

Беспилотные автомобили: перспективы и ожидаемые последствия экспансии

Михаил Блинкин
Анастасия Кулакова

При описании будущего все (или почти все) урбанисты мира, как и лица всех прочих профессий, говорят, что города непременно станут «умными», а характерным признаком этих городов станут «беспилотные» автомобили. Несмотря на значительный прогресс, достигнутый по этой части во многих странах и корпорациях, нам, вероятно, понадобится еще 10 или более лет, прежде чем мы сможем подойти к этому «счастью», то есть создать технологии, способные обеспечить более-менее масштабную замену традиционного биологического водителя на цифрового. Желательно при этом, чтобы позитивные эффекты этой замены перевесили ее же негативные экстерналии.

В «Белой книге» [Pinjari, 2016], посвященной приходу беспилотных автомобилей на автомобильный рынок и в структуру транспортного потока на автомобильных дорогах, был с полным на то основанием сделан вывод: этот процесс будет иметь последствия, сопоставимые по масштабу с массовой автомобилизацией населения и бизнеса, стартовавшей в 1908 году с появлением черного Ford-T. В то же время авторы «Белой книги» обращают внимание, что этот процесс стал предметом «ажитажного интереса и поводом для многочисленных спекуляций». «Белая книга» была опубликована в 2016 году; судя по многочисленным публикациям последующих лет, процесс идет своим чередом: уровень ADAS¹ растет, мировой автопром успешно осваивает наиболее практичную часть новаций, ажитажный интерес и поток спекуляций усиливается. Ниже мы представим обзор событий, фактов,

1. ADAS (Advanced Driver-Assistance Systems) – совокупность цифровых технологий, предназначенных для помощи водителю в решении «динамической задачи вождения» и в конечном итоге способных заменить водителя в сложной динамической среде.

Блинкин Михаил Яковлевич, ординарный профессор, научный руководитель факультета городского и регионального развития, научный руководитель Института экономики транспорта и транспортной политики ФГРП НИУ ВШЭ; Российская Федерация, 101000, Москва, ул. Мясницкая, д. 11; тел. +7 (495) 772-95-90*12375.
E-mail: mblinkin@hse.ru

Кулакова Анастасия Александровна, ведущий эксперт Центра транспортного моделирования Института экономики транспорта и транспортной политики ФГРП НИУ ВШЭ; Российская Федерация, 101000, Москва, ул. Мясницкая, д. 11; тел. +7 (495) 772-95-90*12372.
E-mail: aakulakova@hse.ru

В статье представлен обзор перспектив и ожидаемых последствий, связанных с приходом на автомобильный рынок и в состав транспортного потока автономных транспортных средств (autonomous vehicles, AV), то есть автомобилей, оснащенных теми или иными программно-аппаратными средствами, предназначенными для помощи водителю в решении «динамической задачи вождения», и в конечном итоге способных заменить традиционного биологического водителя на цифрового в сложной динамической среде.

Представлена современная 6-уровневая классификация систем поддержки действий водителя (Advanced Driver-Assistance Systems, ADAS) – от нулевого уровня (Level 0), при котором автомобиль оборудован разве что ABS (антиблокировочной системой), до пятого уровня (Level 5), на котором достигается полная автоматизация вождения. Транспортные средства данного уровня не требуют внимания человека, здесь «динамическая задача вождения» как таковая устраняется из компетенции пользователя (уже не водителя!). У автомобилей уровня L5 (в полной мере беспилотного!) нет руля, а также педалей газа и тормоза.

Рассмотрены правовые ограничения, связанные с необходимостью внесения дополнений и изменений принципиального плана в Венскую конвенцию о дорожном движении от 1968 года, согласно которой каждое транспортное средство должно иметь водителя, «обладающего необходимыми физическими и психическими качествами», а также «знаниями и навыками, необходимыми для управления».

Основной материал статьи посвящен разбору ожидаемых (прогнозируемых, вероятных) позитивных и негативных последствий, связанных с массовым приходом AV уровня Level 3, Level 4 и особенно Level 5. При этом акцент сделан на последствиях этого явле-

прогнозов, относящихся к означенному процессу, опираясь на информацию, доступную к началу 2023 года.

Начнем с дефиниций, представленных далее с необходимыми комментариями.

Современная классификация [Synopsys, 2022] систем поддержки действий водителя предусматривает шесть уровней ADAS: Level 0 – No Automation, Level 1 – Driver Assistance, Level 2 – Semi-Automated, Level 3 – Conditional Automation, Level 4 – High Automation, Level 5 – Full Automation.

Уровень L0. «Динамическую задачу вождения» решает водитель; те или иные системы, помогающие водителю, например ABS (антиблокировочная система), не принято квалифицировать как нечто «автоматическое», поскольку технически они не управляют транспортным средством. Тем не менее антиблокировочные системы, которые появились в 1970-е годы и стали общераспространенными в последнюю четверть XX века, в определенной степени повлияли на параметры транспортного потока, прежде всего, в части ДТП по причине несоблюдения дистанции и, соответственно, предотвращения заторов, возникающих в связи с ДТП данного типа.

Уровень L1. Автомобиль оснащен системой адаптивного круиз-контроля (ACC). Устройство ACC, впервые появившееся в серийно выпускаемых автомобилях² в конце 1990-х годов, обеспечивает (по крайней мере, номинально) безопасное расстояние до автомобиля-лидера. Прочие аспекты вождения, такие как рулевое управление и торможение, остаются за человеком-водителем.

Польза ACC с позиций облегчения труда водителя вполне очевидна. В то же время натурные наблюдения трафика на дорогах высших технических категорий, результаты которых публиковались в 2000–2010 годах, не дают оснований считать, что динамика транспортного потока претерпела заметные изменения по мере того, как системы ACC становились общераспространенными.

Уровень L2. Автомобиль оснащен системой уровня Super Cruise (Cadillac, General Motors) или Tesla Autopilot, которая позволяет водителю убрать руки с руля, во всяком случае при езде на дорогах высших технических категорий³. В 2019 году компания General Motors объявила о расширении сферы применения системы Super Cruise на магистральные дороги, проезжие части которых разделены только дорожной разметкой⁴. Системы Super Cruise в их расширенной версии включают средства точной картографической привязки (precision LiDAR map data), высокоточного GPS (high-precision GPS), сеть видеочамер и радарных датчиков, а также эффективную систему контроля внимания водителя (state-of-the-art Driver Attention System). Отметим, в систему Super Cruise добавлена, по сравнению с ACC, опция минования/обгона (pathing/overtaking) лидера при наличии «свободных лотов» на соседних полосах движения.

При всем том уровень автоматизации не дотягивает здесь до автономного вождения как такового, поскольку за рулем сидит человек, который в любой момент может переключить управление на себя. При езде по дорогам категории II и ниже такое переключение в ряде случаев обязательно – например, на железнодорожных переездах, пешеходных переходах, при проезде пересечений со светофорным регулированием или наличии знака STOP. Более того, руководством

ния, представляющих особый интерес в урбанистическом и транспортно-градостроительном аспектах: влиянию на форматы землепользования и расселения, транспортное поведение горожан, территориальные предпочтения домохозяйств и компаний, пропускную способность автомобильных дорог, расщепление спроса на передвижения между индивидуальным и общественным транспортом, безопасность дорожного движения.

Общий вывод заключается в том, что влияние массового прихода AV на авторынок и в структуру транспортного потока будет сравнимо по масштабу и долгосрочности последствий с процессом массовой автомобилизации населения, стартовавшим в начале XX века.

Ключевые слова: автономные автомобили (AV), динамическая задача вождения, ADAS, пропускная способность, улично-дорожная сеть, парковочное пространство, транспортное поведение, безопасность дорожного движения, расселение, землепользование

Цитирование: Блинкин М. Я., Кулакова А. А. (2023) Беспилотные автомобили: перспективы и ожидаемые последствия экспансии // Городские исследования и практики. Т. 8. № 1. С. 32–45. DOI: <https://doi.org/10.17323/usp81202332-45>

2. Mercedes-Benz 1997 года выпуска, BMW e38 и Toyota Celsior 1999 года выпуска.

3. В отечественной классификации это дороги категорий IA и IB, соответственно автомагистрали и скоростные автомобильные дороги. В рассматриваемом аспекте принципиальную роль играют такие характеристики дорог высших категорий, как разделенные инженерным или планировочным образом проезжие части, а также отсутствие пересечений в одном уровне.

4. В отечественной классификации – автомобильные дороги категории IB и II.

по применению указанного оборудования предусмотрено, что даже на дорогах высших технических категорий «в условиях включенного Super Cruise водителю важно сохранять активность и бдительность».

Уровень L3. Как отмечают промоутеры идей беспилотного вождения, «скачок с уровня 2 на уровень 3 существенен с технологической точки зрения, но вовсе незаметен или пренебрежимо мал с человеческой точки зрения». Автомобиль оснащен системой уровня Traffic Jam Pilot⁵, которая включает лидарный сканер с продвинутым набором датчиков и алгоритмов обработки данных, а также обладает встроенной избыточностью на случай отказа той или иной компоненты. Указанное оборудование (по сути дела, робот-автопилот) обладает возможностями «слежения за дорожной обстановкой» (environmental detection) и может принимать самостоятельные решения, например ускоряться при обгоне медленно движущегося транспортного средства. Отметим, что продвижение ADAS к уровню L3 было обеспечено успехами технологий компьютерного зрения и искусственного интеллекта в части адекватного восприятия дорожной обстановки и принятия достаточно нетривиальных решений в реальном масштабе времени.

Однако даже на этом уровне по-прежнему требуется вмешательство человека: водитель обязан сохранять бдительность и быть готовым взять на себя управление, если система в том или ином смысле «не справляется».

Натурных наблюдений трафика с масштабным участием автомобилей, оборудованных ADAS уровня L2 и L3, по понятным причинам еще нет. По другим вполне понятным причинам нет также сведений (по крайней мере, детальных сведений с цифровыми параметрами) по поводу алгоритмических решений, «зашитых» в Super Cruise или Traffic Jam Pilot. Самое главное, нет сведений по части решений, позволяющих сокращения допустимой дистанции до автомобиля-лидера по отношению к норме, соблюдаемой квалифицированным законопослушным водителем, который «ведет автомобиль по дороге с должной осторожностью и осмотритель-

ностью» [Road Traffic Act, 1988]. Заметим, что в этом историческом для мировой практики британском законе дается следующее определение неосторожного и неосмотрительного вождения: «Careless, and inconsiderate, driving: If a person drives a motor vehicle on a road without due care and attention, or without reasonable consideration for other persons using the road, he is guilty of an offence» (Неосторожное и невнимательное вождение: если водитель управляет транспортным средством на дороге без должной осторожности и внимания или без разумного учета интересов других лиц, пользующихся дорогой, он виновен в совершении преступления).

Ситуация меняется коренным образом при переходе к четвертому и пятому уровням автоматизации.

Уровень L4 – высокая автоматизация вождения. Ключевое различие между уровнями L3 и L4 заключается в том, что транспортные средства уровня L4 не требуют участия человека уже в большинстве практически вероятных случаев, то есть могут (с небольшими оговорками) работать в режиме автономного вождения и, соответственно, являются (с теми же оговорками) автономными транспортными средствами (autonomous vehicles, AV). Однако на этом уровне пользователь (все еще в статусе водителя!) по-прежнему сохраняет возможность переопределить решения, предлагаемые роботом, то есть перерешить по своему усмотрению «динамическую задачу вождения». Не менее важным ограничением является езда транспортных средств уровня L4 в пределах некоторой геозоны⁶, то есть определенной ограниченной территории – к примеру, фрагмента городской улично-дорожной сети, где разрешенная скорость не превышает 40–50 км в час.

Сегодня большинство транспортных средств уровня L4, представленных на рынке компаниями Alphabet Waymo (США), NAVYA (Франция), Magna (Канада), Volvo (совместно с китайской Baidu), предназначены для каршеринга или для такси.

Самые ясные перспективы имеет здесь сегмент так называемых SAV (Sharing Autonomous driving Vehicles), наиболее ве-

5. Исторически первым примером серийного автомобиля уровня L3 стал Audi A8L, который первоначально планировалось оснастить системой Traffic Jam Pilot.

6. Geofencing (геозонирование) – технология, которая позволяет задавать границы территории и инициировать различные события, когда эти границы пересекает мобильное устройство, на котором установлено специальное приложение. Факт пересечения границы определяется с помощью различных технологий геопозиционирования, таких как GPS или триангуляция по сигналу от Wi-Fi-точек доступа либо вышек сотовой связи.

роятно в форме SAEV (Sharing Autonomous driving Electric Vehicles) [Wegscheider et al., 2022], то есть автомобилей (скорее всего, электромобилей), предназначенных для использования в каршеринге и способных выполнять функцию беспилотной подачи транспортного средства клиенту на небольшие расстояния (в пределах геозоны) и с небольшой скоростью. При этом имеется в виду, что дальнейшее использование транспортного средства будет осуществляться пользователем в традиционном формате человека за рулем.

Наконец, *уровень L5*, на котором достигается полная автоматизация вождения, соответствует представлениям о беспилотном автомобиле в полном смысле этого термина. Транспортные средства данного уровня не требуют внимания человека, здесь «динамическая задача вождения» как таковая устраняется из компетенции пользователя (уже не водителя!). У автомобилей уровня L5 (в полной мере AV!) нет руля, а также педалей газа и тормоза. Зато у них есть все необходимые инструменты общения: V2V (автомобиль с автомобилем), V2I (автомобиль с дорогой), V2X (автомобиль с внешним миром). Соответственно, у них нет ограничений, связанных с геозонами, они могут ездить куда угодно. Робот-автопилот может делать все, на что способен сегодня опытный водитель-человек, притом даже лучше своего биологического предшественника. Образцы AV представлены сегодня целым рядом компаний из сферы автопрома и IT-индустрии, но пока что недоступны на рынке по причинам в большей мере институционального и правового, нежели технического плана.

В чем суть правовых ограничений?

Согласно статье 8.1 Венской конвенции о дорожном движении от 1968 года, «каждое транспортное средство или состав транспортных средств, которые находятся в движении, должны иметь водителя», при этом «водитель должен обладать необходимыми физическими и психическими качествами, и его физическое и умственное состояние должно позволять ему управлять транспортным средством», «иметь знания и навыки, необходимые для управления транспортным средством», а также «должен контролировать свое транспортное средство таким образом, чтобы быть всегда в состоянии должным образом им управлять». Использование транспортных средств уровней L1–L4, в которых сохраняются рулевое управление, педали газа

и тормоза, никак не противоречит этим требованиям.

Изменения и дополнения к Венской конвенции, связанные с появлением полноценных AV уровня L5, обсуждаются в экспертном сообществе и профильных структурах ООН все последние годы. Традиционная позиция, требующая минимальных изменений в конвенцию, основана на принципе *start button*: ответственность несет человек (пассажир, пользователь, оператор), который запустил опцию автовождения (нажал кнопку). В качестве альтернативы предлагается использование принципа *vicarious perpetrator* (косвенный правонарушитель), в рамках которого ответственность возлагается «на физическое или юридическое лицо, которое необязательно оперирует элементами управления транспортным средством», то есть компания либо некое должностное лицо компании-производителя (поставщика, продавца, арендодателя...), через посредство которого AV оказался в распоряжении пользователя [Nynke, 2019].

Консенсус пока что не просматривается. Понятно, однако, что принятие принципа *start button* вряд ли будет способствовать успешному продвижению AV на автомобильном рынке. С другой стороны, принцип *vicarious perpetrator*, бесспорно, будет сдерживать «полет инженерной мысли» производителей AV в целом и софта для AV в частности.

Более того, даже производители транспортных средств уровней L2–L4 не могут не учитывать сегодня возможность регрессных исков со стороны владельцев продвинутых автомобилей при тех или иных сокращениях допустимой дистанции до автомобиля-лидера по отношению к норме, соблюдаемой квалифицированным законопослушным водителем.

Финальное решение будет найдено, скорее всего, на основе некоторых страховых механизмов. При этом понятно, что возросшие размеры страховой премии станут серьезным, но вряд ли критическим препятствием к продвижению AV на автомобильный рынок.

Еще раз обратимся к главному выводу «Белой книги» [Pinjari, 2016]: массовый приход AV на авторынок и в структуру транспортного потока окажет влияние на форматы землепользования и расселения, транспортное поведение домохозяйств и компаний, сравнимое по масштабу с феноменом массовой автомобилизации.

Тод Литман – один из самых авторитетных международных экспертов в сфере

Таблица 1. Структурное представление потенциальных последствий массового прихода AV

Позитивные последствия для пользователя I.P.	Негативные последствия для пользователя I.N.
Позитивные последствия для общества C.P.	Негативные последствия для общества C.N.

транспортного планирования, основатель и руководитель Victoria Transport Policy Institute, в выпущенном недавно докладе своего института [Litman, 2023] согласился с такой оценкой и сформулировал в виде морфологической матрицы 2x2 совокупность выгод, издержек, проблем, связанных с появлением AV.

Матрица имеет структуру, представленную в табл. 1; ее содержательное наполнение, учитывающее обсуждения тех же вопросов в прочих литературных источниках, а также собственную позицию авторов, мы разберем ниже.

I.P.1. Высвобождение непроизводительного времени, затрачиваемого на вождение автомобиля, ликвидация «водительских стрессов», повышение производительности труда.

Понятно, что частичная ликвидация, по крайней мере смягчение «водительских стрессов», шаг за шагом достигается уже на этапе появления AV уровней L1–L4. Столь же понятно, что задача высвобождения непроизводительного времени, затрачиваемого на вождение автомобиля, и, соответственно, повышения производительности труда горожанина достигается только на уровне L5.

Эта позиция имеет историческое значение: впервые с начала «века Форда» рядовой автовладелец избавляется от функций водителя. Для любого пользователя AV Level 5 салон этого транспортного средства – нормальное место для отдыха, общения по мобильной связи, развлечений с использованием тех или иных гаджетов. Более того, для работников всего non factory business тот же салон – нормальное рабочее место, не хуже, чем в офисе или дома. Есть даже гипотеза, согласно которой габариты и планировка внутреннего пространства AV будут определяться исходя из требований организации комфортного места отдыха и/или рабочего места их владельца и, соответственно, будут ближе к параметрам кемпера (camper, caravan, travel trailer). В означенном сценарии по-

является своего рода комбинированное рабочее место: дистанционное стационарное – из дома; дистанционное мобильное – в AV (в самоходном кемпере!); традиционное стационарное – в офисе; вопрос только в пропорциях. Стоит заметить, что данный сценарий возможно реализовать и сегодня, то есть без AV, но в варианте найма персонального водителя; понятна, однако, принципиальная разница в масштабах применения.

I.P.2. Обеспечение индивидуальной мобильности для лиц, которые не могут водить автомобиль, – лиц преклонного возраста, инвалидов, школьников. Данная позиция очевидным образом верна применительно к пожилым и совершеннолетним маломобильным гражданам. Возможность доверить самостоятельные поездки на AV детям, скажем так, неочевидна; во всяком случае, этот вопрос следует адресовать специалистам по психологии ребенка.

I.P.3. Снижение расходов владельцев транспортных компаний на оплату труда водителей. Данная позиция должна быть рассмотрена в увязке с одним из потенциально негативных последствий прихода AV для общества, а именно:

C.N.1. Сокращение количества рабочих мест для профессиональных водителей.

Эти позиции являются сегодня очевидным предметом «ажитажного интереса и спекуляций», в основном спекуляций левого толка, связанных с темами безработицы профессиональных водителей и «несправедливых бонусов», который AV обеспечат владельцам транспортных компаний. На самом деле валидность соответствующей гипотезы неочевидна: вопрос в том, окупит ли снижение расходов на оплату труда водителей дополнительные расходы транспортных компаний на приобретение AV и дополнительные затраты на оборудование, услуги и страховые сборы, связанные с их коммерческой эксплуатацией.

Рассмотрим для примера сегмент H2H (перевозка грузов от одного грузового терминала (хаба) до другого по дорогам высших технических категорий), где появление AV так или иначе уже узаконено на практике. Здесь бонусы собственников транспортных компаний от использования AV могут появиться при замещении труда водителей-дальнобойщиков в том случае, когда сложившийся (под влиянием профсоюзного лобби либо низкой конкуренции на локальном рынке труда) уровень их за-

рабочей платы становится чрезмерно высоким. В настоящее время условным рубежом отсечения, определяющим целесообразность отказа от услуг человека-водителя, является ставка от 20 долларов в час. Такой уровень оплаты труда достигнут сегодня в немногих странах мира (Швейцария, Австралия, Бельгия, Норвегия, США, Германия, Австрия, Канада, Швеция) [10 countries, 2021]. Ожидается, что этот рубеж будет смещаться в меньшую сторону по мере снижения цены приобретения и владения AV-траками. Во всяком случае, уровень заработной платы дальнотойщиков большинства стран мира, включая Россию, не дает никаких рациональных оснований для их замены роботами-беспилотниками.

I. N.1. Увеличение стоимости приобретения и владения транспортным средством за счет дополнительного оборудования, услуг и сборов. Здесь следует выделить два аспекта.

Первый – очевидный: увеличение цены за блага и услуги более высокого качества всегда считается логичным и обоснованным. В случае приобретения и владения AV покупатель (пользователь) получает принципиально иное транспортное средство, избавляющее его от функций управления автомобилем. В принципе, автовладелец может и сегодня избавиться от этих функций, наняв персонального водителя; вопрос в цене. Так что издержки на приобретение и владение AV корректно было бы сравнивать с затратами на покупку традиционного автомобиля и наем персонального водителя. Пока что базовая гипотеза состоит в том, что издержки на приобретение и владение AV будут ниже затрат на указанную архаическую форму транспортного обслуживания. Во всяком случае ожидается, что контингент пользователей AV (включая владельцев AV и пользователей AV-каршеринга) будет более многочисленным, чем нынешний контингент нанимателей персональных водителей.

Второй аспект связан с категорией «минимального эффективного масштаба выпуска» (minimal effective scale, MES), присущей любому сегменту экономики. До выхода на этот рубеж такому изделию, как AV Level 5 или хотя бы Level 4, остается, даже по оптимистическим оценкам, еще много времени. Здесь полная аналогия AV со своими предшественниками до времени появления черного Ford-T: в первые годы прихода на рынок AV будут предметом элитарного потребления; во-

прос о том, сколько лет займет выход на уровень MES, остается открытым.

I. N.2. Снижение информационной безопасности и конфиденциальности. Понятно, что пользователь AV может быть уязвим для злоупотребления информацией (взлома); такие функции, как отслеживание местоположения и обмен данными, заведомо могут снизить уровень privacy. Накопленный к настоящему времени опыт «неавтомобильных» сегментов показывает, что эти угрозы не выходят за пределы стандартных негативных последствий прихода цифрового века. Грубо говоря, AV Level 5 «засветит» пользователя в информационном пространстве не больше, чем обычный смартфон.

I. N.3. Дополнительные риски пользователя, вызванные сбоем системы. Эту позицию необходимо рассмотреть в увязке с позицией, относящейся к категории эффектов массового прихода AV для общества в целом, а именно вместе с позицией:

C. P.2. Повышение безопасности дорожного движения. Снижение рисков вождения, в том числе рисков возникновения ДТП, снижение затрат на страхование.

Осуждение обеих этих позиций связано с гипотезами и упомянутыми выше «многочисленными спекуляциями» по поводу того, что с появлением AV в транспортном потоке будет иметь место сокращение допустимой дистанции до автомобиля-лидера (в том числе при движении в пачках), а также повышение скорости по отношению к норме, соблюдаемой квалифицированным законопослушным водителем. Здесь просматриваются два характерных сценария.

Первый из них относится к смешанному транспортному потоку, состоящему из традиционных автомобилей, а также AV различных уровней. Здесь мы разделяем консервативную точку зрения, согласно которой в алгоритмы уровней L2–L4 будут закладываться установки, соответствующие стандартам поведения водителей не просто квалифицированных и законопослушных, но даже наиболее осторожных представителей этого поведенческого кластера.

Вопрос здесь не в технических решениях, но в балансе дополнительных рисков и выгод. В самом деле, издержки в любом интересующем нас случае, к примеру в случае цепной аварии, неизбежно принесут репутационные, а затем и финансовые издержки автопроизводителю и поставщику бортового оборудования. В то же время выгоды от повышения пропускной способности автомобильных дорог, обес-

печенные позитивной корректировкой параметров чувствительности и, соответственно, сокращением допустимой дистанции до автомобиля-лидера, относятся к категории повышения общественного блага.

Таким образом, риски пользователя в смешанном транспортном потоке, скорее всего, даже снизятся по отношению к традиционному случаю. Формально говоря, процент наиболее осторожных, квалифицированных и законопослушных водителей в потоке только увеличится, поскольку к биологическим особям данного типа прибавятся алгоритмические. Альтернативную гипотезу, в которой те же установки закладываются в более агрессивном варианте, мы склонны относить к жанру спекуляций.

Второй сценарий относится к однородному потоку, состоящему исключительно из AV Level 5. Наиболее ожидаемое для этого сценария развитие событий сводится к переводу задачи управления транспортным потоком в задачу управления «коллективным поведением автоматов». За полвека со времени возникновения данного научного понятия [Варшавский, 1973] появились вполне эффективные алгоритмы такого управления. Понятно, однако, что до их испытания в реальном дорожном движении дело дойдет еще не скоро, однако хочется думать, что «коллективное поведение автоматов» на дороге не станет более опасным, нежели поведение их биологических предшественников.

Сопоставим теперь две конкурирующие позиции, связанные с эффектом массового прихода AV для общества в целом.

С одной стороны, ожидается значимый позитивный эффект:

С. Р.3. Увеличение пропускной способности автомобильных дорог, снижение частоты и тяжести заторов за счет улучшения параметров транспортного потока, связанного с присутствием AV в его составе. Сопутствующие эффекты – экономия затрат на дорожное хозяйство и снижение загрязнений окружающей среды.

С другой стороны, высказываются опасения:

С. N.2. Увеличение совокупного пробега транспортных средств (VKT⁷) и, соответственно, спроса на пропускную способность дорожной сети приведет к увеличению частоты и тяжести заторов за счет появления новых пользователей

и увеличения порожних пробегов, приводящих к увеличению затрат на дорожное хозяйство и загрязнению окружающей среды.

Гипотеза по поводу увеличения пропускной способности автомобильных дорог в связи с появлением AV, заявленная на уровне от профессиональных суждений до откровенных спекуляций, базируется на ожидании эффектов, разобранных выше (I. N.3), – мол, с появлением AV в транспортном потоке будет иметь место сокращение допустимой дистанции до автомобиля-лидера, а также повышение скорости по отношению к сложившейся норме.

Перспективы увеличения пропускной способности за счет появления AV в транспортном потоке могут быть оценены средствами моделирования даже в отсутствие подходящих натуральных данных.

Разберем этот вопрос на уровне стандартных моделей транспортного потока. Уравнение следования за лидером было выведено в результате наблюдений, проведенных в конце 1950-х годов в нью-йоркских тоннелях. Это уравнение, впервые представленное в статьях сотрудников Департамента теоретической физики [Gazis et. al., 1959; Gazis et. al., 1961], входившего в состав General Motors Research Laboratory, выглядит следующим образом:

$$\ddot{x}_n(t + \tau) = \alpha * \dot{x}_n^\beta(t) * \frac{\dot{x}_{n-1}(t) - \dot{x}_n(t)}{(x_{n-1}(t) - x_n(t))^\gamma} \quad (1)$$

Здесь x_n , \dot{x}_n , \ddot{x}_n – координата, скорость, ускорение n -го по порядку автомобиля в однополосном однонаправленном транспортном потоке, t – время запаздывания реакции водителя, α – калибровочный параметр, β , γ – параметры чувствительности к дистанции до автомобиля-лидера (($n - 1$)-го по порядку автомобиля), а также к разности скоростей между автомобилем-лидером и автомобилем, следующим за лидером.

Вопросам подтверждения валидности и калибровки указанной модели посвящено множество публикаций 1960–2010 годов (см., например, [Greenshields Symposium, 2011]). Не меньшее количество публикаций за те же годы было посвящено макроскопическому аналогу этой модели, получившему корпоративно-окрашенное название GM-model:

$$v(\rho) = v_0 * (1 - (\rho/\rho_{jam})^{-1+\gamma})^{1/(1-\beta)} \quad (2)$$

7. VKT (vehicle kilometers traveled, совокупный пробег транспортных средств) – общепринятый в мировой практике показатель использования наличного автомобильного парка.

где ρ – плотность (автомобилей на 1 км одной полосы движения) транспортного потока, $v(\rho)$ – скорость (км/час) как функция плотности, v_0 – скорость свободного движения, ρ_{jam} – критическая (заторная) плотность потока, соответствующая нулевой скорости. Обратим внимание, что по физическому смыслу рассматриваемых формул $0 \leq \beta < 1$, $\gamma > 1$.

В силу наличия зависимости $v(\rho)$ с учетом соображений размерности получаем зависимость трафика (λ) (от плотности потока (ρ), которая именуется «основной диаграммой транспортного потока»

$$\lambda(\rho) = \rho * v(\rho),$$

и, соответственно, возможность построения двулистной диаграммы «скорость – интенсивность» $\langle v, \lambda \rangle$, которая наиболее наглядно отражает физическую природу транспортного потока.

На рис. 1 представлена двулистная диаграмма, построенная по данным 1960-х годов для одной полосы движения на городских дорогах высших технических категорий (freeways & expressways), трассированных «по земле» при наличии двух 12-футовых⁸ полос в каждом направлении [Highway Capacity Manual, 1965].

Максимальная интенсивность трафика (λ_{max}) при полном преобладании легковых автомобилей в составе транспортного потока составляла до 2000–2200 авт./час; пороговая скорость (speed threshold), v_{opt} , соответствовала режиму пропускной способности; в данном случае $v_{opt} \approx 0,6 * v_0$.

Согласно данным для аналогичных условий за 2016 год [Motorway Design Volume Guide, 2017], тот же показатель λ_{max} составил 2088 авт./час. Как видим, бесспорное к тому времени доминирование автомобилей уровня L1 в транспортном потоке не внесло никаких изменений в диаграмму образца 1960-х годов. Видимо, мало что изменит с этой точки зрения происходящее в наши дни проникновение в транспортный поток автомобилей уровня L2.

Представляется, однако, вполне вероятным, что выбор дистанции и адаптация скорости автомобиля-преследователя к координатам и скорости автомобиля-лидера могут существенным образом изменяться по мере экспансии автомобилей уровня L3–L4 и одновременно все более продвинутых коммуникационных систем V2V (автомобиль с автомобилем) и V2X (автомобиль с дорожной обстановкой); в этих условиях произойдут более-менее значимые изменения параметров чувствительности β и γ , а соответственно, пропускной способности λ_{max} и пороговой скорости v_{opt} .

8. 12 футов = 3,66 м.

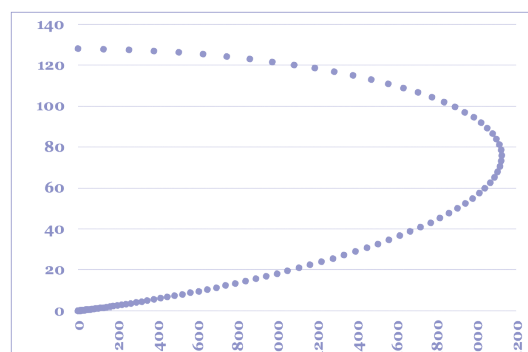


Рис. 1. Характерная диаграмма «интенсивность – скорость» для транспортного потока, состоящего из автомобилей L0 ($\beta = 0,9$; $\gamma = 2,85$; $\lambda_{max} = 2125$; $v_{opt} = 76$).

Здесь возникает, однако, аспект, заслуживающий особого внимания: какой сценарий более правдоподобен: армейский или химический?

Армейским мы называем сценарий, устроенный по аналогии с армейскими соревнованиями по кроссу, где результаты засчитываются по последнему солдату. В рамках этого сценария параметры β и γ должны считаться по наиболее низкому уровню среди всех автомобилей, наблюдаемых в потоке. В случае такого сценария даже массовое проникновение AV L3–L4 не внесет никаких особых изменений в динамику транспортного потока и, соответственно, в увеличение пропускной способности λ_{max} .

Химическим мы называем сценарий, в котором рассматривается гетерогенная смесь разнородных частиц. В рамках этого сценария параметры β и γ являются случайными числами, значения которых зависят от уровня технической оснащенности автомобилей из каждой пары «лидер – преследователь»; соответственно, речь идет о некотором усреднении традиционной диаграммы и пока еще виртуальной диаграммы будущего, построенной для однородного транспортного потока, состоящего исключительно из AV L5.

Научные представления о гипотетическом сценарии, в котором все автомобили перейдут на уровень AV L5 (Full Automation), сформировались еще в 1970-е годы, при первых попытках моделирования «мобильности будущего».

М. БЛИНКИН, А. КУЛАКОВА
БЕСПИЛОТНЫЕ АВТОМОБИЛИ...

Гипотетическая модель трафика на дорогах высших технических категорий выглядела следующим образом: все автомобили, въезжающие на городскую автомобильную магистраль (Urban Freeway), передают управление некоторой централизованной системе («большому брату», предобученной нейросети, искусственному интеллекту...). В этих условиях обеспечивается поддержание высоких и идеально однородных по всему потоку скоростей движения при сколько угодно (в разумном смысле) малых дистанциях и, соответственно, кратный рост пропускной способности. В обозначениях формулы (1) ускорение автомобиля-преследователя (\ddot{x}_n) практически не зависит от его скорости ($\beta \approx 0$) и весьма слабо зависит от разности скоростей с автомобилем-лидером ($\gamma \gg 1$).

В условиях этого «светлого будущего» можно допустить, что идеальная диаграмма «интенсивность – скорость» могла бы выглядеть примерно следующим образом.

«Химический» сценарий, где в транспортном потоке присутствует, к примеру, 30% автомобилей уровня L5, имеет диаграмму, которая представлена на рис. 3 в сравнении с двумя предыдущими.

Во всех случаях следует констатировать, что приросты пропускной способности, по крайней мере значимые, измеряемые десятками процентов, можно ожидать не ранее массового появления AV Level 5. Параметры чувствительности, заложенные в бортовое оборудование уровня L2 или даже L3 и L4, не будут, как было уже отмечено, более рисковыми, чем у водителя-человека.

Гипотеза об увеличении совокупного пробега транспортных средств и, соответственно, спроса на пропускную способность имеет под собой куда большие основания, разумеется, применительно к эпохе массового проникновения AV Level 5. Значительный вклад в увеличение совокупного пробега наверняка произойдет за счет поездок новых пользователей, то есть всех тех людей, которые не могли водить традиционный автомобиль (в том числе AV всех уровней ниже пятого) по медицинским или возрастным причинам.

Значительный вклад в увеличение совокупного пробега произойдет также и за счет неизбежного прироста нулевых пробегов – категории, характерной в наше время только для подвижного состава общественного транспорта.

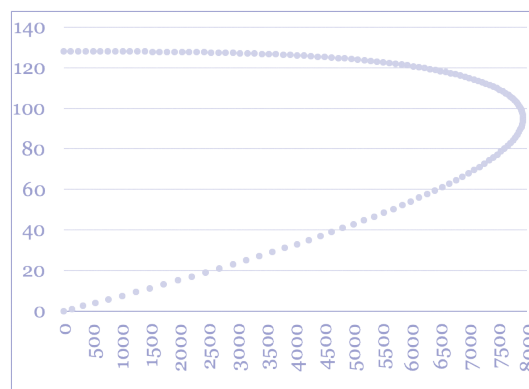


Рис. 2. Характерная диаграмма «интенсивность – скорость» для транспортного потока, состоящего из автомобилей ($\beta = 0,2$; $\gamma=4,0$; $\lambda_{\max}=7930$; $v_{\text{opt}}=96$)

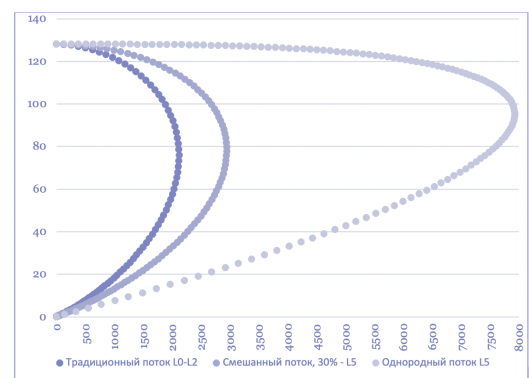


Рис. 3. Диаграммы «интенсивность – скорость» для трех случаев: транспортный поток, состоящий из автомобилей L0–L2 ($\beta = 0,9$; $\gamma=2,85$; $\lambda_{\max}=2125$; $v_{\text{opt}}=76$); смешанный транспортный поток, включающий 30% автомобилей L5 ($\beta = 0,837$; $\gamma=2,9535$; $\lambda_{\max}=2950$; $v_{\text{opt}}=77,6$); транспортный поток, состоящий из автомобилей L5 ($\beta = 0,2$; $\gamma=4,0$; $\lambda_{\max}=7930$; $v_{\text{opt}}=96$)

При использовании AV Level 5, в каршеринге «умная тележка» самостоятельно совершит «нулевой пробег» к заказчику поездки, избавив его от необходимости идти пешком до свободного транспортного средства.

Пользователь собственного AV Level 4 и тем более AV Level 5 не будет оставлять свой экипаж в зоне высоких тарифов на парковке, но отправит его на отстой в более дешевое место.

С последним из названных эффектов связана еще одна позиция рассматриваемой классификации:

С. Р.4. Снижение затрат на устройство парковочного пространства за счет снижения спроса на парковочные лоты в пунктах назначения поездок.

В связи с вышесказанным понятно, что в условиях массового прихода AV Level 5 (частично даже AV Level 4) транспортные средства смогут ожидать вызова на терри-

ториях города, менее дорогих и менее дефицитных, чем те, которые могут потребоваться для основной деятельности их хозяев или пользователей. Соответственно, парковочные емкости в дорогах и дефицитных местах города будут преобразованы в объекты, более полезные для городской жизни.

В итоге до времени массового прихода AV Level 5:

- не будет существенного прироста пропускной способности за счет улучшения параметров динамики транспортного потока;
- не будет существенного прироста спроса на пропускную способность за счет прироста суммарного пробега автомобильного парка по мере включения дополнительных категорий пользователей и увеличения нулевых пробегов;
- баланс спрос–предложение на пропускную способность автомобильных дорог не претерпит существенных изменений;
- за счет опции «самостоятельной поездки» транспортного средства на отстой – от точки деловой активности в городском центре до сравнительно дешевого паркинга на периферии города – уже на уровне AV Level 4 произойдет определенное перестроение парковочного пространства.

Обратим внимание еще на два положительных последствия появления AV для общества.

С. Р.4. Снижение потребления энергии и загрязнения окружающей среды за счет повышения топливной эффективности и снижения выбросов.

Правдоподобность данной гипотезы более-менее очевидна: технические новации в мировом автопроме приводили к означенным эффектам даже до эпохи AV.

С. Р.5. Стимулирование совместного использования транспортных средств: расширение сферы и масштабов использования каршеринга и, соответственно, снижение количества автовладельцев и связанных с этим общественных расходов.

Данная гипотеза также представляется вполне правдоподобной: уже на уровне AV Level 4 упомянутые выше SAV будут, видимо, конкурентоспособны с собственным автомобилем с позиций баланса затрат времени и денег на стандартную го-

родскую поездку. Во всех случаях можно утверждать, что массовый приход SAV в города будет способствовать росту спроса на жилье формата Car Free Development⁹.

Остановимся теперь на потенциально негативных последствиях прихода AV для общества.

С. Н.3. Ускорение процесса расползания городов: в условиях высвобождения непроизводительного времени, затрачиваемого на вождение автомобиля, расстояние от места жительства до рабочего места перестает быть критическим фактором резидентного поведения и выбора локации бизнес-единиц.

Эта позиция отражает, пожалуй, самое масштабное последствие экспансии AV.

Процесс расползания городов как таковой был впервые зафиксирован в США в первой трети XX века. Он вошел в мировую историю урбанизации под названием «исход в пригороды» (Suburban Escape) [Sugrue, 2006] и был теснейшим образом связан с процессом массовой автомобилизации населения. Этот процесс запустил, говоря словами американского историка транспорта Дэвида Джонса, «спираль самоподдерживающего роста»:

«Строительство дорог делало владение автомобилем и жительство в пригороде более привлекательным. В свою очередь, возрастающий объем автомобильных поездок обеспечивал дополнительные налоговые поступления от продажи топлива, которые направлялись на дальнейшее финансирование дорожного строительства. Названные обстоятельства приводили к дальнейшему увеличению привлекательности пригородного жилья, питая возрастающую спираль: пригородное жилье, дороги, автомобили» [Jones D., 1985].

Процесс расползания городов был наиболее явным образом выражен в США и Канаде. Но, разумеется, влияние массовой автомобилизации на планировку и застройку городов и городских агломераций было чрезвычайно мощным во всех странах, где эта массовая автомобилизация населения случилась как таковая.

Единственный логически непротиворечивый формат планировки–застройки–землепользования, реализованный в ходе этого процесса, характеризуется преобладанием односемейных жилых единиц и именуется Car Oriented Develop-

9. Car Free Development (или Car Free Housing) – формат застройки, проживание в которой предусматривает отказ от владения собственным автомобилем и резидентного размещения любого иного автомобиля. Это добровольное обязательство фиксируется в договорах купли-продажи (ипотеки, аренды) жилой единицы.

ment – «застройка, ориентированная на использование личного автомобиля».

Пространственные параметры расположения городов, или же исхода в пригороды, всегда упирались в стену Марчетти [Marchetti, 1994], то есть максимально приемлемое для человека предельное время ежедневной маятниковой поездки. В этой конструкции априори предполагалось, что время в дороге, и в частности время, проведенное за рулем автомобиля, относится к категории потерянного времени (lost time).

Появление AV уровня L5 заставит полностью (во всяком случае, в значительной мере) отказаться от этой конструкции: для любого пользователя AV салон этого транспортного средства – нормальное место для отдыха, общения по мобильной связи, развлечений с использованием тех или иных гаджетов. Более того, для работников всего non factory business тот же салон – нормальное рабочее место, не хуже, чем в офисе или дома. Есть даже гипотеза, согласно которой габариты AV будут определяться конфигурацией места отдыха или рабочего места их владельца и, соответственно, будут ближе к параметрам минивэна. В означенном сценарии появляется своего рода комбинированное рабочее место: дистанционное стационарное – из дома; дистанционное мобильное – в AV; традиционное стационарное – в офисе; вопрос только в пропорциях.

В этих условиях расстояние дом–работа перестает быть критичным; вопрос в наличии высокоплотной сети местных проездов, улиц-коллекторов и главных улиц (Arterial Roads), обеспечивающих выходы на сеть скоростных дорог (Expressways) и автомагистралей (Freeways).

Обратим внимание на количественную сторону дела: плотность дорожной сети (RD) в североамериканских субурбиях находится в диапазоне от 6 до 18 км/км² [New Geography, 2011]. При этом в недавнем исследовании китайских авторов [Zhao et. al., 2021] Spatial and Temporal Characteristics of Road Networks and Urban Expansion”, проведенном на сравнительно-историческом (1984–2014) материале четырех крупнейших агломераций (Нью-Йоркской, Чикагской, Лондонской, Пекинской), показано, что скорость освоения пригородных территорий (км²/год) по тем или иным азимутам увеличивается с ростом плотности дорожной сети почти функциональным образом. Проще говоря, по каким направлениям показатели плотности сети выше, там

и происходит наиболее интенсивное градостроительное освоение территории.

К примеру, в рамках нью-йоркского опыта (одного из самых масштабных в мировой истории!) скорость этого процесса минимальна до рубежа $RD = 3,9$ км/км² и выходит на максимум в диапазоне 10,8–17,2 км/км².

Сравним указанные цифры с реалиями Московского региона. Плотность дорожной сети по Московской области в целом составляет 0,97 км/км². Для ближнего Подмоскovie характерны цифры порядка 1,5 км/км²; к примеру, для территории нынешнего ТИНАО до ее присоединения к Москве имело место $RD = 1,66$ км/км². Для окраинных районов области тот же показатель приближается к отметке 0,5 км/км², типичной для окрестных областей Центрального региона России.

Начиная с 2012 года на территории ТИНАО целенаправленно ведется интенсивное дорожное строительство; согласно имеющимся планам [Развитие Новой Москвы на 2035 год] плотность дорожной сети достигнет здесь отметки 5,82 км/км² к 2035 году. В планах развития ближних к границам Москвы районов Московской области заложены куда более скромные цифры, не превышающие 2 км/км².

Как видим, даже рекордные по отечественным меркам, перспективные показатели плотности дорожной сети ТИНАО не дотягивают до минимальных рубежей эффективного градостроительного освоения территории по формату Car Oriented Development. Что касается нынешних показателей развития сети, находящихся не выше отметки 2,5 км/км², то они попросту несовместимы с этим форматом.

Приведенные цифры и факты показывают, что массовый (то есть за пределами сегмента Luxury!) исход российских горожан в субурбии возможен только посредством переселения из плотной многоэтажной застройки в городе в типологически такую же застройку в пригороде. Замена традиционных автомобилей на AV даже пятого уровня никоим образом эту ситуацию не изменит.

С. Н.4. Увеличение затрат на инфраструктуру. Могут потребоваться более высокие стандарты проектирования и обустройства автомобильных дорог.

Эта гипотеза получила, пожалуй, наибольшую популярность. Более того, во многих странах, включая Россию, целевые затраты на обустройство автомобильных дорог под нужды беспилотников рассматриваются в сугубо позитивном

ключе [Беспилотные автомобили в России, 2022].

Предмет для дискуссии носит здесь принципиальный характер: если искусственный интеллект, присутствующий в AV Level 5, не умнее простого биологического водителя с точки зрения ориентации в дорожной обстановке, то стоит ли свеч вся игра с беспилотным транспортом.

С. N.5. Массовое распространение AV может снизить спрос на услуги общественного транспорта, а также интерес к немоторизованным передвижениям.

Выбор между общественным транспортом и индивидуальным AV определится точно таким же образом, как между любыми иными альтернативными способами совершения ежедневных поездок: по минимуму обобщенной цены – суммы денежных и неденежных затрат на поездку (Generalized Cost of Daily Trip, GCT). Заметим, что сравнение видов транспорта по критерию обобщенной цены поездки было и остается одним из центральных вопросов экономики городского транспорта (см., например, главу Generalized Cost of Daily Trips on the Example of Public Transport and Private Car Selection в сборнике трудов [Transport ..., 2019].

Неденежные затраты на поездку определяются ее продолжительностью, умноженной на так называемую цену времени (value of time), определяемую, как правило, исходя годового дохода пользователя. При этом время, затраченное на поездку горожанином как в качестве пассажира, так и в качестве водителя собственного (или арендованного) автомобиля, считается потерянным (Lost Time).

По этому критерию (GCT) на уровнях ниже L4 никаких существенных сдвигов в расщеплении объема ежедневных поездок между общественным и личным автомобилем ожидать не приходится.

На уровне L4 в пользу личного AV станет работать упомянутый выше фактор снижения цены парковки.

На уровне L5 можно ожидать кардинальных перемен: пользователь, как было отмечено выше, уже не водитель; салон его высокотехнологичного транспортного средства – нормальное место для работы и отдыха. Соответственно, никакого потерянного времени в поездке как такового: Lost Time = 0.

Отметим, однако, что массовое переключение из общественного транспорта в AV Level 5 можно рассматривать как более-менее реалистическую гипотезу только для городов с проавтомобильной планировкой, то есть обладающих двухконтурной улично-дорожной сетью с плотностью (LAS¹⁰) никак не менее 25%. В характерных для городов России условиях LAS < 10% ни о каком переключении говорить не приходится, даже в условиях экспансии AV Level 5.

Вопрос о том, отобьют ли AV Level 5 охоту к пешей ходьбе, езде на велосипедах и средствах индивидуальной мобильности, относится скорее к компетенции социальных психологов, но не транспортных планировщиков.

С. N.6. Массовое распространение AV может привести к потере интереса к иным решениям в сфере мобильности будущего: оптимистичные прогнозы в сфере AV могут стать препятствием для всех прочих транспортных новаций и стратегий развития транспортной системы.

На эту тему есть основания выдвинуть альтернативную или даже прямо противоположную гипотезу: оптимистичные прогнозы в сфере AV могут стимулировать грандиозные по масштабам новации в форматах расселения, городского и регионального развития, в организации всего non factory business и устройстве рабочих мест. Трудно даже вообразить, какие тележки-кемперы уровня AV Level 5, да еще и оснащенные инструментами искусственного интеллекта, придумают дизайнеры ближайшего будущего.

При этом вполне вероятно, что наши представления о «треугольнике» – дом, работа, транспортная связь между ними – изменятся коренным образом. Что касается процессов организации и управления движением как таковых, то коренные изменения по этой части представляются неизбежными.

Мы попытаемся обсудить эти проблемы в своих следующих публикациях.

Источники

Беспилотные автомобили в России (2022) TADVISER. Режим доступа: <https://www.tadviser.ru/a/363284> (дата обращения: 28.08.2023).
Варшавский В. И. (1973) Коллективное поведение автоматов. М.: Наука.

10. LAS (Land Allocated to Streets) – общепринятый в мировой практике показатель плотности УДС, учитывающий протяженность сети и ширину проезжей части отдельных ее участков; измеряется отношением площади УДС к площади застроенной территории города.

- Жидкин В.Ф. (2018) Развитие Новой Москвы на 2035 год//МЦУ «Город». Режим доступа: https://urbanru.ru/wpcontent/uploads/2018/02/TASS_Zhidkin.pdf (дата обращения: 28.06.2023).
- 10 countries where truckers make the most money (2021). Режим доступа: <https://www.freightwaves.com/news/10-countries-where-truckers-make-the-most-money> (дата обращения: 28.06.2023).
- Gazis D.C., Herman R., Potts R. (1959) Car Following Theory of Steady State Traffic Flow//Operations Research. Vol. 7. No. 4. P. 499-505.
- Gazis D.C., Herman R., Rothery R. (1961) Non-linear Follow-the-Leader Models of Traffic Flow//Operations Research. Vol. 9. No. 4. P. 545-567.
- Highway Capacity Manual: 1965 (1965) Special Report 87 edition//Transportation Research Board.
- International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria. Motorway Design Volume Guide 2017.
- Jones D. (1985) Urban Transit Policy: An Economic and Political History. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.Y.
- Litman T.A. (2023) Autonomous Vehicle Implementation Predictions: Implications for Transport Planning//Victoria Transport Policy Institute. Режим обращения: <https://www.vtpi.org/avip.pdf> (дата обращения: 28 June 2023).
- Marchetti C. (1994) Anthropological Invariants in Travel Behavior//Technological Forecasting and Social Change. Vol. 47 (1). P. 75-88.
- Pinjari A.R. (2016). Highway Capacity Impacts of Autonomous Vehicles: An Assessment. Режим обращения: <http://civil.iisc.ac.in/~abdul/uploads/9/6/7/8/9678119/>.
- Road Traffic Act 1988 (1988) Chapter 52. UK Public General Acts.
- Sorensen P. (2010) Road Network Density in Major Metropolitan Areas//New Geography. Режим доступа: <https://www.newgeography.com/content/001316-road-network-density-major-metropolitan-areas> (дата обращения: 01.08.2010).
- Suchanek M. (Ed.) (2021) Transport Development Challenges in the 21st Century//Proceedings of the 2019 Transopot Conference.
- Sugrue T.J. (2006) The New Suburban History. University of Chicago Press.
- The 6 Levels of Vehicle Autonomy Explained (2022) Synopsys. Режим обращения: <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html>.
- Transportation Research Circular E-C 149 (2011) 75 Years of the Fundamental Diagram for traffic flow theory, Greenshields Symposium//TRB Traffic Flow, Theory and Characteristics Committee.
- Vellinga (2019) Automated driving and its challenges to international traffic law: which way to go?//Law, Innovation and Technology. Vol. 11 (2). P. 257-278. DOI: 10.1080/17579961.2019.1665798.
- Wegscheider A.K. et. al. (2022) Shared, Autonomous, and Electric: An Update on the Reimagined Car//BCG. Режим обращения: <https://www.bcg.com/publications/2022/update-on-shared-autonomous-electric-vehicles-market> (дата обращения: 30 July 2022).
- Zhao G., Zheng X., Yuan Z., Zhang L. (2017) Spatial and Temporal Characteristics of Road Networks and Urban Expansion//Land. Vol. 6 (2), 30. DOI: <https://doi.org/10.3390/land6020030>.

AUTONOMOUS VEHICLES: PROSPECTS AND EXPECTED CONSEQUENCES OF EXPANSION

Mikhail Y. Blinkin, PhD, Tenured Professor, Academic Supervisor, Institute for Transport Economics and Transport Policy Studies at Faculty of Urban and Regional Development; Academic Supervisor, Faculty of Urban and Regional Development, HSE University; 9/11 Myasnitskaya str., Moscow, 101000, Russian Federation.

E-mail: mblinkin@hse.ru

Anastasia A. Kulakova, leading expert, Institute for Transport Economics and Transport Policy Studies, Faculty of Urban and Regional Development, HSE University; 9/11 Myasnitskaya str., Moscow, 101000, Russian Federation. E-mail: aakulakova@hse.ru

Abstract. This article provides an overview of the prospects and expected consequences on the automotive market and traffic flow related to the mass appearance of autonomous vehicles (AV). The term AV refers to vehicles equipped with software and hardware to assist the driver with "dynamic driving tasks", and ultimately will be capable of replacing the traditional "biological" driver with a "digital" one.

A modern 6-level classification of advanced driver-assistance systems (ADAS) is presented from Level 0 at which the car is equipped only with ABS, to Level 5 at which full driving automation is achieved. Level 5 vehicles do not require human attention, here "dynamic driving tasks" as such are eliminated from the user's competence (no longer the driver!). Level 5 (fully automated) vehicles do not have a steering wheel, accelerator, or brake pedal.

Legal restrictions related to fundamental additions and changes to the Vienna Convention on Road Traffic of 1968, according to which "every vehicle or combination of vehicles shall have a driver"; "Every driver shall possess the necessary physical and mental abilities [...] to drive" and "the knowledge and skills required for driving the vehicle" are also considered.

The article analyzes the expected positive and negative consequences associated with the mass appearance of Level 3, Level 4 and, especially, Level 5 vehicles. The emphasis is on the consequences of this phenomenon, which are of particular interest in the urban and transport-urban planning aspects such as the impact on land use and settlement formats, the

transport behavior of individuals, the territorial preferences of households and companies, the capacity of roads, splitting the demand for movement between individual and public transport, and road safety. The general conclusion is that the impact of the mass appearance of AV on the car market and traffic flow will be comparable in scale and long-term consequences to the process of mass motorization of the population started at the beginning of the 20th century.

Key words: autonomous vehicles (AV); dynamic driving task, ADAS, road capacity, parking space, transport behavior, road safety, resettlement, land use.

Citation: Blinkin M.Ya., Kulakova A.A. (2023) Autonomous vehicles: prospects and expected consequences of expansion. *Urban Studies and Practices*, vol. 8, no 1, pp. 32-45. DOI: <https://doi.org/10.17323/usp81202332-45> (in Russian)

References

10 countries where truckers make the most money (2021) Available at: <https://www.freightwaves.com/news/10-countries-where-truckers-make-the-most-money>.

Bespilotnye avtomobili v Rossii (2022) [Autonomous vehicles in Russia] *TADVISER*. Available at: <https://www.tadviser.ru/a/363284> (accessed 28 June 2023). (in Russian)

Gazis D.C., Herman R., Potts R. (1959) Car Following Theory of Steady State Traffic Flow. *Operations Research*, vol. 7 (4), pp. 499-505.

Gazis D.C., Herman R., Rothery R. (1961) Nonlinear Follow-the-Leader Models of Traffic Flow. *Operations Research*, vol. 9 (4), pp. 545-567.

Highway Capacity Manual: 1965 (I965) Special Report 87 edition.

Transportation Research Board. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria. *Motorway Design Volume Guide* 2017.

Jones D. (1985) *Urban Transit Policy: An Economic and Political History*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.Y.

Litman T.A. (2023) *Autonomous Vehicle Implementation Predictions: Implications for Transport Planning*. *Victoria Transport Policy Institute*. Available at: <https://www.vtpi.org/avip.pdf> (accessed 28 June 2023).

Marchetti C. (1994) *Anthropological Invariants in Travel Behavior*.

Technological Forecasting and Social Change, vol. 47 (1), pp. 75-88.

Pinjari A.R. (2016). Highway Capacity Impacts of Autonomous Vehicles: An Assessment. Available at: <http://civil.iisc.ac.in/~abdul/uploads/9/6/6/7/8/9678119/>.

Road Traffic Act 1988 (1988) Chapter 52. UK Public General Acts.

Sorensen P. (2010) Road Network Density in Major Metropolitan Areas. *New Geography*. Available at: <https://www.newgeography.com/content/001316-road-network-density-major-metropolitan-areas> (accessed 1 August 2010).

Suchanek M. (Ed.) (2021) *Transport Development Challenges in the 21st Century. Proceedings of the 2019 TranSpot Conference*.

Sugrue T.J. (2006) *The New Suburban History*. University of Chicago Press.

The 6 Levels of Vehicle Autonomy Explained (2022) *Synopsys*. Available at: <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html>.

Transportation Research Circular E-C 149 (2011) 75 Years of the Fundamental Diagram for traffic flow theory, Greenshields Symposium. TRB Traffic Flow, Theory and Characteristics Committee.

Varshavsky V.I. (1973) *Kollektivnoe povedenie avtomatov [Collective Behavior of Automata]*. M.: Nauka. (in Russian)

Vellinga (2019) Automated driving and its challenges to international traffic law: Which way to go? *Law, Innovation and Technology*, vol. 11 (2), pp. 257-278. DOI: 10.1080/17579961.2019.1665798.

Wegscheider A.K. et al. (2022) Shared, Autonomous, and Electric: An Update on the Reimagined Car. BCG. Available at: <https://www.bcg.com/publications/2022/update-on-shared-autonomous-electric-vehicles-market> (accessed 30 July 2022).

Zhao G., Zheng X., Yuan Z., Zhang L. (2017) Spatial and Temporal Characteristics of Road Networks and Urban Expansion. *Land*, vol. 6 (2), 30. DOI: <https://doi.org/10.3390/land6020030>.

Zhidkin V.F. (2018) Razvitie Novoj Moskvy na 2035 god [Development of New Moscow for 2035]. *MCU «Gorod» [The Moscow Center of Urban Studies "City"]*. Available at: https://urbanru.ru/wp-content/uploads/2018/02/TASS_Zhidkin.pdf (accessed 28 June 2023). (in Russian)