ЛЕКЦИЯ 1
ОСНОВЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ И ТРАНСМИССИЕЙ

Цель

Сформировать у обучающихся системное представление о роли искусственного интеллекта в современных системах управления автомобилями, электромобилями и гибридными транспортными средствами. Раскрыть понятие интеллектуального управления, его отличия от классических подходов, а также основные направления применения методов искусственного интеллекта в управлении силовой установкой, трансмиссией и системами помощи водителю.

Планируемые результаты

После изучения данной лекции обучающийся сможет:

- дать определение понятию «интеллектуальное управление» применительно к автомобильным системам;
- объяснить, чем интеллектуальные системы управления отличаются от классических алгоритмических систем;
- перечислить основные области применения искусственного интеллекта в электромобилях, гибридных автомобилях и системах ADAS;
- описать архитектуру интеллектуальной системы управления силовой установкой;
- назвать ключевые методы искусственного интеллекта, используемые в автомобильных системах управления;
- привести примеры практической реализации интеллектуальных алгоритмов в современной автомобильной промышленности.

Проблемный вопрос

Вопрос занятия. Автомобиль традиционно воспринимается как механическое устройство, управляемое водителем. Но что меняется, когда алгоритм, а не человек, начинает принимать решения о распределении крутящего момента, выборе режима движения или рекуперации энергии? Может ли искусственный интеллект «понимать» дорожную ситуацию лучше водителя и насколько мы готовы доверить машине управление собственной безопасностью?

1. Введение в интеллектуальное управление автомобилями

Современный автомобиль перестал быть просто механическим транспортным средством. Сегодня это сложная киберфизическая система, в которой

механические компоненты тесно интегрированы с электроникой, программным обеспечением и вычислительными мощностями. Количество электронных блоков управления в премиальном автомобиле может достигать ста и более, а объём программного кода измеряется сотнями миллионов строк. В этих условиях традиционные подходы к управлению, основанные на жёстко заданных алгоритмах и табличных зависимостях, достигают своих пределов.

Искусственный интеллект предлагает принципиально иной подход. Вместо того чтобы программировать каждое возможное действие системы, методы ИИ позволяют автомобилю **обучаться** на данных, **адаптироваться** к изменяющимся условиям и **принимать решения** в ситуациях, которые не были предусмотрены разработчиками. Это открывает новые возможности для повышения эффективности, безопасности и комфорта.

Дисциплина «Интеллектуальные системы управления автомобилями» изучает принципы построения и функционирования таких систем на примере силовых установок и трансмиссий электромобилей и гибридных транспортных средств. В рамках курса рассматриваются архитектура электронных систем управления, вычислительные платформы, датчики, контроллеры, исполнительные устройства и бортовые сети передачи данных. Особое внимание уделяется применению методов искусственного интеллекта, нечёткой логики и машинного обучения для адаптации алгоритмов управления к режимам эксплуатации и стилю вождения.

1.1. Что такое интеллектуальное управление?

Прежде чем говорить о конкретных методах и алгоритмах, необходимо определить само понятие «интеллектуальное управление». В самом общем смысле **интеллектуальное управление** — это управление, при котором система способна самостоятельно формировать управляющие воздействия в условиях неопределённости, на основе накопленного опыта и анализа текущей ситуации, без жёстко заданной программы действий на все возможные случаи.

Ключевые признаки интеллектуального управления:

1. **Способность к обучению.** Система может улучшать свои характеристики на основе анализа предыдущих результатов работы.
2. **Адаптивность.** Система подстраивается под изменяющиеся условия эксплуатации, стиль вождения, состояние дороги и другие факторы.
3. **Принятие решений в условиях неопределённости.** Система работает с неполной или неточной информацией, используя вероятностные и логические методы.
4. **Самоорганизация.** Система может перестраивать свою структуру или параметры для достижения оптимального результата.
5. **Объяснимость решений** (в современных интерпретациях). Система должна предоставлять человеку понятное обоснование своих действий.

Важно понимать, что интеллектуальное управление не заменяет классические методы управления полностью. Напротив, оно дополняет их, позволяя решать задачи, которые традиционные подходы не могут эффективно

охватить из-за сложности, нелинейности или высокой размерности объекта управления.

1.2. От классического управления к интеллектуальному

Для понимания места интеллектуального управления полезно проследить эволюцию систем управления автомобилями.

Первое поколение — механические и гидравлические системы. Управление осуществлялось непосредственно водителем через механические связи: тросы, тяги, гидроусилители. Никакой электроники, никакой автоматизации.

Второе поколение — электронные системы с жёсткой логикой. Появление электронных блоков управления позволило автоматизировать отдельные функции: впрыск топлива, зажигание, антиблокировочную систему тормозов. Алгоритмы были жёстко запрограммированы и основывались на табличных зависимостях (калибровках). Система не обучалась и не адаптировалась — она выполняла строго определённый набор действий в ответ на конкретные входные сигналы.

Третье поколение — адаптивные системы с обратной связью. Появились PID-регуляторы, адаптивные алгоритмы, системы с самонастройкой параметров. Управление стало более гибким, но по-прежнему основывалось на математических моделях объекта, которые требовали точного описания.

Четвёртое поколение — интеллектуальные системы. Использование методов искусственного интеллекта, машинного обучения, нечёткой логики, нейронных сетей позволяет системе самостоятельно выявлять закономерности, обучаться на данных и принимать решения в условиях, не описанных в явном виде. Именно к этому поколению относятся современные интеллектуальные системы управления автомобилями.

Это эволюционное развитие нашло отражение в росте вычислительных мощностей бортовых систем. Если первые электронные блоки управления имели тактовую частоту в единицы мегагерц и объём памяти в килобайты, то современные автомобильные вычислительные платформы, такие как NVIDIA Thor, обеспечивают производительность в тысячи триллионов операций в секунду. Это делает возможным применение ресурсоёмких методов искусственного интеллекта непосредственно на борту автомобиля.

2. Искусственный интеллект в автомобилестроении: области применения

Искусственный интеллект проникает во все сферы автомобильной промышленности. Можно выделить несколько ключевых направлений его применения.

2.1. Интеллектуальное управление силовой установкой

Силовая установка современного автомобиля — это сложный комплекс, включающий двигатель (внутреннего сгорания, электрический или

гибридный), системы питания, охлаждения, смазки, выпуска отработавших газов и множество вспомогательных систем. Управление этим комплексом требует учёта десятков параметров: нагрузка, скорость, температура, состав топливно-воздушной смеси, состояние катализатора, уровень заряда батареи и многих других.

Классические подходы к управлению силовой установкой используют калибровочные таблицы (карты), в которых для каждой комбинации входных параметров задаётся оптимальное управляющее воздействие. Такие карты разрабатываются на стендах в процессе длительных испытаний и содержат тысячи, а иногда и десятки тысяч точек. Однако реальные условия эксплуатации значительно отличаются от стендовых: меняются качество топлива, температура окружающей среды, высота над уровнем моря, стиль вождения.

Интеллектуальное управление позволяет преодолеть эти ограничения. Нейронные сети, обученные на больших массивах данных, могут предсказывать оптимальные режимы работы двигателя в реальном времени, адаптируясь к изменяющимся условиям. Например, нейросетевой контроллер может управлять моментом электродвигателя, обеспечивая максимальную эффективность при различных дорожных условиях.

Особого внимания заслуживает управление гибридными силовыми установками, где необходимо координировать работу двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя. Интеллектуальные алгоритмы выбирают оптимальный режим работы (EV Mode или Hybrid Mode) в зависимости от множества факторов: уровня заряда батареи, скорости, нагрузки, профиля маршрута. Современные системы используют прогнозное управление: анализируя данные навигации, они «знают» о предстоящем подъёме или спуске и заранее планируют распределение энергии.

2.2. Интеллектуальное управление трансмиссией

Трансмиссия — это система, передающая крутящий момент от двигателя к ведущим колёсам. В электромобилях и гибридных автомобилях трансмиссия имеет ряд особенностей: электродвигатель развивает максимальный момент практически с нулевой скорости, что позволяет упростить конструкцию, но одновременно создаёт новые задачи управления.

Интеллектуальное управление трансмиссией включает:

- **Управление переключением передач.** Для гибридных автомобилей с двухступенчатыми или многоступенчатыми трансмиссиями требуется интеллектуальный выбор момента переключения, обеспечивающий плавность и эффективность. Методы глубокого обучения с подкреплением позволяют разрабатывать стратегии переключения, подавляющие рывки и вибрации.
- **Распределение крутящего момента (Torque Vectoring).** Система интеллектуально распределяет момент между колёсами для повышения устойчивости и управляемости. Современные алгоритмы, такие как AI-динамическое распределение момента, способны вмешиваться за 10 миллисекунд, регулируя момент на каждом колесе для подавления заноса и повышения предельных характеристик.

– **Управление фрикционными муфтами.** В гибридных трансмиссиях необходимо плавно подключать и отключать двигатель внутреннего сгорания. Интеллектуальные алгоритмы обеспечивают бесшумное и комфортное переключение режимов.

2.3. Рекуперативное торможение

Рекуперативное торможение — это процесс преобразования кинетической энергии автомобиля в электрическую энергию, которая возвращается в тяговую батарею. Это одна из ключевых технологий, обеспечивающих высокую энергоэффективность электромобилей и гибридов.

Задача управления рекуперацией состоит в том, чтобы координировать электрическое (рекуперативное) и гидравлическое (традиционное) торможение. Интеллектуальная система должна решить, какая доля тормозного усилия приходится на рекуперацию, а какая — на гидравлику, с учётом текущего состояния батареи, температуры, скорости и желаемого замедления. При этом необходимо обеспечить стабильное замедление и комфорт для водителя.

Применение методов машинного обучения позволяет оптимизировать этот процесс. Нейронные сети, обученные на реальных ездовых циклах, могут динамически предсказывать оптимальный ток рекуперации, снижая пиковые нагрузки на батарею и повышая общую эффективность. Исследования показывают, что применение таких методов позволяет снизить пиковый ток батареи на 21–33% и уменьшить энергопотребление на 5–12%.

2.4. Интеллектуальный тепловой менеджмент

Тепловой менеджмент — ещё одна область, где искусственный интеллект находит применение. Электродвигатели, инверторы, тяговые батареи и трансмиссионное масло требуют поддержания определённого температурного режима для обеспечения эффективности и долговечности.

Интеллектуальная система теплового менеджмента анализирует текущие и прогнозируемые тепловые нагрузки и управляет потоками охлаждающей жидкости, работой вентиляторов и насосов. Современные исследования предлагают использование глубоких нейронных сетей и квантовых вычислений для оптимального регулирования температуры в гибридных энергетических системах.

2.5. Прогнозное управление энергетическими потоками

Одно из наиболее перспективных направлений — прогнозное управление с использованием навигационных и маршрутных данных. Система анализирует предстоящий маршрут, дорожные условия (подъёмы, спуски, светофоры, пробки) и на этой основе оптимизирует использование энергии.

Например, если система «знает», что впереди длинный спуск, она может использовать энергию батареи более интенсивно, чтобы затем максимально эффективно зарядить её за счёт рекуперации. Если впереди подъём, система может заранее включить двигатель внутреннего сгорания для подзарядки

батареи. Такой подход, реализованный, например, в системе Eco Control 4 ACC от ZF, позволяет увеличить запас хода до 8% в реальных условиях.

2.6. Системы помощи водителю (ADAS)

Системы помощи водителю (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) — одно из наиболее заметных применений искусственного интеллекта в автомобилях. К ним относятся адаптивный круиз-контроль, система удержания в полосе, автоматическое экстренное торможение, распознавание дорожных знаков и многие другие функции.

Искусственный интеллект в ADAS используется для:

- **Распознавания образов.** Нейронные сети обрабатывают изображения с камер, идентифицируя пешеходов, другие автомобили, дорожную разметку, знаки и светофоры.
- **Принятия решений.** На основе данных от всех сенсоров система принимает решение о необходимости торможения, поворота или другого манёвра.
- **Прогнозирования.** Система предсказывает поведение других участников движения и оценивает возможные сценарии развития ситуации.

Современные ADAS способны выполнять функции автономного вождения до 3-го уровня по классификации SAE, когда автомобиль может временно взять управление на себя в определённых условиях.

3. Методы искусственного интеллекта в системах управления

Какие конкретные методы искусственного интеллекта применяются в интеллектуальных системах управления автомобилями? Рассмотрим основные из них.

3.1. Нейронные сети

Искусственные нейронные сети — это вычислительные структуры, вдохновлённые биологическими нейронными сетями. Они состоят из множества взаимосвязанных элементов (нейронов), которые обрабатывают информацию, передавая сигналы друг другу.

В автомобильных системах управления нейронные сети применяются для:

- **Аппроксимации нелинейных зависимостей.** Нейронная сеть может «выучить» сложную нелинейную функцию, связывающую входные параметры (скорость, нагрузка, температура) с управляющим воздействием.
- **Прогнозирования.** Сети с долгой краткосрочной памятью (LSTM) используются для прогнозирования будущих состояний системы на основе временных рядов.
- **Распознавания образов.** Свёрточные нейронные сети обрабатывают изображения с камер для распознавания объектов.
- **Оптимизации.** Нейронные сети могут быть использованы для оптимизации параметров управления, например, для настройки карт переключения передач.

Особый интерес представляют нейросетевые контроллеры, которые непосредственно формируют управляющие сигналы на основе текущих входных данных. Такие контроллеры могут работать в реальном времени, адаптируясь к изменяющимся условиям без необходимости перекалибровки. Исследования показывают, что нейросетевые контроллеры на основе модели прогнозирующего управления эффективно регулируют ток в преобразователях гибридных автомобилей.

3.2. Нечёткая логика

Нечёткая логика (fuzzy logic) — это подход, который позволяет работать с неопределёнными, неточными или качественными данными. В отличие от классической бинарной логики, где утверждение может быть только истинным или ложным, нечёткая логика оперирует степенями истинности.

В системах управления автомобилями нечёткая логика применяется для:

- **Формирования правил принятия решений.** Например, правило «если скорость высокая И нагрузка большая, то увеличить крутящий момент» может быть сформулировано в терминах нечётких множеств.
- **Адаптации к стилю вождения.** Система может классифицировать стиль вождения (спокойный, спортивный, агрессивный) и на этой основе адаптировать параметры управления.
- **Управления в условиях неопределённости.** Нечёткие регуляторы эффективны там, где сложно построить точную математическую модель объекта.

Преимущество нечёткой логики заключается в её интерпретируемости: правила могут быть понятны человеку, что важно для диагностики и сертификации. Однако настройка нечётких систем требует экспертных знаний.

3.3. Машинное обучение

Машинное обучение — это широкий класс методов, позволяющих системе обучаться на данных без явного программирования правил. В автомобильных системах управления используются различные подходы машинного обучения:

- **Обучение с учителем.** Система обучается на размеченных данных, где известны правильные ответы. Например, нейронная сеть обучается предсказывать оптимальный крутящий момент на основе данных, полученных в ходе стендовых испытаний.
- **Обучение без учителя.** Система самостоятельно выявляет закономерности в данных. Используется для кластеризации режимов движения или выявления аномалий.
- **Обучение с подкреплением.** Система обучается методом проб и ошибок, получая вознаграждение за правильные действия. Особенно перспективно для задач управления, где сложно определить оптимальное поведение заранее.

Обучение с подкреплением активно исследуется для управления гибридными трансмиссиями. Например, алгоритмы глубокого обучения с подкреплением позволяют разрабатывать стратегии бесшумного переключения передач,

подавляя вибрации сцепления. Другой пример — иерархическое обучение с подкреплением для оптимизации управления скоростью и энергопотреблением.

3.4. Гибридные подходы

На практике часто используются гибридные подходы, объединяющие различные методы. Например:

- **Нейро-нечёткие системы.** Сочетают способность нейронных сетей к обучению с интерпретируемостью нечёткой логики.
- **MPC с нейросетевыми моделями.** Модельное прогнозирующее управление использует нейронную сеть в качестве модели объекта вместо аналитического описания.
- **Обучение с подкреплением с элементами нечёткой логики.** Позволяет сочетать обучение с экспертными знаниями.

4. Архитектура интеллектуальной системы управления

Понимание общей архитектуры интеллектуальной системы управления необходимо для осознания того, как различные компоненты взаимодействуют между собой.

4.1. Уровни управления

Интеллектуальная система управления автомобилем обычно организуется иерархически:

Верхний уровень — стратегическое управление. На этом уровне принимаются решения о глобальной стратегии: выбор режима движения (EV/Hybrid), планирование использования энергии на маршруте, определение целей управления. Здесь активно используются методы искусственного интеллекта: нейронные сети для прогнозирования, нечёткая логика для принятия решений, обучение с подкреплением для оптимизации стратегий.

Средний уровень — тактическое управление. На этом уровне стратегические решения конкретизируются в виде управляющих воздействий: требуемый крутящий момент, момент переключения передачи, интенсивность рекуперации. Здесь применяются методы оптимизации, модельное прогнозирующее управление, нейросетевые контроллеры.

Нижний уровень — исполнительное управление. Непосредственное управление исполнительными механизмами: инвертором, муфтами, тормозными механизмами. Здесь доминируют классические методы управления (PID-регуляторы, векторное управление), но всё чаще применяются нейросетевые контроллеры для повышения точности и адаптивности.

4.2. Информационные потоки

Интеллектуальная система управления получает информацию из множества источников:

- **Датчики автомобиля:** скорость, ускорение, температура, давление, уровень заряда батареи, положение педалей.
- **Сенсоры ADAS:** камеры, радары, лидары, ультразвуковые датчики.
- **Навигационная система:** GPS-координаты, карты, информация о дорожной ситуации.
- **Бортовые сети:** CAN FD, FlexRay, Automotive Ethernet передают данные между электронными блоками.
- **Внешние источники:** облачные сервисы, информация о погоде, дорожном трафике.

Вся эта информация обрабатывается, фильтруется, агрегируется и передаётся на соответствующие уровни управления. Особую роль играет **временная синхронизация**: многие сигналы должны обрабатываться с жёсткими временными ограничениями (миллисекунды и даже микросекунды).

4.3. Вычислительные платформы

Для реализации интеллектуальных алгоритмов необходимы мощные вычислительные платформы. В современных автомобилях используются:

- **Высокопроизводительные процессоры** (например, NVIDIA Thor, Qualcomm Snapdragon Ride) для задач искусственного интеллекта и автономного вождения.
- **Специализированные ускорители** (GPU, NPU) для нейросетевых вычислений.
- **Микроконтроллеры** для исполнительного управления с жёсткими временными ограничениями.
- **Автомобильные Ethernet-коммутаторы** для высокоскоростной передачи данных между блоками.

Распределение вычислительных задач между этими компонентами — отдельная инженерная задача, требующая учёта производительности, энергопотребления, стоимости и требований к безопасности.

5. Практические примеры из автомобильной промышленности

Чтобы закрепить понимание материала, рассмотрим несколько конкретных примеров внедрения искусственного интеллекта в системах управления автомобилями.

5.1. AI-динамическое распределение момента (Lynk & Co)

Компания Lynk & Co внедрила систему AI-динамического распределения момента в модели 10 EM-P. Система использует искусственный интеллект для управления распределением крутящего момента между колёсами.

Особенность системы — скорость реакции: 10 миллисекунд. За это время алгоритм анализирует текущую дорожную ситуацию и мгновенно перераспределяет момент, предотвращая пробуксовку и повышая устойчивость в

поворотах. Это особенно актуально в сложных дорожных условиях: дождь, снег, гололёд, горные серпантины.

Система интегрирует данные от множества датчиков: акселерометры, датчики угла поворота руля, датчики скорости вращения колёс, а также данные от камер и лидара. Искусственный интеллект обрабатывает эту информацию и вырабатывает оптимальное управляющее воздействие для каждого колеса индивидуально.

5.2. Прогнозный круиз-контроль Eco Control 4 ACC (ZF)

Компания ZF совместно с Infineon разработала систему Eco Control 4 ACC — прогнозный адаптивный круиз-контроль, использующий алгоритмы искусственного интеллекта.

Система анализирует профиль маршрута, дорожную ситуацию и стиль вождения, чтобы оптимизировать расход энергии. В реальных условиях она позволяет увеличить запас хода до 8%. Это достигается за счёт интеллектуального прогнозирования: система «знает» о предстоящих подъёмах и спусках, ограничениях скорости, поворотах и заранее корректирует режим работы силовой установки.

Интересно, что AI-алгоритмы в этой системе не только оптимизируют энергопотребление, но и повышают комфорт: движение становится более плавным, без резких ускорений и замедлений.

5.3. Оптимизация энергопотребления гибридных накопителей

В научной работе, опубликованной в журнале Scientific Reports в 2025 году, представлен подход к оптимизации распределения энергии между батареей и суперконденсатором в электромобилях.

Исследователи использовали нейронную сеть LSTM (Long Short-Term Memory) для прогнозирования оптимального тока суперконденсатора. Сеть обучалась на реальных данных ездовых циклов и была развёрнута в среде Simulink для работы в реальном времени.

Результаты впечатляют: в цикле EUDC пиковый ток батареи снизился на 21,3%, пиковая мощность — на 18,1%, энергопотребление — на 5,75%. В цикле IM240 улучшения ещё более значительны: пиковый ток снижен на 33,5%, мощность — на 31,6%, энергопотребление — на 12,36%.

Этот пример наглядно демонстрирует потенциал методов искусственного интеллекта для повышения энергоэффективности электромобилей.

5.4. Глубокое обучение с подкреплением для управления трансмиссией

Исследования в области управления двухступенчатыми трансмиссиями электромобилей показывают эффективность глубокого обучения с подкреплением.

Традиционные стратегии переключения передач часто сопровождаются рывками и вибрациями сцепления. Используя метод глубокого обучения с подкреплением, исследователи разработали алгоритм, который обучается

плавному переключению передач. В процессе обучения алгоритм получает вознаграждение за плавное переключение и штраф за рывки и вибрации. В результате была разработана стратегия управления, обеспечивающая бесшумное переключение передач при подавлении вибраций.

Этот подход особенно важен для электромобилей, где отсутствие шума двигателя делает любые вибрации и рывки более заметными для водителя и пассажиров.

6. Вызовы и перспективы

Несмотря на впечатляющие успехи, применение искусственного интеллекта в системах управления автомобилями сталкивается с рядом вызовов.

6.1. Безопасность и надёжность

Автомобильные системы относятся к классу **критически важных** (safety-critical). Ошибка в управляющем алгоритме может привести к аварии с тяжёлыми последствиями. Поэтому к интеллектуальным системам предъявляются особые требования:

- **Детерминированность.** Система должна вести себя предсказуемо в любых ситуациях.
- **Отказоустойчивость.** При сбое отдельных компонентов система должна сохранять управление или безопасно переходить в аварийный режим.
- **Верифицируемость.** Должна быть возможность проверить корректность работы системы.

Эти требования вступают в противоречие с природой многих методов искусственного интеллекта, особенно нейронных сетей, которые часто работают как «чёрные ящики». Разработка **объяснимого искусственного интеллекта** (Explainable AI, XAI) для автомобильных систем — одно из актуальных направлений исследований.

6.2. Сертификация и стандартизация

Традиционные системы управления сертифицируются на основе стандартов функциональной безопасности, таких как ISO 26262. Для систем с искусственным интеллектом эти стандарты не всегда применимы. Разработка новых стандартов, таких как ISO/PAS 8800 (Road Vehicles — Safety and Artificial Intelligence), находится в активной стадии.

Производителям необходимо доказать регуляторам, что их интеллектуальные системы безопасны. Это требует новых подходов к тестированию, валидации и верификации.

6.3. Вычислительные ресурсы

Методы искусственного интеллекта, особенно глубокое обучение, требуют значительных вычислительных ресурсов. Современные автомобильные

платформы, такие как NVIDIA Thor, обеспечивают необходимую производительность, но их стоимость и энергопотребление остаются высокими.

Задача состоит в том, чтобы найти баланс между вычислительной сложностью алгоритмов и доступными ресурсами. Это стимулирует развитие методов сжатия нейронных сетей, аппаратных ускорителей и специализированных архитектур.

6.4. Данные для обучения

Для обучения систем искусственного интеллекта требуются большие объёмы данных. Сбор и разметка таких данных — дорогостоящий и трудоёмкий процесс. Кроме того, данные должны охватывать широкий спектр дорожных ситуаций, включая редкие и опасные сценарии.

Производители используют различные подходы: сбор данных с тестовых автомобилей, использование симуляторов, синтез данных, трансферное обучение.

6.5. Перспективы развития

Несмотря на вызовы, перспективы применения искусственного интеллекта в автомобильных системах управления впечатляют:

- **Полностью автономное вождение.** Достижение 5-го уровня автоматизации, когда автомобиль способен двигаться без какого-либо участия человека в любых условиях.
- **Персонализированное управление.** Система адаптируется не только к условиям, но и к конкретному водителю, его предпочтениям и стилю вождения.
- **Самообучающиеся системы.** Автомобили будут continuously обучаться в процессе эксплуатации, улучшая свои характеристики с каждым километром.
- **Интеграция с умными городами.** Обмен данными с дорожной инфраструктурой и другими автомобилями для оптимизации трафика и повышения безопасности.

7. Закрепление и завершение

7.1. Мини-тест

1. Что такое интеллектуальное управление и чем оно отличается от классического?
2. Назовите три основных метода искусственного интеллекта, применяемых в системах управления автомобилями.
3. В чём заключается задача Torque Vectoring и какие методы ИИ для неё используются?
4. Почему рекуперативное торможение требует интеллектуального управления?
5. Какие уровни управления выделяют в архитектуре интеллектуальной системы?

7.2. Эталонные краткие ответы

1. **Интеллектуальное управление** — это управление, при котором система самостоятельно формирует управляющие воздействия в условиях неопределённости, на основе накопленного опыта и анализа текущей ситуации. От классического оно отличается способностью к обучению, адаптивностью, принятием решений в условиях неопределённости и самоорганизацией.
2. Основные методы: **нейронные сети** (для аппроксимации нелинейных зависимостей и распознавания образов), **нечёткая логика** (для работы с неопределёнными данными и формирования правил), **машинное обучение** (обучение с учителем, без учителя и с подкреплением для оптимизации управления).
3. **Torque Vectoring** — это интеллектуальное распределение крутящего момента между колёсами для повышения устойчивости и управляемости. Используются нейронные сети для анализа дорожной ситуации и нечёткая логика для принятия решений о перераспределении момента.
4. Рекуперативное торможение требует координации электрического и гидравлического торможения для обеспечения стабильного замедления и комфорта. Интеллектуальное управление необходимо для оптимального распределения тормозного усилия с учётом состояния батареи, температуры, скорости и других факторов.
5. В архитектуре интеллектуальной системы выделяют три уровня: **стратегический** (выбор глобальной стратегии), **тактический** (конкретизация в виде управляющих воздействий) и **исполнительный** (непосредственное управление механизмами).

7.3. Итоговые положения

Интеллектуальное управление — это эволюционный шаг в развитии автомобильных систем, позволяющий решать задачи, недоступные классическим методам.

Искусственный интеллект применяется во всех аспектах управления автомобилем: силовая установка, трансмиссия, рекуперативное торможение, тепловой менеджмент, прогнозное управление энергией, системы помощи водителю.

Основные методы ИИ в автомобильных системах: **нейронные сети**, **нечёткая логика**, **машинное обучение** (особенно обучение с подкреплением) и их гибридные комбинации.

Архитектура интеллектуальной системы управления строится по **иерархическому принципу** с разделением на стратегический, тактический и исполнительный уровни.

Практические примеры (AI-распределение момента, прогнозный круиз-контроль, оптимизация гибридных накопителей) демонстрируют **реальную эффективность** интеллектуальных методов.

Ключевые вызовы: **безопасность, сертификация, вычислительные ресурсы и данные** для обучения. Перспективы связаны с **полностью автономным вождением**, **персонализацией** и **интеграцией с умной инфраструктурой**.

Задание после лекции

Выберите одну из областей применения искусственного интеллекта в автомобилях, рассмотренных в лекции (управление силовой установкой, управление трансмиссией, рекуперативное торможение, тепловой менеджмент, прогнозное управление энергией или ADAS). Подготовьте краткий аналитический обзор (1–2 страницы), в котором:

1. Опишите задачу управления в выбранной области.
2. Объясните, почему классические методы недостаточно эффективны.
3. Опишите, какой метод искусственного интеллекта применяется и почему.
4. Приведите конкретный пример из промышленности или научных исследований.
5. Сформулируйте основные преимущества и ограничения применения ИИ в данной области.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение интеллектуального управления. Каковы его ключевые признаки?
2. Опишите эволюцию систем управления автомобилями от механических к интеллектуальным.
3. Какие основные области применения искусственного интеллекта в автомобилях вы знаете?
4. В чём заключается задача управления гибридной силовой установкой и как ИИ помогает её решить?
5. Что такое Torque Vectoring и какие методы ИИ используются для управления распределением момента?
6. Объясните принцип рекуперативного торможения. Почему для его управления нужен интеллектуальный подход?
7. Что такое прогнозное управление энергетическими потоками? Приведите пример.
8. Назовите основные методы искусственного интеллекта, применяемые в автомобильных системах управления.
9. В чём преимущества и ограничения нейронных сетей для управления автомобилем?
10. Для решения каких задач применяется нечёткая логика в автомобильных системах?

11. Что такое обучение с подкреплением и как оно используется для управления трансмиссией?

12. Опишите иерархическую архитектуру интеллектуальной системы управления.

13. Какие вычислительные платформы используются для реализации интеллектуальных алгоритмов в автомобилях?

14. Приведите примеры практического внедрения ИИ в системах управления от известных производителей.

15. Каковы основные вызовы при внедрении искусственного интеллекта в критически важные автомобильные системы?

16. Что такое объяснимый искусственный интеллект и почему он важен для автомобильной промышленности?

17. Какие стандарты регулируют безопасность систем с искусственным интеллектом в автомобилях?

18. Какова роль данных для обучения интеллектуальных систем управления?

19. Каковы перспективы развития искусственного интеллекта в автомобильных системах управления?

20. Как интеллектуальные системы управления способствуют достижению целей устойчивого развития?

Список использованных и рекомендуемых источников

1. Рабочая учебная программа дисциплины ISUA3300 «Интеллектуальные системы управления автомобилей». ВКТУ им. Д. Серикбаева, 2026.
2. Ulsoy A. G., Peng H., Çakmakcı M. Automotive Control Systems. Cambridge University Press, 2012.
3. Rajamani R. Vehicle Dynamics and Control. 2nd ed. Springer, 2012.
4. Lenzo B., Naets F., eds. Vehicle Dynamics, Control and Design. Springer, 2026.
5. Robert Bosch GmbH. Automotive Handbook. 11th ed. Wiley, 2022.
6. Blondin M. J., Trovão J. P. F., Chaoui H., Pardalos P. M., eds. Intelligent Control and Smart Energy Management: Renewable Resources and Transportation. Springer, 2022.
7. Salkuti S. R., ed. Artificial Intelligence for Integrated Smart Energy Systems in Electric Vehicles. Springer, 2025.
8. Machine learning-based approach for reduction of energy consumption in hybrid energy storage electric vehicle. Scientific Reports, 2025.
9. Optimization of New Energy Vehicle Transmission System based on Feedforward Neural Network. IEEE, 2025.
10. Control Strategies for Autonomous Vehicles: A Comparative Review of Classical and Intelligent Methods. IEEE, 2025.
11. ISO 26262:2018. Road Vehicles — Functional Safety.
12. ISO/PAS 8800:2024. Road Vehicles — Safety and Artificial Intelligence.