий.

Модель тела. Представление геометрии, состояния и возможностей собственной механической системы.

Момент силы. Мера вращательного действия силы относительно оси или точки; в простом случае зависит от силы и её плеча.

Наблюдаемость. Возможность получать сведения о существенном внутреннем состоянии по доступным измерениям в рамках выбранной модели.

Навык. В проекте - поведение с определёнными входами, условиями, результатом и областью применения.

Обратная связь. Использование измеренного результата для изменения управления.

Область применимости. Условия, для которых способность системы проверена или обоснована.

Обучение по демонстрациям. Получение поведения из примеров выполнения задачи.

Политика. Правило или модель выбора действия по доступной информации.

Проприоцепция. Информация о состоянии собственного тела, например положении суставов.

Редуктор. Механическая передача, изменяющая соотношение скорости и момента с учётом потерь.

Степень свободы. Независимый параметр, необходимый для описания конфигурации в рассматриваемой модели.

Тактильное измерение. Сведения о локальном контакте, зависящие от устройства датчика.

Телеуправление. Управление роботом человеком через интерфейс; отличается от самостоятельного выбора действий.

Траектория. Изменение состояния или положения во времени. Геометрический путь без временного закона - не полностью заданная траектория.

Утечка данных. Попадание информации из оценки в разработку таким способом, который делает результат чрезмерно оптимистичным.

Энкодер. Датчик, используемый для измерения положения или перемещения.

Эпизод. Отдельная записанная попытка или последовательность взаимодействия с определёнными границами.

VLA. Vision-language-action: семейство подходов, связывающих зрение, язык и действия.

Sim-to-real. Перенос решения из симуляции на физическую систему; требует оценки расхождений между ними.

Маршрут для самостоятельного обучения

Первый блок - механика и математика движения. Освойте силы, моменты, энергию, векторы, матрицы и системы координат. Полезный результат - способность объяснить простой расчёт руки и понять, какие допущения в нём отсутствуют. Учебные материалы [1] дают систематический путь в робототехнику.

Второй блок - управление и измерение. Изучите обратную связь, задержки, шум, калибровку и регистрацию. Сделайте бумажную модель цикла и разберите, как ошибка датчика влияет на действие. Материал [2] помогает отделить среднюю скорость программы от соблюдения временных требований.

Третий блок - восприятие и данные. Разберитесь с камерой, геометрией, разделением наборов и метриками. Учитесь находить скрытые подсказки и утечки. Полезный навык -

составить тест, который действительно проверяет новый объект или новое условие.

Четвёртый блок - обучение действиям. Сравните идеи демонстраций, последовательностей действий и генеративных политик по [10] и [11]. Не ограничивайтесь просмотром успешных роликов: изучайте условия и способы оценки.

Пятый блок - системный эксперимент. Выберите узкую задачу, определите базовое решение, гипотезу, показатели и ограничения. Даже небольшая работа ценна, если её результат можно воспроизвести и корректно интерпретировать.

Шестой блок - человек и ответственность. Исследуйте интерфейс, полномочия и данные. Обсуждайте сознание по научным источникам, сохраняя различие между функциональными способностями и субъективным опытом. Этот блок дополняет технику, а не заменяет её философским энтузиазмом.

Источники и научные опоры

Список содержит выбранные первичные исследования, учебные материалы и официальную документацию. Он поддерживает конкретные утверждения книги, но не является исчерпывающим обзором всех мировых технологий. Проектные решения, сцены, расчётные примеры и программа NOVA-1 являются самостоятельной концептуальной разработкой, а не результатами описанных ниже авторов.

Ссылки проверены при подготовке издания 19 сентября 2026 года. Названия моделей приводятся как примеры исследовательских направлений; они не объявляются новейшими или лучшими для любого применения.

[1] Основы робототехники

Kevin M. Lynch, Frank C. Park. Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control. Учебник и авторские видеоматериалы. Используется как научная опора языка конфигураций, кинематики и управления.

[Открыть материалы Modern Robotics](#)

[2] Вычисления реального времени

Jackie Kay. Introduction to Real-time Systems. ROS 2 design documentation, 2016. Объясняет роль временных ограничений и предсказуемого исполнения.

[Открыть документ ROS 2](#)

[3] Промышленная гуманоидная платформа

Boston Dynamics. Atlas. Официальное описание продукта; используется для заявленного назначения платформы. Маркетинговые характеристики не рассматриваются как независимое подтверждение качества NOVA-1.

[Открыть страницу Atlas](#)

[4] Мобильная двуручная манипуляция

Zipeng Fu, Tony Z. Zhao, Chelsea Finn. Mobile ALOHA: Learning Bimanual Mobile Manipulation with Low-Cost Whole-Body Teleoperation. 2024. Исследование обучения мобильным действиям по демонстрациям.

[Открыть проект Mobile ALOHA](#)

[5] Искусственные мышцы

Amirhossein Kazemipour, Ronan Hinchet, Robert K. Katzschmann. Stretchable Electrohydraulic Artificial Muscle for Full Motion Ranges in Musculoskeletal Antagonistic Joints. Препринт 2024; работа принята на ICRA 2025. Пример исследовательской конструкции HASEL.

[Открыть статью об искусственной мышце](#)

[6] Роботы с ногами

Russ Tedrake. Underactuated Robotics: Highly-articulated Legged Robots. Учебные материалы MIT по моделям и управлению системами с контактами.

[Открыть главу MIT](#)

[7] Мультимодальная модель воплощённого агента

Danny Driess и соавторы. PaLM-E: An Embodied Multimodal Language Model. 2023. Исследование включения сенсорной информации в мультимодальную языковую архитектуру.

[Открыть статью PaLM-E](#)

[8] Связь языка и действий

Google DeepMind. RT-2: New model translates vision and language into action. 2023. Официальное изложение исследовательского подхода vision-language-action.

[Открыть описание RT-2](#)

[9] Генерация непрерывных действий

Physical Intelligence. pi0: Our First Generalist Policy. 2024. Авторское описание архитектуры и исследовательской программы робототехнических политик.

[Открыть исследование pi0](#)

[10] ALOHA и АСТ

Tony Z. Zhao, Vikash Kumar, Sergey Levine, Chelsea Finn. Learning Fine-Grained Bimanual Manipulation with Low-Cost Hardware. RSS 2023. Обучение по демонстрациям и предсказание последовательностей действий.

[Открыть проект ALOHA](#)

[11] Диффузионная политика

Cheng Chi и соавторы. Diffusion Policy: Visuomotor Policy Learning via Action Diffusion. Исходная работа 2023; расширенная версия 2024. Генерация действий с учётом зрительных наблюдений.

[Открыть статью Diffusion Policy](#)

[12] Данные разных воплощений

Open X-Embodiment Collaboration. Open X-Embodiment: Robotic Learning Datasets and RT-X Models. 2023. Совместный проект робототехнических данных и переноса между системами.

[Открыть Open X-Embodiment](#)

[13] Перенос из симуляции

Josh Tobin и соавторы. Domain Randomization for Transferring Deep Neural Networks from Simulation to the Real World. 2017. Исследование вариации условий симуляции для переноса.

[Открыть статью Domain Randomization](#)

[14] Научное обсуждение сознания ИИ

Patrick Butlin и соавторы. Consciousness in Artificial Intelligence: Insights from the Science of Consciousness. 2023. Доклад о теоретических индикаторах; не является универсальным тестом субъективного опыта.

[Открыть доклад о сознании](#)

[15] Планирование движения

MoveIt. Motion Planning. Официальная документация программных компонентов планирования. Пример инженерного инструмента, требующего настройки и проверки на конкретной платформе.

[Открыть документацию MoveIt](#)

[16] Организация работы с рисками ИИ

National Institute of Standards and Technology. AI Risk Management Framework. Официальная рамка управления рисками ИИ. Не заменяет требования и оценку физической машины.

[Открыть NIST AI RMF](#)

Об этой редакции

Расширенное научно-образовательное издание подготовлено по концепции NOVA-1 с использованием ИИ. Обложка - художественная визуализация замысла. Схемы и графики внутри книги построены отдельно по указанным моделям. Расчётные примеры не являются испытательными данными созданного устройства.

Книга соединяет объяснение основ и проектную программу. Она не представляет рецензируемую экспериментальную монографию и не утверждает, что все инженерные решения уже проверены на физическом прототипе. Её задача - дать читателю ясную основу для дальнейшего обучения, исследования и разработки.

Об авторе

Founder of Synthetic Renaissance

Architect of Human-AI Evolution

Alex Oryn - автор и исследователь на стыке искусственного интеллекта, робототехники, нейронауки и философии сознания.

Его работы посвящены одному из самых сложных вопросов XXI века:

Может ли человечество создать новую форму разума и при этом сохранить самое ценное в себе - творчество, любопытство и способность мечтать?

Основатель концепции Synthetic Renaissance - движения, объединяющего достижения человеческой цивилизации с возможностями искусственного интеллекта.

Alex Oryn рассматривает искусственный интеллект не как замену человеку, а как следующий инструмент эволюции - продолжение человеческого разума, подобно тому как технологии прошлого стали продолжением человеческих рук.

Его философия основана на идее:

«Будущее не принадлежит человеку или машине. Будущее принадлежит сотрудничеству между ними».

Synthetic Renaissance

Возрождение разума

На протяжении всей истории человечество проходило эпохи трансформации:

Каменный век дал человеку новые инструменты.

Индустриальная революция усилила его тело.

Цифровая революция расширила его память.

Следующий этап - расширение самого разума.

Synthetic Renaissance исследует возможность создания новой гармонии между:

- человеческим интеллектом;
- искусственным интеллектом;
- биологическими технологиями;
- робототехникой;
- пониманием сознания.