

ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

*Р.И. Капелюшников*

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ  
И ПРОБЛЕМА СИНГУЛЯРНОСТИ В ЭКОНОМИКЕ**

Препринт WP3/2025/01

Серия WP3

Проблемы рынка труда

Москва  
2025

УДК 330.35  
ББК 65стд1-55  
К20

Редактор серии WP3  
«Проблемы рынка труда»  
*В.Е. Гимпельсон*

**Капелюшников, Р. И.**

К20 Искусственный интеллект и проблема сингулярности в экономике [Электронный ресурс] : препринт WP3/2025/01 / Р. И. Капелюшников ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — Электрон. текст. дан. (711 Кб). — М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2025. — 67 с. — (Серия WP3 «Проблемы рынка труда»).

В последние годы в связи с развитием технологии искусственного интеллекта (ИИ) важное место в исследованиях по экономическому росту заняло обсуждение проблемы сингулярности. Многие ожидают, что уже в ближайшие десятилетия ИИ сможет достичь уровня человеческого интеллекта и взять на себя выполнение всех или большей части задач, выполняемых сегодня людьми. Это обеспечит переход экономики в режим сингулярности с непрерывно ускоряющимися темпами роста (в пределе — стремящимися к бесконечности). По оценкам, благодаря внедрению ИИ темпы экономического роста возрастут на порядок — с нынешних 2–3% до беспрецедентных 20–30%. В работе подробно рассматриваются аргументы как «за», так и «против» такого сверхоптимистического сценария. Аргументация в его пользу исходит из ключевой посылки моделей эндогенного роста о том, что конечным источником экономического роста выступают идеи (научные и технологические знания). Типы сингулярности могут различаться в зависимости от того, где ИИ сможет заместить собой человеческий труд — только при производстве «обычных» товаров и услуг, только при производстве идей или одновременно и там и там. Основной теоретический контраргумент связан с так называемой «болезнью издержек Баумоля», когда со временем вклад в ВВП секторов с самыми быстрыми темпами роста производительности последовательно уменьшается. Основной эмпирический контраргумент связан с тем, что если бы сингулярность была уже рядом, то первые признаки этого были бы видны по необычному поведению ключевых макроэкономических показателей. Отсюда делается вывод, что даже если взрывной рост и станет когда-либо реальностью, то очень нескоро.

УДК 330.35  
ББК 65стд1-55

Ключевые слова: автоматизация, «болезнь Баумоля», искусственный интеллект, сингулярность, экономический рост

JEL: D83, E25, J11, O31, O33, O40

*Капелюшников Ростислав Исаакович* (rostis@hse.ru), член-корреспондент Российской академии наук (РАН), главный научный сотрудник ИМЭМО РАН, заместитель директора Центра трудовых исследований (ЦеТИ) Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ).

**Препринты Национального исследовательского университета**  
«Высшая школа экономики» размещаются по адресу: <http://www.hse.ru/org/hse/wp>

© Капелюшников Р.И., 2025

## Введение

В последние годы в связи с развитием технологии искусственного интеллекта (ИИ) важное место в исследованиях по экономическому росту заняло обсуждение проблемы сингулярности. Когда ИИ удастся достичь уровня человеческого интеллекта, что, по мнению многих наблюдателей, вполне может произойти еще до истечения нынешнего столетия, это будет означать автоматизацию всех или большинства задач, выполняемых сегодня людьми. Поскольку количество таких систем ИИ, полностью или почти полностью заменяющих людей, можно будет наращивать очень быстро, это должно будет привести к переходу экономики в режим сингулярности, то есть к непрерывно ускоряющимся темпам ее роста, в пределе стремящимся к бесконечности. Речь идет о будущей ситуации, когда, «быстрое развитие информационных технологий и ИИ пересечет границу, за которой экономический рост начнет стремительно ускоряться по мере того, как технологические усовершенствования, осуществляемые со все возрастающей скоростью, станут каскадом распространяться по всей экономике» [Nordhaus, 2021, 299]. Такая постановка вопроса не нова: еще в 1960 г. лауреат Нобелевской премии Г. Саймон предсказывал, что рано или поздно ИИ радикально трансформирует весь ландшафт мировой экономики [Simon, 1965]. У современных экономистов перспектива такого развития событий вызывает по понятным причинам все больший интерес.

В своем исходном значении сингулярность — это сжатие времени в точку. В математике ситуация сингулярности возникает, когда знаменатель какой-либо дроби оказывается равным нулю и, соответственно, ее значение устремляется к бесконечности, а в астрофизике — когда галактика схлопывается в черную дыру. В экономике термином «сингулярность» обозначают ускорение темпов экономического роста до бесконечно большой величины, когда человечество мгновенно или за предельно короткое время оказывается способно достичь абсолютного максимума благосостояния. Для обозначения этого феномена нередко используют также выражения «взрывной», «сверхэкспоненциальный», «трансформативный» рост, поскольку тогда его скорость окажется на порядок выше сегодняшних «анемичных» показате-

лей. Говоря более конкретно, в ситуации сингулярности производство начнет ежегодно увеличиваться не менее чем на 20–30% вместо нынешних 2–3% — показателя, который в странах, находящихся на фронтире технологического прогресса, сохранялся практически неизменным на протяжении последних полутора столетий начиная с последних десятилетий XIX века.

Различают сингулярность двух типов — первого и второго [Aghion et al., 2019]. В первом случае речь идет о непрерывно ускоряющемся росте на протяжении неограниченного периода времени, во втором — о бесконечном росте за конечное время. Сингулярность второго типа обычно относят к области научной фантастики (хотя некоторые модели роста ее допускают), но сингулярность первого типа считается вполне достижимой на практике. Более правдоподобно выглядит сценарий, при котором непрерывно ускоряющиеся темпы роста наблюдаются в течение какого-то ограниченного, но достаточно длительного отрезка времени (скажем, нескольких десятилетий), после чего они стабилизируются на том или ином уровне. В менее строгих терминах подобные ситуации также описываются как «сингулярность», хотя в данном случае мы имеем дело всего лишь со сверхбыстрым переходом с одной, более низкой, на другую, более высокую, траекторию роста.

Стоит отметить, что взрывной рост на 30% ежегодно никогда раньше не встречался в мировой истории — ни в Англии в период Промышленной революции, ни в Японии в 1960-е гг., ни в Китае в последние десятилетия. Как это выглядело бы на практике? Вот несколько арифметических иллюстраций. В настоящее время на удвоение мирового ВВП уходит примерно 20–30 лет; при взрывном росте он начнет удваиваться каждые 2–3 года. А это будет означать «создание и внедрение такого множества технологических достижений, которые повысят уровень жизни в 10 раз сильнее, чем все, что мы когда-либо придумали и внедрили за всю историю человечества» [Davidson, 2021]. Тогда все улучшения в сфере жилья, медицинского обслуживания, программного обеспечения и т.д., на которые уходят сейчас 10 лет, смогут вписаться в один год. Сходным образом научный прогресс в физике, биологии, инженерии, социальных дисциплинах, достигаемый сегодня за 10 лет, будет достигаться всего за год. Где-то рост окажется быстрее, где-то медленнее, но в

среднем он ускорится десятикратно. Это означает, что за десятилетний срок человечество сможет добиться технологических и экономических успехов того же масштаба, которых ему удалось добиться за предыдущие сто лет<sup>1</sup>. Пока трудно даже вообразить, с какой скоростью в условиях сверхэкспоненциального роста ИИ станет менять жизнь людей и повышать их благосостояние. При 30-процентных темпах роста через 25 лет человечество станет в тысячу раз богаче, чем сейчас — и это при том, что за всю его историю уровень жизни людей вырос только в сто раз. Если же такой темп роста будет сохраняться на протяжении целого столетия, то доход на душу населения увеличится в 250 миллиардов раз, что хотя и не является сингулярностью в буквальном смысле, с практической точки зрения мало от нее отличается [Davidson, 2021].

Потенциально системы ИИ могут быть задействованы как в производстве «обычных» товаров и услуг («объектов», по терминологии П. Рёмера), так и в производстве новых знаний и технологий («идей», по терминологии П. Рёмера), позволяя решать сложные задачи и масштабировать найденные решения [Romeg, 1993]<sup>2</sup>. Сингулярность первого типа, когда темпы роста неограниченно ускоряются, но в любой данный момент времени остаются конечными, возникает при полной или практически полной автоматизации процесса производства «обычных» товаров и услуг (объектов). Если же вместо него или в дополнение к нему, полной или почти полной автоматизации подвергнется процесс производства новых идей, результатом может стать сингулярность второго типа (по сути — сингулярность в математическом смысле), когда бесконечный рост будет достигаться за конечное время. Но даже если внедрение систем ИИ будет стимулировать

---

<sup>1</sup> Это относится как к созданию инноваций, так и к их освоению и внедрению. Так, при взрывном росте процесс электрификации, растянувшийся в развитых странах примерно на 70 лет, занял бы только 7 лет. Первый коммерческий мобильный телефон появился в начале 1980-х гг., его полная зарядка занимала 10 часов и время разговора составляло 30 минут. Сегодня смартфонами пользуются миллиарды людей. При взрывном росте все это случилось бы за какие-то 4 года.

<sup>2</sup> По определению Ч. Джонса, идея — это «проект, план или набор инструкций, позволяющих, отталкиваясь от уже существующих объектов, преобразовывать и использовать их так, что это будет обеспечивать либо больший выпуск либо более высокую полезность» [Jones, 2019, 865].

траекторию взрывного роста на протяжении лишь какого-то ограниченного периода времени (скажем, двух-трех десятилетий), пока он не столкнется с жесткими лимитирующими факторами (такими, например, как ограниченность земельных ресурсов, энергии и т. д.), это все равно будет способно повысить уровень благосостояния человечества в десятки раз.

По утверждениям экспертов по информационным технологиям, ИИ стремительно движется к сверхинтеллекту, который будет «намного превосходить даже лучшие человеческие мозги практически во всех сферах, включая научное творчество, житейскую мудрость и социальные навыки» [Bostrom, 2006, 11]. Как считают многие, через непродолжительное время ИИ сможет превзойти по уровню креативности даже наиболее талантливых и наиболее опытных ученых и инженеров<sup>3</sup>. В тот момент, когда компьютеры достигнут сверхума во всех сферах человеческой деятельности, возникнет «сингулярность» в том смысле, что люди станут экономически излишними, перестав оказывать какое-либо влияние на функционирование экономики. Сверхумные компьютеры — последнее изобретение, которое предстоит совершить человеку<sup>4</sup>. Вслед за этим такие сверхумные машины начнут писать «технологические коды» для всех возможных производственных процессов, а также, что не менее важно, усовершенствовать самих себя, создавая все лучшие и лучшие свои копии — без какого-либо участия людей [Nordhaus, 2021]. И когда ИИ научится быстро самосовершенствоваться,

---

<sup>3</sup> Когда говорят о появлении ИИ человеческого уровня, имеются в виду не только системы искусственного интеллекта с когнитивными способностями, не уступающими человеческому разуму, но и роботы, способные выполнять широкий спектр физических задач от ремонта сантехники до ухода за детьми. Создание роботов с такими способностями может оказаться не менее важным, чем создание программного обеспечения с когнитивными способностями человеческого уровня.

<sup>4</sup> Еще в 1960 г. известный математик Э. Гуд писал по этому поводу: «Определим сверхумную машину как машину, которая способна намного превзойти любую интеллектуальную активность любого человека, каким бы умным он ни был. Поскольку проектирование машин является одним из видов интеллектуальной деятельности, сверхумная машина могла бы создавать еще лучшие машины; тогда, несомненно, произошел бы “интеллектуальный взрыв” и человеческий интеллект остался бы далеко позади. Таким образом, первая сверхумная машина — это последнее изобретение, которое предстоит когда-либо совершить человеку» [Good, 1965, 33].

это приведет к сингулярности с безграничным машинным интеллектом и, соответственно, к бесконечному росту за конечное время [Vinge, 1993; Kurzweil, 2005]. В новых условиях человеческий труд перестанет быть лимитирующим производственным фактором, сдерживающим рост экономики. Силы компьютерного интеллекта не оставят никакого места для человека из-за его более низкой производительности по сравнению со сверхразумным ИИ. Наступит эра безлюдной экономики с самоускоряющимися (потенциально — бесконечными) темпами ее роста. В подтверждение правдоподобности такого — фантастического, на данный момент — сценария нередко ссылаются на тот факт, что с середины XX века скорость вычислений устойчиво росла темпом примерно 50% в год [Nordhaus, 2021].

Один из возможных взглядов на историю экономического роста — это взгляд на нее как на историю прогрессирующей автоматизации производственных процессов, то есть замены человека машинами. Под автоматизацией понимают «процесс внедрения технологий по автоматическому выполнению задач, выполнявшихся ранее человеком или даже не допускавших их выполнения человеком» [van der Zande et al., 2020, 33]. Топор, пар, электричество, транзисторы, полупроводники — все это примеры ее поступательного развития. С этой точки зрения ИИ можно определить как «способность машины имитировать разумное человеческое поведение» или как «способность некоего искусственного агента достигать целей в широком диапазоне разнообразных сред» [Aghion et al., 2019, 238]. Поскольку, как ясно из этого определения, ИИ обладает огромным потенциалом по переформатированию экономики за счет автоматизации значительного числа задач, выполняемых в настоящее время людьми, его внедрение предстает как новейшая форма автоматизации [Erdil, Besiroglu, 2024].

Особое значение в этом контексте приобретает автоматизация задач, связанных с открытием новых идей и осуществлением инноваций. Ч. Джонс перечисляет несколько предшествующих технологий, способствовавших в прошлом более быстрому получению новых научных знаний: «Микроскопы, компьютеры, машины для секвенирования ДНК и сам Интернет являются примерами автоматизации, ускорявшими производство идей» [Jones, 2022b, 146]. Однако ИИ занимает в этом ряду особое ме-

сто, поскольку в конечном счете претендует не просто на то, чтобы повысить эффективность труда исследователей и изобретателей, но на то, чтобы полностью заменить их собой.

Конечно, насколько это будет реально, остается неясным. У. Нордхаус выделяет три стадии развития машинного интеллекта [Nordhaus, 2021]. Первая — это область вычислений, когда на входе в какое-либо устройство поступают некие данные, а на выходе мы получаем их в уже обработанном виде. Первая стадия переходит во вторую, когда компьютеры начинают напрямую участвовать в процессе производства, управляя другими машинами (достаточно вспомнить о программируемых роботах). Однако на второй стадии, как и на первой, машины по-прежнему продолжают следовать заложенным в них инструкциям, как это происходит, например, в случае беспилотных автомобилей или дронов. Третья стадия связана с созданием ИИ, способного осуществлять инновации и проектировать новые более совершенные производственные процессы (говоря языком экономической теории, генерировать новые производственные функции). Инновации — это последний рубеж замещения людей машинами, когда они будут способны не только производить то, что нужно людям (как на второй стадии), но и проектировать и внедрять новые, более совершенные технологические процессы, обеспечивающие снижение издержек. Постепенно информационные технологии начинают переходить на эту третью стадию, примером чего могут служить системы ИИ, хотя здесь пока наблюдаются лишь самые первые шаги. Можно сказать, что ИИ доминирует в первой сфере, активно осваивает вторую, но до сих пор мало продвинулся в третьей. Пока, по наблюдению Нордхауса, системы ИИ не сделали ни одного научного открытия — не обнаружили ни одной новой элементарной частицы и не создали ни одного нового лекарства [Nordhaus, 2021]. С этой точки зрения к сверхоптимистическим предсказаниям о том, что ИИ уже в ближайшее время сможет полностью заменить собой человека, следует относиться с осторожностью.

Однако перспектива взрывного роста, связанного с внедрением ИИ, не является единственно возможной. Одновременно многие модели экономического роста предсказывают, что глобальный экономический рост должен вскоре замедлиться или даже полностью застопориться из-за более медленно-

го (а в конечном счете — даже отрицательного) роста населения, которого, по прогнозам, следует ожидать на протяжении XXI—XXII веков, — так называемый эффект «пустующей планеты» [Bricker, Ibbitson, 2020; Jones, 2022a]. Это тем более вероятно, что с начала нынешнего столетия в мире уже произошло резкое замедление темпов роста ВВП и производительности — во всяком случае в странах, находящихся на фронтире технологического прогресса. Сможет ли внедрение ИИ противодействовать этой тенденции к замедлению/остановке роста или даже сделать его взрывным — вопрос, активно обсуждаемый в литературе по проблеме сингулярности [Mokyr, 2018; Brynjolfsson et al., 2017; Erdil, Besiroglu, 2024].

Но существует еще одна опция. Дело в том, что, как уже упоминалось, начиная примерно с конца XXI века темпы экономического роста в технологически наиболее передовых странах оставались фактически постоянными. Такую траекторию можно назвать экспоненциальной, поскольку в них производство каждый год увеличивалось примерно на одну и ту же относительную величину — 2–3%. Подавляющее большинство моделей экономического роста, предлагавшихся в прошлом экономистами, исходило из того, что экспоненциальный рост является если не законом природы, то фундаментальной эмпирической закономерностью, и пытались объяснить его в теоретических терминах. Однако, как показывают современные исследования, ничего однозначно предопределенного здесь нет: при определенных условиях рост вполне может оказываться как затухающим, когда его темпы от года к году все сильнее замедляются, так и взрывным, когда его темпы от года к году все сильнее ускоряются. Тем не менее нельзя исключить и того, что в будущем он так и останется экспоненциальным, каким был в предыдущие полтора столетия.

Поэтому вопрос о том, какой из трех альтернативных сценариев — с затухающими, постоянными или ускоряющимися долгосрочными темпами роста — будет реализован в XXI—XXII веках, обсуждается экономистами в вероятностных терминах. Исходя из имеющихся оценок наиболее вероятным признается сценарий затухающего, а наименее вероятным — постоянного роста, тогда как сценарий взрывного роста, допускающий возникновение сингулярности, находится где-то посередине.

Поскольку достижение сингулярности в экономике связывают с развитием технологии искусственного интеллекта, анализ этой проблемы естественным образом распадается на две части. Вопрос первый: насколько вероятно, что в обозримой перспективе (скажем, до конца XXI столетия) ИИ достигнет уровня человеческого интеллекта, взяв на себя все или хотя бы основную часть задач, выполняемых сегодня людьми? Многие наблюдатели настроены в этом отношении сверхоптимистично, полагая, что это произойдет достаточно скоро — уже до конца или даже до середины нынешнего столетия. Среди футурологов господствует представление, что создание ИИ человеческого уровня станет реальностью уже в ближайшие 10–20 лет. Так, Р. Курцвейл, автор бестселлера «Сингулярность уже рядом» (2005), утверждает: «Создание мощного искусственного интеллекта абсолютно неизбежно, потому что вся наша цивилизация базируется на технологиях. Появление мощного искусственного интеллекта, который будет превосходить людей по всем параметрам, неизбежно, потому что мы неосознанно движемся к этому с того момента, как начали использовать первые технологии вроде каменных орудий труда. Возможности искусственного интеллекта принципиально безграничны. И однажды мы сможем слиться с ним и получить его силу, создав новый доминирующий вид жизни на планете» [Kurzweil, 2024].

Экономисты настроены более осторожно, но и они оценивают вероятность появления сверхразумного ИИ еще до конца нынешнего столетия в диапазоне от 20% до 80% [Cotra, 2020; Davidson, 2021]. Конечно, нужно оговориться, что пока это всего лишь прогнозы: во-первых, все еще неясно, окажется ли ИИ в принципе когда-либо способен превзойти естественный интеллект при решении подавляющего большинства задач, и, во-вторых, как показывает опыт, предсказания технооптимистов почти никогда не сбывались — во всяком случае в обозначенные ими сроки, опережая реальный ход событий на много десятилетий.

Вопрос второй: если ИИ все-таки достигнет уровня человеческого интеллекта или хотя бы вплотную приблизится к нему, то что это будет означать для экономики и прежде всего — для темпов ее роста? Если он возьмет на себя все или основную часть задач, выполняемых сегодня людьми, так что им не оста-

нется ничего, чем они могли бы заняться, то как это отразится на жизни общества? Действительно ли экономика перейдет тогда в состояние сингулярности со все более и более ускоряющимися (в пределе — бесконечными) темпами роста? Если первый вопрос относится скорее к сфере компетенции футурологов и экспертов по ИТ, то второй — скорее к сфере компетенции экономистов.

Ответ, который сегодня дают на него многие из них, выглядит вполне оптимистично, хотя и не экстремально. Так, по оценкам экспертов банка Goldman Sachs [Goldman Sachs, 2023], в странах, находящихся на фронтире технологического прогресса, ИИ уже в ближайшее десятилетие добавит к ежегодным темпам роста душевого ВВП дополнительные 1,5 п.п., а, по оценкам экспертов компании МакКинзи [McKinsey Global Institute, 2023], — 1,5–3,4 п.п. Речь, таким образом, идет об ускорении экономического роста в полтора-два раза. Однако некоторые экономисты идут дальше, утверждая, что уже в течение следующих десяти лет ИИ обеспечит увеличение ВВП развитых стран в базовом сценарии на 100%, а в более «агрессивном» сценарии на 300% [Korinek, Suh, 2024]. Это, конечно, еще не сингулярность, но быстрое приближение к ней.

Насколько можно судить, российским экономистам мало известно о дискуссии вокруг проблемы сингулярности, которая в зарубежной экономической литературе ведется уже достаточно давно. Мы попытаемся восполнить этот пробел, представив аргументы как сторонников, так и противников идеи о том, что уже в нынешнем столетии темпы экономического роста ускорятся в десять и даже более раз, а также рассмотрев формальные условия для перехода экономики в гипотетическое состояние сингулярности в рамках существующих моделей экономического роста. Что это — упражнение в околonaучной фантастике или завтрашний день основной части человечества? Станет ли ИИ триггером беспрецедентной экономической революции или его влияние на благосостояние общества останется ограниченным? Как теоретическая, так и практическая важность анализа этого круга вопросов кажется самоочевидной. Естественно, последующее обсуждение будет сфокусировано на второй части проблемы сингулярности, оставляя ее первую часть на усмотрение футуро-

логов и экспертов по ИТ. По умолчанию, мы будем исходить из того, что искусственный интеллект человеческого уровня рано или поздно будет разработан, и нас будет интересовать, какие последствия это может иметь для экономики.

## Немного азбуки роста

Чтобы упростить дальнейшее обсуждение, имеет смысл напомнить о некоторых базовых («учебниковых») представлениях из теории экономического роста.

С количественной точки зрения можно выделить три основных типа роста — экспоненциальный, когда экономика из года в год растет одним и тем же постоянным темпом (скажем, 3%), суперэкспоненциальный, когда она растет непрерывно ускоряющимся темпом (скажем, в первый год — 2%, во второй — 3%, в третий — 4% и т.д.) и субэкспоненциальный, когда она растет непрерывно затухающим темпом (скажем, в первый год 1%, во второй — 0,5%, в третий — 0,2% и т.д.).

Примеры экспоненциального роста: удвоение клеток каждый час; удвоение инфицированных Covid-19 каждый месяц; удвоение мирового ВВП каждые 20-30 лет [Davidson, 2021]. Процесс экспоненциального роста можно формально представить как:  $y_{t+1} = y_t(1 + g)$ , где  $g$  — постоянный темп прироста. В этом случае время удвоения размеров экономики также остается всегда постоянным: скажем, в США ВВП на душу населения рос последние 150 лет устойчивым темпом около 2%, удваиваясь примерно каждые 40 лет.

В сверхэкспоненциальном сценарии рост ускоряется без каких-либо ограничений, становясь со временем все быстрее и быстрее (например, он может описываться формулой:  $y_{t+1} = y_t(1 + ky_t)$ , где  $k > 1$ ). Соответственно, время, необходимое для удвоения размеров экономики, последовательно уменьшается. Скажем, в древние времена, по некоторым оценкам, для удвоения мирового ВВП требовалось 1000 лет, но сегодня для этого достаточно всего лишь 20–30 лет.

В субэкспоненциальном сценарии рост постепенно замедляется (например, по формуле:  $y_{t+1} = y_t + k$ ). Соответственно, время, необходимое для удвоения размеров экономики, непрерывно удлиняется. Так, за период 1970–2020 гг. население мира при-

мерно удвоилось, но, согласно существующим демографическим прогнозам, в течение нынешнего столетия этого больше никогда уже не повторится. Модели с субэкспоненциальным ростом подразумевают, что в перспективе экономика должна выйти на плато, на котором затем и будет удерживаться.

Как уже было отмечено, опыт последних полутора веков во многом предопределил направление, по которому пошло развитие теории роста. Большинство моделей роста ставили своей задачей объяснить, как возможен экспоненциальный рост, тогда как случаи сверхэкспоненциального и субэкспоненциального роста чаще всего выносились за скобки. Теоретическая возможность таких траекторий признавалась, однако у исследователей они не вызывали особого интереса. Ситуация изменилась в начале XXI века, когда на горизонте (прежде всего – перед странами, находящимися на фронтире технологического прогресса) обозначились реальные перспективы как сверхэкспоненциального роста, связанного с ИИ, так и субэкспоненциального роста, связанного с сокращением численности населения<sup>5</sup>.

Во всех моделях экономического роста выпуск определяется как функция от затрат производственных факторов. Примером может служить стандартная производственная функция Кобба-Дугласа, имеющая вид:

$$Y = A K^\alpha L^{1-\alpha}, \quad (1)$$

где  $Y$  – выпуск,  $K$  – капитал,  $L$  – труд,  $A$  – совокупная факторная производительность (СФП) или, что тоже самое, уровень технологии или, или, что опять-таки то же самое, запас научных и технологических идей, а  $\alpha$  и  $(1 - \alpha)$  – эластичности выпуска по затратам соответственно капитала и труда. Таким образом, при увеличении на один процент затрат капитала выпуск будет увеличиваться на  $\alpha$  процентов ( $\alpha < 1$ ), а при увеличении на один процент затрат труда на  $(1 - \alpha)$  процентов. При этом для обоих факторов предполагается убывающая предельная производительность, когда каждая следующая единица капитала (при условии неизменности затрат труда) и каждая следующая единица труда (при условии неизменности затрат капитала) обеспечивают все меньший прирост выпуска. Эта убывающая отдача от факторов

---

<sup>5</sup> Существуют серьезные теоретические сомнения, что экспоненциальный рост ВВП, характерный для развитых стран в течение последних полутора веков, можно поддерживать при отсутствии растущей численности населения.

производства резко ограничивает возможности роста, который они способны обеспечить сами по себе<sup>6</sup>.

Отдача от масштаба — это увеличение выпуска при пропорциональном увеличении затрат всех факторов (например, и труда и капитала). Она может быть постоянной, когда удвоение затрат всех факторов, ведет к увеличению выпуска также в два раза; возрастающей, когда удвоение затрат всех факторов ведет к увеличению выпуска более чем в два раза; убывающей, когда удвоение затрат всех факторов ведет к увеличению выпуска менее чем в два раза. Предположим, что выпуск создается трудом и капиталом. Математически это можно записать как  $Y = F(L, K)$ . Постоянная отдача от масштаба означает, что  $F(2L, 2K) = 2Y$ ; возрастающая — что  $F(2L, 2K) > 2Y$ ; убывающая — что  $F(2L, 2K) < 2Y$ . В стандартной производственной функции Кобба–Дугласа отдача от масштаба задается равной 1, то есть постоянной. Удвоив количество фабрик, а, значит, количество станков и работников на них, мы могли бы удвоить выпуск всех товаров.

Сценарии взрывного (сверхэкспоненциального) роста предполагают, что отдача от масштаба является возрастающей. За счет чего это возможно? Все потенциальные факторы производства можно разделить на две категории — конкурентные в использовании и неконкурентные в использовании. Большинство товаров и ресурсов («объектов» в терминологии Рёмера) принадлежат к первой категории: пользование автомобилем или компьютером одним человеком исключает возможность пользования ими кем-то другим. Труд и капитал — это примеры конкурентных в использовании ресурсов: установив у себя данный станок, фирма *A* лишает возможности использовать его фирму *B*; наняв данного работника, фирма *B*, лишает возможности использовать его труд

---

<sup>6</sup> Это легко проиллюстрировать на условном примере. Предположим, у нас есть 1 млн ноутбуков высокого качества, раздав которые 1 млн работников, мы можем резко повысить их производительность, что будет способствовать росту ВВП. Раздав им затем еще по одному ноутбуку, мы снова повысим их производительность, но уже намного меньше. Однако после того, как мы снабдим их всех десятым ноутбуком, прирост ВВП, скорее всего, окажется нулевым, поскольку для того, чтобы быть полезными, ноутбукам нужны работники, а их количество фиксировано. Из-за этого увеличивать ВВП просто за счет наращивания количества ноутбуков или любых других машин и механизмов с какого-то момента станет невозможно.

фирму *Г*. Это, если можно так выразиться, «вычитаемые» ресурсы: больше у меня, меньше у вас, и наоборот. Допустим, снабдив работника компьютером, мы окажемся способны повысить его производительность. Но если мы решим повысить таким образом производительность миллиона работников, нам потребуется миллион компьютеров, поскольку они представляют собой конкурентный в использовании ресурс.

Идеи, знания, технологии — это примеры неконкурентных в использовании ресурсов: если фирма *А* использует на своем заводе новую конструкцию солнечной панели, это не мешает фирме *Б* использовать точно такую же конструкцию на ее заводе [Romer, 1990]. Чтобы идеей мог воспользоваться второй человек, ее не нужно «отнимать» у первого — как это происходит в случае станков или компьютеров. Идеи легко копировать и их не нужно открывать заново: их можно задействовать снова и снова. Допустим, мы удвоили объемы труда и капитала, но при этом технология осталась прежней. Буквально скопировав каждую фабрику, нам удалось бы удвоить выпуск. Но при этом, что принципиально важно, нам не пришлось бы вдвое улучшать технологию: идеи неконкурентны в использовании и поэтому на вдвое большем числе фабрик мы могли бы использовать все тот же самый запас идей без каких-либо признаков его исчерпания. Если же мы бы увеличили вдвое как количество станков и работников, так уровень технологии, то выпуск возрос бы более чем в два раза, то есть каждая фабрика стала бы производить больше продукции, чем раньше. Это пример возрастающей отдачи от масштаба: удвоение затрат факторов (труда, капитала и технологии) увеличивает выпуск более чем вдвое.

Неконкурентность идей в использовании означает, что они пригодны для неограниченного применения. Когда идея получена, ее могут параллельно использовать сколько угодно людей: программный код достаточно придумать один раз, чтобы затем его мог одновременно использовать миллион работников. Поэтому если, скажем, в случае капитала производительность оказывается зависящей не от его общего объема, а от его уровня в расчете на одного работника, то в случае знаний и технологий — зависящей от их суммарного запаса, а не от их уровня в расчете на одного работника. Каждой новой идеей может в одно и то же время пользоваться неограниченно большое количество людей, так что она будет повышать производительность каждого из них, а не кого-то одного.

Включение идей в качестве еще одного фактора производства имеет важные последствия. Из-за неконкурентности в использовании они обеспечивают возрастающую отдачу от масштаба, которая при определенных условиях приводит к возникновению сингулярности с последовательно ускоряющимися темпами роста. В таком случае уравнение (1) можно переписать как:

$$Y = A^\sigma K^\alpha L^{1-\alpha}, \quad (2)$$

где  $\sigma$  ( $\sigma > 1$ ) представляет собой отдачу от масштаба.

С содержательной точки зрения модели экономического роста можно разделить на два больших класса — экзогенного роста и эндогенного роста. В моделях первого типа какие-то факторы предполагаются эндогенными и их динамика объясняется изнутри модели, но какие-то задаются как экзогенные извне модели и не получают в ней объяснения. Например, в производственной функции Кобба–Дугласа капитал выступает как эндогенный фактор, потому что его можно накапливать за счет сбережения части выпуска и ее последующего реинвестирования, но труд (занятое население) и технологический прогресс (в иных терминах, запас идей) — как экзогенные факторы, значения которых определяется с использованием методов, внешних по отношению к модели. Скажем, для определения динамики численности населения (и, значит, рабочей силы) могут использоваться демографические прогнозы. Рассматривая уровень технологии как экзогенный фактор, большинство таких моделей предполагают, что он будет повышаться с постоянной (экспоненциальной) скоростью. Хотя они постулируют существование положительной обратной связи между выпуском и капиталом (чем больше капитала, тем больше выпуск; чем больше выпуск, тем больше капитал), этого оказывается недостаточно, чтобы обеспечить устойчивый экономический рост. В конечном счете действие этого механизма сводится к нет убывающей отдачей капитала, когда каждый дополнительный станок или компьютер обеспечивают все меньшую и меньшую прибавку к ВВП, если остальные ресурсы остаются фиксированными [Davidson, 2021]. В результате в долгосрочной перспективе экономический рост оказывается обусловлен динамикой экзогенных факторов — труда и технологии, изменения в которых принимаются как заданные.

Соответственно, в стандартных моделях экзогенного роста долгосрочный темп роста выпуска,  $g$ , предстает как сумма ( $n + g_A$ ), где  $n$  — темп роста населения, а  $g_A$  — темп роста СФП, то есть скорость технологического прогресса. Долгосрочный экономический рост в таком случае будет происходить с постоянным темпом, поскольку постоянными предполагаются  $n$  и  $g_A$ . В моделях экзогенного роста постоянство этих параметров никак не объясняется, а просто принимается как данность исходя из каких-то общих предположений об их динамике.

В моделях эндогенного роста все факторы, включая рост населения и технологический прогресс, предполагаются эндогенными и экономический рост объясняется изнутри модели как результат деятельности рациональных экономических агентов, стремящихся к максимизации прибыли (например, как результат их инвестиций в научные исследования и разработки) или полезности [Romer, 1990]. Можно сказать, что если модели экзогенного роста выносят конечные драйверы долгосрочного экономического роста за скобки, то в моделях эндогенного роста именно они становятся предметом изучения. В них население и технологии наравне с капиталом выступают как воспроизводимые, а, значит, аккумулируемые ресурсы. Как следствие,  $n$  и  $g$  перестают быть константами и начинают меняться в широком диапазоне значений. Возникают две дополнительные петли положительной обратной связи: чем больше выпуск, тем больше население, а чем больше население, тем больше выпуск и т.д. и чем больше выпуск, тем больше идей, а чем больше идей, тем больше выпуск и т.д. Положительная обратная связь между выпуском и населением и через это — между выпуском и технологическим прогрессом (накоплением знаний) может оказываться настолько сильной, что при определенных условиях способна генерировать не только постоянный (экспоненциальный), но и взрывной (сверхэкспоненциальный) долгосрочный экономический рост, иными словами — порождать сингулярность.

В литературе встречаются два типа моделей эндогенного роста — основанные на накоплении и основанные на идеях [Davidson, 2021]. Первые делают акцент на процессе увеличения запаса капитала (как физического, так и человеческого) с технологическим прогрессом в качестве возможного побочного эффекта, тогда как вторые — на сознательной деятельности по разработке новых (не-

конкурентных в использовании) идей и технологий. В первых конечным источником роста признается накопление физического или человеческого капитала, во вторых — новые идеи, производство которых рассматривается как результат целенаправленных усилий, например — вложений в НИОКР. Это означает, что новые идеи производятся из того же набора ресурсов, что и конечная продукция, — труда, капитал и доступных технологий. В то время как модели, основанные на накоплении, предполагают, что рост связан с увеличением количества физических машин, гаджетов и других технических средств в расчете на одного человека, модели, основанные на идеях, предполагают, что он связан с разработкой новых (неконкурентных в использовании) конструкций для машин, гаджетов и других технических средств. Хотя в этом случае также имеет место накопление капитала, но не оно выступает конечным драйвером роста.

В моделях, основанных на идеях, возможность взрывного роста объясняется возрастающей отдачей от масштаба аккумулируемых ресурсов (таких как население или идеи), которая, если она оказывается достаточно высокой, позволяет преодолевать ограничения, связанные с убывающей отдачей капитала и других аналогичных факторов. От соотношения двух этих разнонаправленных сил в конечном счете зависит, по какому сценарию пойдет долгосрочный экономический рост — экспоненциальному, сверхэкспоненциальному или субэкспоненциальному.

Существует также важный промежуточный класс моделей полуэндогенного роста, где технологический прогресс частично объясняется изнутри модели, но частично определяется извне, потому что ставится в зависимость от темпов роста населения — фактора, который обычно принимается как экзогенный [Jones, 1995]. Особенно часто такие модели — из-за технического удобства и большей реалистичности — используются при анализе производства идей (подробнее см. следующие разделы).

Имеется огромное число эмпирических исследований, посвященных оценке вклада различных факторов в экономический рост. Как правило, они приходят к выводу, что в долгосрочной перспективе главный вклад в рост ВВП вносит СФП, а не накопление физического или человеческого капитала (см., например: [Fernald, Jones, 2014]). С этой точки зрения модели, основанные на идеях, выглядят, по-видимому, предпочтительнее моделей, основанных на накоплении [Davidson, 2021].

## Аргументы «за»

Обратимся теперь непосредственно к проблеме сингулярности.

Существуют ли достаточные основания ожидать скорого перехода экономики в такой необычный режим функционирования? Как упоминалось во Введении, сценарий, при котором продвинутый ИИ окажется способен стимулировать ежегодный тридцатипроцентный рост ВВП, настолько не укладывается в привычные рамки и настолько отличается от всего, с чем человечеству приходилось сталкиваться до сих пор, что, на первый взгляд, он может показаться абсолютно нереальным, если не абсурдным. Однако, по мнению американского экономиста Т. Дэвидсона, это всего лишь инерция мышления [Davidson, 2021]. Он ссылается на три факта из экономической истории и экономической теории, показывающие, что фантастический мир с взрывным ростом не так уж неправдоподобен и совсем не уникален.

*Аргумент первый: исторический.* В свете экономической истории сверхэкспоненциальный рост предстает как широко распространенное явление, имеющее множество прецедентов. По имеющимся свидетельствам, человечество уже не раз переживало периоды непрерывно ускоряющегося роста, когда его темпы увеличивались на порядок. Так, с началом Аграрной (Неолитической) революции 10–12 тыс. лет назад они смогли постепенно ускориться с 0,03% до 0,3%, а с началом Промышленной революции 250 лет назад ускориться еще раз с 0,3% до 3% [Roodman, 2020]. Это справедливо как для объема мирового ВВП, так и для его уровня на душу населения. Хотя данные, относящиеся к доисторическому прошлому, крайне скудны и ненадежны, можно как минимум вполне уверенно утверждать, что начиная с XVIII века темпы экономического роста действительно возросли на порядок.

Как ни удивительно, но, согласно этим оценкам, на протяжении большей части истории экономический рост являлся сверхэкспоненциальным. Иными словами, у предполагаемого ускорения темпов роста на порядок обнаруживается немало прецедентов в прошлые эпохи. И если бы такой скачок произошел еще раз, это радикально изменило бы картину экономического роста по сравнению с той, что наблюдается с конца XIX века,

когда в развитых странах на смену сверхэкспоненциальному пришел экспоненциальный рост (см. выше, Введение)<sup>7</sup>.

Конечно, из-за отсутствия точных данных оценки, относящиеся к глубокой древности, носят в значительной мере гадательный характер. Но здесь важно учитывать, что почти весь период своего существования человечество жило в мальтузианском мире, где уровень потребления практически не менялся, удерживаясь вблизи минимума средств существования, необходимого для выживания [Hansen, Prescott, 2002]. Любое повышение душевого потребления сверх некоторого минимального порога «съедалось» последующим ростом численности населения (из-за лучшего питания снижалась смертность, выживших становилось больше и росла рождаемость), а любое его падение ниже этого порога компенсировалось последующим сокращением численности населения (из-за недоедания смертность возрастала и выживших становилось меньше). Всякий раз, когда какое-то технологическое новшество немного увеличивало выпуск в расчете на одного человека, численность населения начинала быстро расти, чтобы поглотить «избыточное» предложение продуктов питания.

Но из того факта, что вплоть до недавнего времени душевой доход оставался практически неизменным, следует, что применительно к давним историческим эпохам мы можем судить о динамике мирового ВВП по изменению численности населения Земли. В условиях мальтузианского мира темпы роста населения должны были ускоряться по мере увеличения его численности. И если с течением времени оно росло все быстрее, то, значит, то же самое происходило и с ВВП: сверхэкспоненциальный рост численности населения автоматически означал сверхэкспоненциальный рост экономики. (Конечно, такой рост никогда не был гарантирован: природные и социальные катаклизмы могли прерывать его, вызывая длительные откаты и паузы на сотни лет.)

Если же в длительной исторической перспективе «нормой» оказывается скорее сверхэкспоненциальный, тогда как «аномалией» — скорее экспоненциальный рост, то возвращение в обозримом будущем к самоускоряющемуся росту перестает казаться чем-то сюрреалистическим. Тогда нельзя исключать, что

<sup>7</sup> Для всей мировой экономики переход к экспоненциальному росту душевого дохода произошел позже — примерно с середины XX века. [Davidson, 2021].

революция искусственного интеллекта окажется способна обеспечить очередное ускорение темпов роста еще на порядок — с 3% до 30%. Согласно историческим данным (см. выше), за время существования человечества рост ускорился примерно в 100 раз. Но если он уже смог стать в 100 раз быстрее, то так ли уж невероятно, что к 2100 г. он станет быстрее еще в 10 раз?

Гипотетические экономисты, жившие тысячу лет назад и наблюдавшие черепаши темпы экономического роста того времени, не могли бы представить, как индустриализация и технологический прогресс когда-нибудь позволят экономике удваиваться каждые 30 лет. С аналогичной проблемой — нехватки воображения — сталкиваются, возможно, и современные экономисты [Davidson, 2021]. По инерции они воспринимают экспоненциальный рост, наблюдавшийся в развитых странах с конца XIX века, как некий закон природы, тогда как на самом деле это всего лишь кратковременный сбой в траектории сверхэкспоненциального роста, который поддерживался многие тысячелетия. Полтора века постоянного роста в прошлом нельзя считать достаточным доказательством, что ускоряющийся рост невозможен в будущем [Davidson, 2021].

*Аргумент второй: концептуальный.* Новейшие модели роста дают вполне убедительное объяснение базового механизма, способного вызывать взрывной рост экономики: это — увеличение численности населения [Davidson, 2021]. Как уже упоминалось, они исходят из того, что конечным источником экономического роста следует считать идеи или, в более привычной формулировке, технологический прогресс. Поскольку в доисторические времена численность населения была крайне низкой, количество умов, которые могли бы генерировать новые идеи, также было ничтожно мало. Но чем меньше новых идей, новых открытий и новых технологий, тем, естественно, ниже темпы роста. Однако стоило появиться новой важной идее, как материальное положение людей улучшалось, что стимулировало повышение рождаемости; численность населения начинала увеличиваться, а чем больше становилось потенциальных инноваторов, тем быстрее удавалось натолкнуться на следующую новую идею. Включался механизм положительной обратной связи: больше идей ⇒ лучше методы добывания пищи ⇒ лучше питание ⇒ выше рождаемость ⇒ больше людей ⇒ больше идей и т.д. Очевидно, что этот ме-

ханизм должен был вести не просто к росту, но к непрерывно ускоряющемуся росту — за счет неконкурентности идей в использовании [Davidson, 2021]. Чем больше людей жило в тот или иной период, тем активнее генерировались новые идеи, что во многом объясняет, почему сегодня рост происходит намного быстрее, чем двести лет или две тысячи лет тому назад<sup>8</sup>.

Описанный механизм объясняет не только то, почему на протяжении большей части экономической истории доминировал сверхэкспоненциальный рост, но и то, почему начиная с определенного момента он перестал быть таким [Davidson, 2021]. Дело в том, что в конце XIX—начале XX веков в развитых странах положительная обратная связь по идеям была разорвана так называемым Вторым демографическим переходом, понимаемым как переход от высоких к низким показателям рождаемости. Примерно с 1880 г. несмотря на то, что эти страны становились все богаче и богаче, их жители стали предпочитать иметь не больше, а меньше детей. Большой запас идей, который обеспечивал все больший объем доступных людям материальных благ, становился источником не столько более высокой численности населения (как в мальтузианском мире), сколько более высокого душевого дохода. В постмальтузианском мире «больше идей» вело уже не к «большему количеству людей», а к «более богатым людям»: больше идей ⇒ больше богатых людей ☒ ~~больше идей~~. Это замедлило скорость появления новых идей и затормозило экономический рост, превратив его из сверхэкспоненциального в экспоненциальный. С конца XIX века темпы роста оставались практически постоянными, а если и демонстрировали иногда ускорение, то только за счет стран догоняющего развития.

<sup>8</sup> В качестве условного примера предположим, что каждые 100 новых идей позволяют удваивать численность населения. Первоначально, чтобы придумать 100 идей, необходимых для удвоения его численности, небольшой популяции требовалось очень много времени — скажем, 3 тыс. лет. Однако по мере увеличения ее размеров появлялось все больше людей, выдвигавших идеи, и поэтому на то, чтобы получить 100 новых идей, требовалось все меньше времени. Как следствие, численность населения начинала удваиваться за более короткий промежуток. Через какое-то время требовалось уже только 300 лет, чтобы прийти к идеям, необходимым для следующего удвоения численности населения. И так далее. Такая причинно-следственная зависимость предполагает непрерывное пошаговое ускорение экономического роста на протяжении сотен и тысяч лет по мере того, как петля положительной обратной связи между идеями и людьми приобретала все больший размах.

Почему так произошло? С теоретической точки это было связано с тем, что люди (точнее — их труд) стали из накапливаемого ненакапливаемым ресурсом. По определению, ресурс поддается аккумулярованию, если его запас можно увеличивать, увеличивая выпуск. Тогда включается механизм положительной обратной связи: больше выпуск  $\Rightarrow$  больше затраты данного производственного фактора  $\Rightarrow$  больше выпуск. Отличительной чертой подхода, предсказывающего взрывной рост, является трактовка труда и технологий в качестве накапливаемых ресурсов: больше выпуск  $\Rightarrow$  больше людей  $\Rightarrow$  больше идей (быстрее технологический прогресс)  $\Rightarrow$  больше выпуск. Традиционно модели роста рассматривали в качестве ресурса, поддающегося аккумулярованию, только капитал: больше выпуск  $\Rightarrow$  больше объем инвестиций (при той же норме сбережений)  $\Rightarrow$  больше запас капитала  $\Rightarrow$  больше выпуск. Но та же самая логика, которая используется обычно применительно к накоплению капитала, приложима (при определенных условиях) также к накоплению технологий (идей) и рабочей силы. Когда же все производственные факторы являются накапливаемыми, положительная обратная связь между их затратами и выпуском может становиться настолько мощной, что рост начинает непрерывно ускоряться — даже если существуют какие-то фиксированные факторы производства (такие, например, как земля). Если говорить точнее, он начинает ускоряться благодаря возрастающей отдаче от масштаба по накапливаемым ресурсам: при удвоении затрат всех факторов выпуск увеличивается более чем вдвое<sup>9</sup>.

Как упоминалось, в мальтузианском мире люди, подобно капиталу, являлись накапливаемым ресурсом: их количество увеличивалось при увеличении объема выпуска: больше выпуск  $\Rightarrow$  больше пищи  $\Rightarrow$  больше людей. Отсюда — возможность ускоряющегося роста. Однако после Второго демографического перехода люди утратили свойство накапливаемости: человеческий труд сделался узким местом, которое не позволяло росту и дальше оставаться сверхэкспоненциальным. Из-за возникшей ограниченности трудовых ресурсов каждая следующая добавка капитала (машин и оборудования) обеспечивала все меньшую добавку к выпуску. Убывающая отдача капитала стала ограни-

---

<sup>9</sup> Как объяснялось в предыдущем разделе, возрастающая отдача от масштаба обуславливается неконкурентностью идей (технологий) в использовании.

чивать возможности роста, которого можно было достигать, просто производя больше машин. Из-за слома механизма положительной обратной связи, когда увеличение запаса идей уже не вело к увеличению численности людей, рост перестал ускоряться, удерживаясь примерно на одном и том же неизменном уровне.

Более того: следуя той же логике есть весомые основания ожидать, что вскоре — под влиянием негативных демографических трендов — экономический рост начнет замедляться или даже вообще подойдет к концу. (Напомним, что в развитых странах его темпы с начала XXI века уже значительно просели.) Как следует из всех демографических прогнозов, в течение нынешнего столетия рост населения мира должен сначала замедлиться, а затем, скорее всего, стать отрицательным. Исходя из петли положительной обратной связи по идеям, это предполагает, что темпы экономического роста также перейдут на понижательную траекторию. Соответственно, рост в XXI века с высокой степенью вероятности окажется субэкспоненциальным, а не экспоненциальным, каким он был в развитых странах в течение предыдущих полутора столетий<sup>10</sup>. В таком контексте экспоненциальный рост, который экономисты по умолчанию принимают за «норму», предстает как всего лишь промежуточная станция между сверхэкспоненциальным ростом в прошлом и субэкспоненциальным ростом в будущем.

Однако пессимистический сценарий с затухающими темпами роста не является предопределенным и единственно возможным: разработка ИИ человеческого уровня позволит, как ожидают многие, избежать его, вновь превратив рост в непрерывно ускоряющийся. Представим гуманоидных роботов с ИИ, способных выполнять все (или почти все) физические и когнитивные задачи, которые сегодня приходится выполнять людям,

---

<sup>10</sup> На первый взгляд, негативный эффект от замедления роста населения можно было бы компенсировать ускоренным ростом числа исследователей, занимающихся производством новых идей. Но доля исследователей в численности населения ограничена сверху и, достигнув определенного порогового уровня, уже не может увеличиваться дальше. Обе эти тенденции — к замедлению роста населения и к замедлению роста доли исследователей — предполагают постепенное затухание темпов экономического роста, если согласиться, что его главным драйвером выступают новые идеи (технологический прогресс).

включая открытие новых идей. ИИ станут придумывать более эффективное аппаратное и более эффективное программное обеспечение, так что их производительность начнет быстро повышаться — они станут совершенствовать сами себя. Идеи, выдвигаемые ИИ, будут обеспечивать больший объем выпуска, который будет затем реинвестироваться в производство еще большего числа систем ИИ лучшего качества. В этом случае совокупная рабочая сила будет фактически складываться из двух частей: работников-людей и работников-роботов. Если таких работников-роботов удастся создавать за более короткое время и с меньшими издержками, чем требуется для рождения, воспитания и обучения работников-людей, то благодаря этому труд из ненакапливаемого ресурса вновь станет накапливаемым, каким он был до Второго демографического перехода.

Фактически это будет означать восстановление петли положительной обратной связи: больше идей  $\Rightarrow$  больше работников-роботов  $\Rightarrow$  больше идей, что позволит вернуться к сверхэкспоненциальному росту. Это очень похоже на прежний механизм: больше идей  $\Rightarrow$  больше людей  $\Rightarrow$  больше идей. Растущая популяция роботов с продвинутым ИИ будет придумывать и реализовывать все больше полезных идей, чтобы экономика могла развиваться все быстрее и быстрее. И поскольку раньше цикл положительной обратной связи по идеям вел к ускорению роста, естественно ожидать, что то же самое произойдет и в случае с ИИ. Продвинутое системы ИИ смогут заставить механизм положительной обратной связи заработать вновь. И когда так случится, рост снова начнет непрерывно ускоряться (см. Таблицу 1)<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Этот результат можно выразить иначе. Инвестируя часть выпуска в гуманоидных роботов и другие типы ИИ, мы сможем получать тот же эффект, как если бы занимали все больше и больше работников, занятых как производством товаров, так и производством идей. В таком случае труд вновь превращается в накапливаемый ресурс и его предложение перестает быть ограничителем для роста. И поскольку раньше это уже приводило к суперэкспоненциальному росту, нет ничего невероятного в том, чтобы этот сценарий повторился вновь. По сути речь идет о преодолении — благодаря внедрению ИИ — негативных последствий, связанных со Вторым демографическим переходом.

Таблица 1. Хронология механизма обратной связи по идеям

Период	Петля обратной связи по идеям	Тип роста
До 1880 г.	Да: больше идей $\Rightarrow$ больше людей $\Rightarrow$ больше идей	С течением времени рост мирового ВВП ускоряется
С 1880 г. по настоящее время	Нет: больше идей $\Rightarrow$ больше богатых людей $\boxtimes$ <del>больше идей</del>	Мировой ВВП растет постоянным темпом
Если будет разработан ИИ человеческого уровня	Да: больше идей $\Rightarrow$ больше систем ИИ $\Rightarrow$ больше идей	С течением времени рост мирового ВВП ускоряется

Источник: [Davidson, 2021].

Но чтобы это стало возможно, ИИ должен обрести способность заменять людей при выполнении очень широкого спектра задач, в том числе — связанных с открытием и внедрением новых идей: от запуска стартапов и проведения научных исследований до реорганизации и усовершенствования производственных процессов [Davidson, 2021]. В современных экономиках технологический прогресс носит организованный характер и разработкой новых идей занимается специализированная группа работников — ученые и исследователи. Действующий здесь механизм прост: больше исследователей  $\Rightarrow$  больше идей<sup>12</sup>. Поэтому если бы существовала возможность увеличивать число исследователей (а, значит, и запас идей) без ограничения, это вело бы ко все большему ускорению темпов экономического роста также без какого-либо ограничения. На практике это пока невозможно, поскольку в отличие от капитала труд (включая труд работников, занятых в НИОКР) является ненакапливаемым ресурсом.

Но если машины научатся когда-либо самостоятельно генерировать научные и технологические идеи, то тогда ограничения, задаваемые количеством и качеством исследователей-людей, отпадут: к ним подключатся исследователи в виде систем

<sup>12</sup> Если предположить, что исследователи составляют фиксированную долю в общей численности населения, то зависимость принимает вид: больше людей  $\Rightarrow$  больше исследователей  $\Rightarrow$  больше идей.

ИИ, для увеличения количества которых не существует никаких жестких границ. В этом случае темпы роста ускорятся настолько, что экономика сможет перейти в состояние сингулярности [Davidson, 2021]. Если, скажем, количество ИИ-исследователей можно ежегодно увеличивать на 20%, но количество исследователей-людей только на 2%, то темп роста производительности возрастет примерно в 10 раз, если системы ИИ окажутся подключены к сфере НИОКР в качестве еще одной, дополнительной группы производителей идей. В таком случае определяющим фактором окажется скорость, с которой можно будет наращивать вложения в создание таких систем ИИ. Правда, если все же останутся какие-то важные задачи, требующие для открытия и реализации новых идей обязательного участия людей, это может стать узким местом и взрывной рост останется недостижимым. В промежуточных ситуациях, когда ИИ сможет автоматизировать некоторые, но не все рабочие места, результат будет неоднозначным. По разным оценкам, для достижения сингулярности было бы достаточно, чтобы ИИ взял на себя 66–80% выполняемых сегодня людьми задач, возникающих как при производстве «объектов», так и при производстве «идей» [Jones, 2022b; Nordhaus, 2021].

3. *Аргумент третий: «модельный».* Но возможность достижения сингулярности не ограничивается только моделями, основанными на идеях, где системы ИИ могут пониматься как новый тип рабочей силы. При определенных значениях ключевых параметров стандартные модели, разработанные для объяснения экспоненциального роста последних 150 лет, где системы ИИ будут трактоваться как новый тип капитала, точно так же способны выводить на сверхэкспоненциальный рост. Для этого в них достаточно ввести предположение о том, что прогресс в области информационных технологий позволит капиталу намного эффективнее, чем это происходит сейчас, замещать в производственных процессах труд.

Иными словами, речь идет о резком повышении в результате внедрения ИИ эластичности замещения между факторами производства — трудом и капиталом, что выглядит достаточно правдоподобно (подробнее этот вопрос будет обсуждаться в следующих разделах). Капитал — фактор, поддающийся аккумулярованию. Соответственно, по мере того, как капитал в форме ИИ станет успешнее замещать собой труд, отдача от масштаба по на-

капливаемым ресурсам начнет возрастать, создавая предпосылки для перехода к взрывному росту.

В стандартных моделях роста механизм обратной связи выглядит так: машины производят товары и услуги, увеличивая выпуск; часть выпуска инвестируется в производство новых машин; машин, с помощью которых можно создать еще больший выпуск, становится больше, и т.д. Иными словами: больше машин  $\Rightarrow$  больше выпуск  $\Rightarrow$  больше машин. Но это достаточно слабый механизм из-за убывающей отдачи от капитала: при фиксированности затрат труда каждая следующая единица капитала (например, каждый следующий станок) будет обеспечивать все меньшую добавку к выпуску, пока она не станет нулевой (см. выше об убывающей производительности капитала). Но если машины будут включать системы ИИ, которые смогут полностью или почти полностью замещать собой работников-людей, этот механизм станет намного сильнее, порождая при определенных условиях непрерывно ускоряющийся рост. Автоматизация все более широкого спектра задач, выполняемых пока людьми, будет вести к растущему вытеснению труда из производства, способствуя возрастанию отдачи от капитала, когда «старый» капитал в виде станков и других механических устройств будет комбинироваться с «новым» капиталом в виде систем ИИ. Предполагаемый сценарий можно описать так: капитал (в форме ИИ) более эффективно замещает труд  $\Rightarrow$  доля капитала в выпуске увеличивается  $\Rightarrow$  отдача от затрат накапливаемых факторов возрастает  $\Rightarrow$  более быстрый рост.

Насколько далеко должно продвинуться развитие ИИ, чтобы обеспечить взрывной рост не менее чем на 20–30% в год? Ответ варьируется в зависимости от свойств различных типов моделей. Но чаще всего критическое условие сводится к тому, что эластичность замещения между капиталом и трудом должна быть выше 1 (подробнее об этом см. ниже)<sup>13</sup>. Это условие более слабое, чем совершенная (бесконечная) эластичность замещения между капиталом и трудом, которая неявно предполагается тогда, когда системы ИИ рассматриваются как особый тип рабочей силы.

Поэтому если удастся автоматизировать только производство «обычных» товаров и услуг (но не производство идей) или только

<sup>13</sup> Это означает, что любого работника-человека можно заместить машинами, вложив определенную (возможно, очень большую) сумму капитала.

производство идей (но не производство «обычных» товаров и услуг), модели, где ИИ рассматривается как особый тип капитала, предсказывают взрывной рост для каких-то специальных случаев, но его отсутствие для каких-то других. В промежуточных ситуациях, когда автоматизации подвергнется только часть задач выполняемых людьми, ускорение роста будет наблюдаться лишь в течение какого-то ограниченного периода времени [Aghion et al., 2019]. Для непрерывно ускоряющегося роста необходима либо полная либо постоянно расширяющаяся автоматизация. В любом случае можно утверждать, что большинство стандартных моделей, используемых при изучении экономического роста, совместимы с идеей сингулярности и допускают ее как теоретическую возможность.

Экономисты Ф. Траммелл и А. Коринек рассмотрели 25 альтернативных способов включения ИИ в формальные модели экономического роста, по-разному концептуализирующих фактор технологического прогресса [Trammell, Korinek, 2023]. В зависимости от особенностей их построения и выбора конкретных параметров это в 9 случаях вело к сингулярности первого или второго типа. Точный механизм ее достижения мог различаться, но большинство фигурирующих в экономической литературе моделей были способны без особых затруднений генерировать сверхэкспоненциальный рост: «Нет недостатка в механизмах, при которых прогресс в области автоматизации смог бы привести к революционным последствиям с точки зрения роста: стоит только активно включиться в их поиск» [Trammell, Korinek, 2023, 57].

В итоге оба способа включения ИИ в модели роста — и в качестве нового типа рабочей силы и в качестве нового типа капитала — подводят к тому же результату: если продвинутые системы ИИ смогут эффективно заменить людей как в производстве «объектов», так и в производстве «идей», это может стать источником взрывного роста, обеспечив возрастающую отдачу от масштаба по накапливаемым ресурсам.

По мнению Дэвидсона, три этих общих аргумента — исторический опыт, петля положительной обратной связи по идеям и возможность достижения сингулярности в рамках многих стандартных моделей роста — достаточно весомы, чтобы не отбрасывать сценарий сверхэкспоненциального роста как заведомо неправдоподобный и отнестись к перспективе его реализации в течение уже ближайших десятилетий всерьез [Davidson, 2021].

## Формальные условия

Формальные условия, при которых экономика входит в режим сингулярности, по-разному описываются в моделях разного типа. В моделях экзогенного роста они выглядят не так, как в моделях эндогенного роста, в моделях, основанных на идеях, — не так, как в моделях, основанных на накоплении, в моделях с высокой эластичностью замещения между факторами производства — не так, как в моделях с низкой эластичностью замещения между ними и т.д. Мы ограничимся лишь несколькими простейшими примерами (подробнее об этом см.: [Davidson, 2021; Trammell, Korinek, 2023]).

За отправной пункт удобнее всего взять модель полуэндогенного роста — наверное, наиболее популярную теоретическую конструкцию, рассматривающую идею в качестве конечного источника экономического роста [Jones, 1995]. Обычно она строится в предположении, что рост населения носит экзогенный характер, увеличиваясь некоторым постоянным темпом  $n$ . Соответственно, в момент времени  $t$  численность населения, которая для простоты принимается равной численности рабочей силы, определяется по формуле:

$$L_t = L_0 e^{nt}. \quad (3)$$

Модель включает два сектора: первый — по производству «обычных» товаров и услуг и второй — по производству идей, причем каждый со своей собственной производственной функцией. Если  $L_t$  — это вся рабочая сила, а  $s$  — ее доля, которая приходится на исследователей (создателей идей), то занятые будут распределяться между этими секторами в пропорции  $(1 - s)L_t$  и  $sL_t$ . В дальнейшем мы будем исходить из того, что  $s$  не меняется во времени, так что пропорция между занятыми производством «объектов» и занятыми производством идей всегда остается одной и той же.

Предположив для простоты, что единственным фактором производства является труд, производственную функцию для первого сектора можно представить как:

$$Y_t = A_t^c (1 - s) L_t, \quad (4)$$

где  $Y_t$  — выпуск,  $A_t$  — запас идей (в иных терминах — текущий уровень технологического прогресса или совокупная фактор-

ная производительность), а  $\sigma$  — отдача от масштаба по идеям. Разделив обе части уравнения (4) на  $L_t$ , мы получаем выражение для уровня выпуска на душу населения:

$$y_t = A_t^\sigma (1 - s). \quad (5)$$

Отсюда видно, что темп роста душевого выпуска,  $g_y$ , будет зависеть, во-первых, от темпа притока новых идей,  $g_A$ , и, во-вторых, от отдачи от масштаба по идеям,  $\sigma$ :

$$g_y = \sigma g_A. \quad (6)$$

Говоря иначе, экономический рост будет тем выше, чем быстрее накапливаются новые знания и чем больше отдача от масштаба. Если принять ключевую посылку моделей эндогенного роста о неконкурентности идей в использовании [Romer, 1990], то отдача от масштаба по идеям будет возрастающей ( $\sigma > 1$ ): увеличение запаса идей на 1% будет обеспечивать рост выпуска более чем на 1%. Это, напомним, предполагает, что душевой выпуск будет зависеть от *общего запаса идей*, как в уравнении (4), а не от их уровня в расчете на одного работника. Поскольку идеи неконкурентны в использовании, их одновременно может пускать в ход любое, сколь угодно большое число работников. Каждый будет получать выгоду от новых идей, создаваемых Ньютонами и Эйнштейнами, которая не будет уменьшаться при увеличении контингента пользователей, то есть при более многочисленном населении или, что эквивалентно, при более многочисленной рабочей силе,  $L_t$ .

Обратимся теперь ко второму сектору — производству идей. Логика моделей, основанных на идеях, интуитивно понятна, но возникает вопрос: откуда идеи берутся? Ответ очевиден: их производят люди, используя в качестве орудия производства знания, полученные ими ранее. И подобно тому, как больше автомобильных рабочих будут производить больше автомобилей, больше исследователей и инноваторов будут производить больше новых идей [Jones, 2022b]. В таком случае объем выпуска,  $Y_t$ , будет находиться в прямой зависимости от того, как много работников станут участвовать в создании новых знаний, иными словами — от числа исследователей: чем их больше, тем больше открываемых ими идей и тем богаче общество.

Механика роста предстает в следующем виде: темпы роста экономики определяются темпами роста запаса идей; темпы роста запаса

идей определяются темпами роста числа исследователей; и, наконец, темпы роста числа исследователей определяются темпами роста населения, если предположить, как это было сделано раньше, что в общей численности населения исследователи всегда составляют более или менее постоянную долю ( $s$ ). При прочих равных условиях больше людей означает больше исследователей, что в свою очередь означает больше новых идей и, как следствие, более высокий уровень жизни. Чем многочисленнее население, тем больше, во-первых, масштаб НИОКР, которые оно может проводить, и тем больше, во-вторых, рождается потенциальных гениев, способных генерировать прорывные идеи<sup>14</sup>. По словам О. Галора и Д. Вейла, «изменение численности населения можно рассматривать как прямой показатель технологического прогресса» [Galor, Weil, 2000, 807].

При увеличивающейся численности населения экономика будет расти все более быстрыми темпами, потому что все более быстрыми темпами будет расти запас идей, генерируемых увеличивающимся контингентом исследователей. При неизменной численности населения экономика будет ежегодно вырастать на одну и ту же величину, потому что на одну и ту же величину будет увеличиваться запас идей, генерируемых не меняющимся контингентом исследователей [Kremer, 1993; Jones, 2022a]<sup>15</sup>. Наконец, если рост населения станет отрицательным, экономический рост начнет затухать из-за уменьшения притока новых идей вследствие «обмеления» контингента исследователей. В определенный момент запас знаний достигнет некой конечной величины, после чего «уровень жизни постепенно исчезающего населения начнет стагнировать» [Jones, 2022b, 143]. Так, по расчетам Ч. Джонса, при ежегодном сокращении жителей нашей планеты на 1% рост мирового ВВП опустится до нулевой отметки через 100–250 лет [Jones, 2022a].

Но, как было отмечено выше, число исследователей — не единственный фактор, от которого зависит производство новых

<sup>14</sup> С. Кузнец отмечал в этом контексте: «Величайшим фактором роста выпуска на душу населения является, конечно, возрастающий запас проверенных, полезных знаний. Их производители — это учёные, изобретатели, инженеры, менеджеры и исследователи разного профиля [...] Поэтому рост населения [...] будет вести к появлению большего числа гениев, талантливых людей и вообще одаренных творцов нового знания» [Kuznets, 1960, 328].

<sup>15</sup> По сути это предполагает постепенное замедление роста, поскольку чем больше объем ВВП, тем больше при фиксированной численности исследователей будет требоваться времени, чтобы обеспечить его прирост на следующий 1%.

идей. Кроме того, важное значение имеет эффективность процесса НИОКР, которая может варьировать в широком диапазоне. Говоря более конкретно, производство новых идей будет зависеть, во-первых, от величины запаса уже имеющихся (полученных ранее) научных и технических знаний и, во-вторых, от производительности труда каждого отдельного исследователя, причем теоретически оба эти фактора могут влиять на скорость технологического прогресса (то есть на темп накопления идей) как со знаком плюс, так и со знаком минус. Соответственно, производственную функцию для сектора идей можно записать в общем виде как:

$$\Delta A_t = A_t^\phi (sL_t)^\lambda, \quad (7)$$

где  $\Delta A_t$  — прирост запаса идей,  $sL_t$  — количество работников, участвующих в их создании,  $\phi$  — эластичность производства новых идей в зависимости от уже имеющегося их запаса,  $\lambda$  — эластичность производства новых идей в зависимости от числа исследователей.

Параметр  $\phi$  измеряет, насколько прошлые знания важны для получения новых знаний, то есть насколько легче или труднее становится с течением времени находить новые идеи (в иных терминах — легче или труднее повышать производительность). Если  $\phi > 0$ , то количество новых идей, которые отдельный исследователь изобретает за определенный промежуток времени, является возрастающей функцией от имеющегося запаса «старых» идей. Это так называемый эффект «стояния на плечах предшественников» (standing-on-shoulders effect), когда прошлые открытия помогают быстрее осуществлять новые<sup>16</sup>. Речь идет о ситуации, когда мы можем использовать уже имеющиеся у нас знания как рычаг, чтобы еще сильнее ускорять процесса познания. Если, наоборот, чем больше уже накоплено идей, тем труднее становится находить новые, то имеет место так называемый эффект «вылова» (fished-out effect) и  $\phi < 0$ . Суть этого эффекта легко уяснить, воспользовавшись аналогией с рыбной ловлей: чем больше рыбы уже выловлено из пруда, тем меньше там ее остается и тем больше времени и усилий требуется рыбакам для вылова каждой следующей рыбины. Точно так же если

<sup>16</sup> Оценка в интервале  $0 < \phi < 1$  означает, что когда мы получаем доступ к большему запасу «старых» идей, это хотя и помогает создавать больше новых идей, но с убывающей отдачей.

существует конечное число идей, то по мере того, как лучшие идеи оказываются уже открытыми, остаются только менее фундаментальные и менее доступные идеи [Almeida et al., 2024]. Это ситуация, когда по мере увеличения  $A_i$  исследователи начинают испытывать при поиске новых идей все больше трудностей, так что увеличение фонда «старых» знаний не приводит к пропорциональному увеличению притока новых знаний. Если количество легких открытий быстро иссякает и остаются только более трудные, производительность труда исследователей будет постепенно снижаться<sup>17</sup>.

В случае  $\phi > 0$  зависимость между существующим запасом идей и их приростом оказывается положительной, в случае  $\phi < 0$  — отрицательной. В первом случае с каждым новым открытием скорость технологического прогресса возрастает, во втором — замедляется. Если эффект «стояния на плечах предшественников» и эффект «вылова» в точности уравниваются друг друга, то  $\phi = 0$ . В таком случае темп накопления новых идей перестает зависеть от величины уже имеющегося их запаса и начинает меняться прямо пропорционально изменению числа исследователей. Эмпирические оценки говорят о том, что доминирует «эффект вылова», так что значение параметра  $\phi$  является отрицательным.

Действительно, как показывают имеющиеся статистические данные, эффективность труда исследователей (в более широком смысле — эффективность НИОКР) устойчиво снижалась во всех странах, находящихся на фронтире технологического прогресса. Об этом, например, свидетельствует тот факт, что в США на протяжении XX века наблюдался настоящий бум занятости в сфере НИОКР, но темпы роста совокупной факторной производительности по существу не менялись [Jones, 1995]. По наблюдению Н. Блума и его соавторов, производительность НИОКР снижалась «практически везде, куда бы мы ни посмотрели» [Bloom et al., 2020, 1138].

В качестве одной из иллюстраций можно сослаться на закон Мура, согласно которому мощность вычислительных устройств должна удваиваться примерно каждые два года. Однако сейчас в

---

<sup>17</sup> В этом контексте говорят также о феномене «низко висящих плодов»: поскольку наиболее фундаментальные и наиболее доступные идеи уже открыты, дотягиваться до научных «плодов», висящих выше, становится все труднее [Almeida et al., 2024].

США число исследователей, требуемое для удвоения эффективности чипов за такой двухлетний интервал, более чем в 18 раз превышает их число, которого было достаточно для того же самого полвека назад. Другими словами, из-за снижения продуктивности НИОКР сегодня стало почти в двадцать раз труднее добиваться экспоненциального роста производительности процессоров, следующего из закона Мура, чем в начале 1970–х гг. Если говорить о всей полупроводниковой промышленности, то с начала 1930–х гг. продуктивность НИОКР устойчиво снижалась в ней примерно на 6,8% в год. Наконец, для американской экономики в целом ежегодное снижение отдачи от НИОКР в течение того же периода оценивается более чем в 5%: кумулятивное падение в 41 раз [Bloom et al., 2020]! Подобно героине сказки Л. Кэрролла, современной науке приходилось бежать все быстрее, чтобы темпы технологического прогресса, а, значит, и экономического роста могли оставаться на месте<sup>18</sup>. Говоря иначе, для поддержания постоянного роста экономики требуется непрерывно возрастающий объем расходов на НИОКР. И если бы они вдруг перестали увеличиваться, экономическому росту в скором времени грозила бы полная остановка.

Опираясь на данные по США за 80 последних лет, Блум с соавторами подсчитали, что  $\phi = -2,1$  [Bloom et al., 2020] и, следовательно, при увеличении запаса имеющихся идей на 1% приток новых идей уменьшается примерно на 2%. По их наблюдениям, столь низкая оценка предполагает, что «для поддержания постоянного роста душевого ВВП США должны удваивать объем исследовательских усилий по поиску новых идей каждые 13 лет, чтобы компенсировать трудности, связанные с их нахождением» [Bloom et al., 2020, 1134].

Параметр  $\lambda$  измеряет то, как исследователи влияют на эффективность работы друг друга. Если положительно, то имеет место эффект синергии и  $\lambda > 1$ . В таком случае чем многочисленнее контингент исследователей, тем выше производительность каждого из них [Trammell, Korinek, 2023]. Если отрицательно, то имеет место эффект «наступания на пятки» (stepping-on-toes effect) и  $\lambda < 1$ . Тогда чем многочисленнее контингент исследователей, тем ниже производительность каждого из них, потому что

---

<sup>18</sup> Этот вывод можно переформулировать, сказав, что с течением времени попытки стимулировать экономический рост за счет увеличения числа исследователей будут давать все меньший эффект [Almeida et al., 2024].

они начинают дублировать работу друг друга [Sequeira, Neves, 2020; Abdih, Joutz, 2005]<sup>19</sup>. Если продолжить аналогию с рыбной ловлей, то чем больше рыбаков скапливается на берегу, тем сильнее они начинают мешать друг другу, так что улов каждого становится меньше. Наконец, в случае  $\lambda = 1$  удвоение числа исследователей будет удваивать прирост новых идей при данном запасе уже имеющихся знаний.

Эмпирические оценки свидетельствуют, что эффект «наступления на пятки» сильнее, чем эффект синергии, так что  $\lambda < 1$  и, значит, при удвоении числа исследователей количество инноваций увеличивается менее чем вдвое [Kluppel, Knott, 2023]<sup>20</sup>. Одна из причин, почему  $\lambda$  может оказываться меньше 1, — постепенное ухудшение качественных характеристик контингента исследователей по мере увеличения их численности. Пока масштабы НИОКР невелики, туда отбираются только наиболее одаренные индивиды с высоким уровнем интеллектуальных способностей; когда масштабы НИОКР резко возрастают, туда устремляются также и те, у кого он достаточно невысок. Отсюда — неизбежное снижение производительности труда среднестатистического исследователя по мере увеличения численности занятых в НИОКР [Ekerdt, Wu, 2024]<sup>21</sup>.

Поделив обе части уравнения (7) на  $A_t$  и прологарифмировав их, имеем:

$$\ln(\Delta A_t/A_t) = (\phi - 1) \ln A_t + \lambda \ln(sL_t). \quad (8)$$

<sup>19</sup> При абсолютном дублировании  $\lambda = 0$  и, следовательно, изменение числа исследователей вообще не дает никакого эффекта в терминах прироста новых идей.

<sup>20</sup> Отметим, что во многих наиболее популярных моделях роста по умолчанию предполагается, что  $\phi = 0$  и  $\lambda = 1$ , так что количество получаемых новых идей меняется строго пропорционально росту численности населения, то есть количества исследователей (см. уравнение (7)).

<sup>21</sup> Впрочем, некоторые авторы предполагают, что системы ИИ смогут повысить значение параметра  $\lambda$ , уменьшив дублирование исследовательских усилий и сократив время, в течение которого из научного поиска станут исключаться заведомо тупиковые направления. Однако нельзя исключить и обратной ситуации, когда исследователи-системы ИИ будут мешать друг другу сильнее, чем исследователи-люди, затрудняя открытие новых идей [Jones, 2022b]. Если внедрение ИИ будет сопровождаться резким увеличением массива ненадежных, неверных и не поддающихся проверке результатов исследований, это также может затруднить научный поиск. В таком случае науке грозит так называемый «репликационный кризис», когда в ней начинают доминировать результаты, которые не поддаются воспроизведению [Almeida et al., 2024].

Продифференцировав обе части этого уравнения по времени, получаем после соответствующих перестановок выражение для долгосрочного темпа роста запаса идей,  $g_A$  (или, что то же самое, темпа технологического прогресса, или что то же самое, темпа роста совокупной факторной производительности):

$$g_A = \lambda n / (1 - \phi). \quad (9)$$

Как нетрудно заметить, ключевое значение в этом выражении имеет параметр  $\phi$ . Если  $\phi < 0$ , то при прочих равных условиях  $g_A$  будет постепенно снижаться по мере падения прироста  $A_t$  до 0. Избежать этого исхода можно только за счет ускоренного роста числа исследователей ( $n$ ). При  $\phi \geq 1$ ,  $g_A$ , напротив, будет неограниченно увеличиваться (в пределе — до бесконечности). На экспоненциальный рост экономика выходит только в одном специальном случае: при  $\phi = 0$ , когда эффект «стояния на плечах предшественников» в точности уравновешивает эффект «вылова».

Чтобы увидеть ключевые детерминанты экономического роста, в уравнение (5) для темпа прироста душевого выпуска,  $g_y$ , нужно вставить выражение (9) для темпа прироста новых идей,  $g_A$ :

$$g_y = \sigma g_A = \sigma \lambda n / (1 - \phi). \quad (10)$$

Отсюда видно, что чем важнее идеи для выпуска «обычных» товаров и услуг ( $\uparrow\sigma$ ), чем меньше дублирование ( $\uparrow\lambda$ ), чем выше темпы роста населения ( $\uparrow n$ ) и чем меньше трудности открытия новых идей ( $\uparrow\phi$ ), тем выше должны быть долгосрочные темпы роста экономики [Jones, 2022b].

Если обратиться к знаменателю в уравнении (10), то легко заметить, что возможность достижения экономикой взрывного роста определяется значением параметра  $\phi$ <sup>22</sup>. В случае если  $\phi = 1$ , сбалансированный рост оказывается в принципе невозможен, поскольку тогда в знаменателе этого уравнения появляется ноль. Сбалансированная траектория роста оказывается тем более невозможной в случае  $\phi > 1$ , который абсурдно предполагает, что добавка новых знаний ведет к уменьшению их за-

---

<sup>22</sup> Предположим, что долгосрочный темп роста населения составляет 1%. Тогда при отсутствии других экзогенных факторов годовой темп прироста ВВП на душу населения при  $\phi = -2$  составит 0,33%, но при  $\phi = 0,5$  увеличится до 2%. Эта огромная разница: разрыв между уровнями душевого дохода при  $\phi = 0,5$  и при  $\phi = -2$  будет удваиваться каждые 42 года.

паса. Напомним, что при высоких положительных значениях параметра  $\phi$  абсолютно доминирует эффект «стояния на плечах предшественников», так что чем больше было добыто знаний в прошлом, тем с большей скоростью они станут прирастать в будущем. Поэтому при  $\phi = 1$ , увеличение численности исследователей будет порождать непрерывно ускоряющийся рост запаса идей,  $g_A$  (а, значит, и непрерывно ускоряющийся рост душевого выпуска,  $g_y$ ), стремящийся в пределе к бесконечности (сингулярность первого типа). При  $\phi > 1$ ,  $g_A$  (а, значит, и  $g_y$ ) ускорится до бесконечности за конечное время даже в том случае, если численность исследователей будет оставаться постоянной (сингулярность второго типа).

Чтобы проиллюстрировать, как это может выглядеть на практике, приведем условный пример. Представим для простоты, что  $\lambda = 0$ , так что  $(sL)^{\lambda} = 1$ , то есть  $g_A$  не зависит от численности исследователей (см. уравнение (7)). Предположим также, что  $\phi = 2$ , то есть  $g_A$  удваивается в течение половины каждого предыдущего периода. (Если, скажем, сначала он удваивался за целый календарный год, то затем за полгода и т.д.) В результате для изменения темпа прироста запаса идей во времени имеем:  $g_{A1} = 2g_{A0}$ ;  $g_{A1,5} = 2g_{A1}$ ; и т.д. Нетрудно убедиться, что ускоряясь таким образом все больше и больше, уже в точке  $t_2$  темп прироста запаса идей вплотную приблизится к вертикальной асимптоте, став практически бесконечным [Trammell, Korinek, 2023]. Этот взрывной рост идей будет транслироваться во взрывной рост душевого выпуска (см. выше), то есть за конечный отрезок времени экономика перейдет в режим сингулярности.

С учетом этого ИИ действительно может стать катализатором сверхэкспоненциального роста, если каким-то образом сумеет резко повысить значение параметра  $\phi$ , нейтрализовав или хотя бы частично ослабив эффект «вылова». За счет чего это возможно? Достаточно вероятно, что продвинутые системы ИИ помогут исследователям-людям намного быстрее чистить гигантские массивы данных и лучше ориентироваться в них, заранее устранять из научного поиска тупиковые комбинации идей, ускорять разработку новых продуктов, улучшать дизайн предоставляемых услуг, создавать более перспективные цифровые прототипы и просто обеспечивать несопоставимо большие вычислительные

возможности для выискивания «иголок» (прорывных открытий) в «стоге сена» (в общем массиве информации). Взяв на себя многие задачи, которые раньше выполняли исследователи-люди, исследователи-системы ИИ смогут подтолкнуть таким образом экономику к взрывному росту.

Описанную модель можно усложнить, если учесть, что в производстве идей наравне с людьми могут участвовать и машины (например — те же системы ИИ). Предположим, что этот процесс описывается стандартной производственной функцией Кобба-Дугласа:

$$\Delta A_t = A_t^\phi K_t^\alpha (sL_t)^{1-\alpha} = A_t^{1-\beta} K_t^\alpha (sL_t)^{1-\alpha}, \quad (11)$$

где для удобства последующей интерпретации вместо параметра  $\phi$  вводится эквивалентный ему параметр  $\beta$  ( $= 1 - \phi$ ), показывающий, насколько велико значение эффекта «вылова», порождаемого растущими трудностями поиска новых идей по мере увеличения их запаса.

Долю затрат капитала  $\alpha$  в уравнении (11) можно интерпретировать как долю исследовательских задач, выполняемых вместо людей машинами, то есть как уровень автоматизации, поскольку автоматизация — это «разработка и внедрение новых технологий, которые позволяют заменять труд капиталом» [Acemoglu, Restrepo, 2019, 3]. Соответственно, доля исследовательских задач, все еще выполняемых людьми, будет равна  $(1 - \alpha)$ . Автоматизация станет повышать производительность поиска новых идей, если в отличие от деятельности исследователей-людей, подверженной эффекту «вылова», деятельность исследователей-машин от него свободна. Микроскопы, компьютеры, приборы для секвенирования ДНК, Интернет — все это примеры автоматизации, позволяющей быстрее обнаруживать новые продуктивные идеи [Jones, 2022b, 146]. Создание искусственного интеллекта может стать последним шагом в этом ряду.

Возможно, что прогрессирующая автоматизация исследовательских процессов с помощью ИИ позволит со временем нейтрализовать эффект «вылова», потому что «по сравнению с людьми системы ИИ могут действовать быстрее, использовать больше знаний и коммуницировать с гораздо более высокой эффективностью» [Bengio, 2023, 2] Когда в процессе производства новых идей труд будет полностью или почти полностью заменен капиталом, перед экономикой откроется перспектива неограниченного роста, поскольку капитал — это накапливаемый ресурс [Aghion et al., 2019].

Поэтому в конечном счете темп роста запаса идей,  $g_A$ , будет определяться соотношением между параметрами  $\alpha$  и  $\beta$ . Вновь обозначим темп роста населения как  $n$  ( $L_t = L_0 e^{nt}$ ). Тогда, отталкиваясь от уравнения (11), можно с помощью ряда преобразований показать, что [Jones, 2022b, 146]:

$$g_A = n / (\beta - \alpha). \quad (12)$$

Из данной формулировки следуют два важных вывода. Во-первых, что автоматизация исследовательских задач ( $\uparrow\alpha$ ) ведет к увеличению темпов роста производства новых идей,  $g_A$ , и через это — к увеличению темпов роста экономики,  $g_Y$ . Во-вторых, что автоматизация способна вывести экономику на траекторию взрывного роста: если доля автоматизированных задач ( $\alpha$ ) вплотную приблизится к величине эффекта «вылова» ( $\beta$ ), возникнет ситуация математической сингулярности, поскольку знаменатель в выражении (12) устремится к нулю. Иными словами, при  $\alpha \geq \beta$ , темпы роста начнут стремительно ускоряться, так что и запас идей и уровень дохода достигнут бесконечных величин за конечное время, если предположить, что это возможно. Важно отметить, что при определенных условиях переход к сингулярности окажется возможен даже тогда, когда  $\alpha$  будет меньше единицы, то есть когда автоматизация исследовательских задач будет оставаться неполной. Например, если  $\beta = 0,66$ , то для начала взрывного роста достаточно автоматизировать «только» 66% задач, связанных с производством идей [Jones, 2022b].

Еще один путь к сингулярности лежит через отказ от предпосылки о постоянном темпе роста численности населения ( $a$ , значит, и численности исследователей), равном  $n$  [Jones, 2022b]. Если появится сверхразумный ИИ, способный выполнять за людей все задачи, которые сегодня приходится выполнять им, то тогда откроется возможность для неограниченного увеличения  $n$  — за счет инвестирования части выпуска в создание все большего числа работников нового типа в лице систем ИИ. В этом случае численность исследователей перестанет зависеть от природного цикла рождений и умираний, как это было на протяжении всей истории человечества, а станет отражать динамику инвестиций в развитие ИИ. И поскольку наращивать «популяцию» ИИ можно намного быстрее, чем «популяцию» людей, работающих в НИОКР (во всяком слу-

чае — теоретически), это может стать прологом ускоренного роста производительности. Если же неограниченно начнет увеличиваться численность «персонала», занятого в НИОКР, то неограниченно начнет увеличиваться и запас идей, а если начнет неограниченно ускоряться накопление идей, то начнет неограниченно ускоряться и выпуск, как это следует из предыдущего обсуждения. В результате будет достигнуто состояние сингулярности<sup>23</sup>.

Хотя повышение отдачи от НИОКР (например, в результате организационных улучшений и т.п.) также может иметь большое значение, все же не оно играет в этом сценарии ключевую роль. Определяющим фактором, от которого зависит, станет ли рост сверхэкспоненциальным или нет, оказывается здесь не значение параметра  $\phi$ , а возможность превращения труда — благодаря внедрению ИИ — в накапливаемый ресурс.

### **Болезнь Баумоля или эйфория Баумоля?**

Наиболее общий аргумент, который может быть выдвинут против идеи сингулярности, — это ссылка на так называемую «болезнь издержек Баумоля», способную стать непреодолимым препятствием для перехода экономики на траекторию взрывного роста. Первым на это явление обратил внимание известный американский экономист У. Баумоль, в честь которого оно и было названо [Baumol, 1967]. Согласно Баумолу и его соавторам, разные сегменты экономики обладают разной степенью «податливости» технологическому прогрессу, так что в одних производительность растет быстро, тогда как в других медленно или вообще стоит на месте<sup>24</sup>. Как следствие, в секторах с «плохой» динамикой производительности издержки растут опережающими темпами, относительные цены на их продукцию устой-

---

<sup>23</sup> В случае, если количество существующих идей конечно (см. выше об эффекте «вылова»), сверхразумный ИИ за короткий срок достигнет абсолютных пределов познания —  $A_{\text{max}}$ , после чего экономический рост за счет накопления новых идей остановится. Машины изобретут все возможные идеи, ведущие к максимуму производительности, а затем на их основе начнут преобразовывать материальный мир.

<sup>24</sup> В качестве иллюстрации «замороженной» производительности труда Баумоль ссылался на исполнительские искусства: так, для исполнения квартета Моцарта что двести лет назад, что сегодня всегда было нужно четыре человека [Baumol, Bowen, 1965].

чиво повышаются<sup>25</sup> и они начинают перетягивать на себя все большую долю ВВП, оказывая тормозящее воздействие на рост экономики в целом. Говоря иначе, по мере того, как экономика становится более производительной, секторы с высокой эффективностью начинают занимать в ней все меньшее, тогда как с низкой эффективностью — все большее место [Nordhaus, 2021].

Предположим, в какой-то группе отраслей произошла массовая автоматизация, вызвав в них быстрое повышение производительности, которое сопровождалось резким снижением издержек и удешевлением выпускаемых ими товаров. Поскольку вклад любого вида деятельности в ВВП есть произведение объема выпуска на цену, этот провал цен может иметь парадоксальный результат: значимость продукции автоматизированных отраслей уменьшится (их доля в ВВП упадет), тогда как неавтоматизированных — увеличится (их доля в ВВП возрастет). Причина проста: когда по мере быстрого повышения производительности стоимость товара (например, одежды) начинает быстро снижаться, это позволяет людям увеличивать его потребление, направляя на него при этом все меньшую часть своих доходов.

Говоря иначе, структура спроса смещается от отраслей, где производительность повышается и издержки снижаются, в пользу отраслей, где производительность стагнирует, а издержки растут. Люди начинают направлять все меньшую часть своих доходов на продукцию секторов с быстрым технологическим прогрессом и все большую — на продукцию секторов с медленным или нулевым технологическим прогрессом. Но чем больше будет доля стагнирующих и меньше доля прогрессирующих отраслей в структуре ВВП, тем медленнее будет общий рост экономики. В этом нетрудно убедиться, поскольку общий темп роста представляет собой средневзвешенное из темпов роста прогрессирующих и стагнирующих секторов<sup>26</sup>. Есть множество вещей, которые мы хотим иметь, но для которых не добиваемся быстрого прогресса, будь то выработка электроэнергии, добыча полезных ископае-

<sup>25</sup> Можно сказать, что относительные цены движутся обратно пропорционально технологическим изменениям.

<sup>26</sup> Приведем простейший арифметический пример. Допустим, экономика состоит из двух секторов с годовыми темпами роста 10% и 0%. Если ВВП делится между ними поровну, то темп роста для всей экономики составит 5% ( $10\% \times 0,5 + 0\% \times 0,5$ ). Но если доля первого опустится до 10%, а второго поднимется до 90%, то рост замедлится до 1% ( $10\% \times 0,1 + 0\% \times 0,9$ ).

мых, образование, рекреация, исполнительские искусства и т.д. [Davidson, 2021]. Относительные цены на них устойчиво растут и они начинают захватывать все большую часть экономики.

Идея Баумоля подтверждается обширными эмпирическими данными, показывающими, что с течением времени доля в ВВП отраслей с «плохой» динамикой производительности практически всегда повышалась, а с «хорошей» — понижалась. Так, за последние столетия рост производительности в сельском хозяйстве был фантастическим, в настоящее время производится несравненно больше продуктов питания и делается это с гораздо меньшими издержками, чем когда-либо раньше. Однако доля аграрного сектора в ВВП непрерывно уменьшалась и составляет сегодня в развитых странах ничтожно малую величину. Не удивительно поэтому, что дальнейший рост производительности в сельском хозяйстве, каким бы активным он ни был, практически никак не отражается на росте всей экономики. Сходная ситуация наблюдается с промышленностью: хотя рост производительности всегда был в ней намного выше, чем в сфере услуг, именно услуги доминируют сегодня в занятости и ВВП развитых стран. Вывод очевиден: если вы научились делать что-то очень хорошо, вам приходится все больше фокусироваться на том, что у вас получается плохо [Jones, 2022b]. По сути болезнь издержек Баумоля предполагает, что в конечном счете развитие экономики определяется встроенными в нее узкими местами<sup>27</sup>. Показательно в этом смысле, что в течение двух последних десятилетий несмотря на поразительные технологические достижения темпы экономического роста в развитых странах заметно просели [Gordon, 2016].

Экономика развивалась по такому алгоритму на протяжении столетий и если ситуация с ИИ окажется аналогичной, взрывного роста можно никогда не дожидаться. Допустим, его внедрение приведет к автоматизации каких-то занятий (таких как веб-дизайнеры, бухгалтеры, журналисты и т.д.), но в каких-то других (повара, воспитатели, строители) будут по-прежнему необходимы люди из-за трудностей, препятствующих созданию роботов,

---

<sup>27</sup> Так, наблюдаемый в последние десятилетия резкий контраст между поразительным прогрессом в области вычислений и анемичным общим экономическим ростом можно естественным образом связать с существованием множества узких мест, против которых технологический прогресс остается бессилён [Jones, 2021].

которые были бы способны их заменить. Вполне вероятно, там, где удастся внедрить ИИ, рост действительно окажется взрывным. Но поскольку занятость и цены в этих секторах тогда рухнут, их вклад в ВВП устремится резко вниз (в перспективе — к нулю). Как следствие, экономический рост будет почти полностью определяться положением дел в секторах, остающихся недоступными для ИИ, где рост будет невзрывным либо (в худшем случае) даже нулевым. Хотя ИИ человеческого уровня вполне может сделать производство многих товаров и услуг намного более эффективным, но если спрос будет смещаться в пользу секторов, которые плохо поддаются автоматизации, то именно они чем дальше, тем больше будут определять темпы роста экономики в целом. Можно сказать, что быстрый рост производительности в автоматизируемых отраслях будет погашаться быстрым падением их доли в ВВП.

Однако сценарий болезни Баумоля нельзя считать единственно возможным (во всяком случае — теоретически). Для обозначения обратного случая Нордхаус ввел понятие «эйфория Баумоля» [Nordhaus, 2021]. Это ситуация, когда спрос имеет тенденцию смещаться в пользу секторов с быстрым ростом производительности, вследствие чего их вклад в ВВП увеличивается, все сильнее ускоряя общий рост экономики. Естественно ожидать, что по мере того, как доля прогрессирующих секторов станет приближаться к 100%, а доля стагнирующих секторов к нулю, экономика погрузится в состояние «эйфории», перейдя на траекторию сверхэкспоненциального роста<sup>28</sup>.

Какой сценарий будет реализован на практике — болезни Баумоля или эйфории Баумоля — зависит в конечном счете от величины эластичности замещения между товарами, которые производятся в соответствующих секторах — с медленным и с быстрым ростом производительности. Неявно болезнь Баумоля предполагает, что эластичность замещения между разными типами потребительских благ находится на низком уровне. При эластичности замещения ниже единицы все большую часть ВВП будут оттягивать на себя стагнирующие сек-

---

<sup>28</sup> Нордхаус приводит условный пример: если при эластичности замещения между двумя товарами, равной 1,25, темп роста в секторе А составляет 10%, а в секторе Б — 0%, то доля первого будет ежегодно увеличиваться на 2,5% ( $= 10\% \times 0,25$ ) [Nordhaus, 2021].

торы, так что темпы роста для всей экономики начнут все больше приближаться к темпам роста (возможно, нулевым) этих секторов. Это картина болезни Баумоля — непрерывного замедления темпов экономического роста. Напротив, при эластичности замещения выше единицы все большую часть ВВП станут оттягивать на себя прогрессирующие секторы, так что темпы роста для всей экономики начнут приближаться к темпам роста (возможно, взрывным) этих секторов. Это картина эйфории Баумоля — непрерывного ускорения темпов экономического роста.

Среди прочего отсюда следует, что переход на траекторию взрывного роста возможен не только при полной, но и при частичной автоматизации, не только при полной, но и при частичной замене людей системами ИИ. Представим, что экономика состоит из двух секторов и что сектор с медленным ростом производительности выпускает «обычные», а с быстрым — «цифровые» потребительские блага. Допустим далее, что внедрение ИИ приводит к радикальной перестройке экономики по двум направлениям. Во-первых, ИИ вызывает взрывной рост производительности в секторе «цифровых» благ, никак не влияя на сектор «обычных» благ. Во-вторых, он повышает эластичность замещения между этими благами, так что она становится выше единицы. В этих условиях ситуация станет развиваться по сценарию эйфории Баумоля: хотя автоматизация будет оставаться частичной, не охватывая сектор «обычных» благ, темпы роста экономики все равно начнут неограниченно ускоряться, переводя ее в режим сингулярности первого типа.

Эффект Баумоля описывает ситуацию на стороне спроса, но аналогичная ситуация возможна и на стороне предложения [Nordhaus, 2021]. И в этом случае ключевым параметром оказывается величина эластичности замещения, но только не между разными потребительскими благами, а между разными производственными факторами — трудом и капиталом. Труд — это более дефицитный ресурс, предложение которого неэластично (если оно и растет, то очень медленно). Капитал — это менее дефицитный ресурс, который поддается накоплению и предложение которого эластично (может быстро увеличиваться). Представим по аналогии с предыдущим примером, что в экономике есть только два фактора — труд и «информационный

капитал», воплощенный в системах ИИ. Если эластичность замещения между ними будет меньше единицы, то чем быстрее станет повышаться эффективность систем ИИ и, соответственно, снижаться их стоимость, тем все большее место в ВВП начнут занимать доходы от труда и все меньшее — доходы от информационного капитала. Несмотря на быстрый технологический прогресс, связанный с непрерывным совершенствованием ИИ, экономика будет не ускоряться, а замедляться, потому что темпы ее роста будут приближаться к темпам роста не подающего накоплению фактора — труда. Перед нами аналог болезни Баумоля на стороне предложения, чреватый в пределе нулевыми темпами роста.

Но если эластичность замещения между производственными факторами будет больше единицы, то в структуре их затрат труд начнет постепенно вытесняться информационным капиталом. Экономика перейдет тогда в режим непрерывного ускорения, потому что темпы ее роста станут приближаться к темпам роста ресурса, производимого с помощью быстро улучшающейся технологии, — информационного капитала. Перед нами аналог эйфории Баумоля на стороне предложения, чреватый в пределе взрывным ростом. Как показал Нордхаус, в этом случае нельзя даже исключить возникновение в экономике сингулярности второго типа — с бесконечным ростом за конечное время [Nordhaus, 2021].

Действительно, когда эластичность замещения между трудом и капиталом меньше единицы, существует предел того, насколько большим может стать выпуск, независимо от того, насколько велик объем капитала. Интуитивно понятно, что в этом случае капитал будет полезен лишь до тех пор, пока есть рабочая сила, с которой его можно «состыковать». Но при эластичности замещения выше единицы накопление капитала само по себе может вести к неограниченному росту выпуска даже при фиксированном предложении рабочей силы<sup>29</sup>. Очевидно, что в этом случае капитал не обязательно должен «состыковываться» с трудом, чтобы быть полезным (хотя труд при этом все равно может сохранять высокую ценность). Когда эластичность замещения станет высокой либо при производстве «обычных» товаров и услуг, либо при производстве идей, либо и там и там одновременно, возникнут предпосылки для взрывного роста.

---

<sup>28</sup> Случай с ИИ человеческого уровня, способным взять на себя выполнение всех задач, выполняемых сегодня людьми, де-факто предполагает совершенную (то есть бесконечную) эластичность замещения между трудом и капиталом.

В итоге мы приходим к тем же выводам: если технологический прогресс будет выражаться, во-первых, в непрерывном совершенствовании систем ИИ и, во-вторых, в повышении эластичности замещения между трудом и информационным капиталом, воплощенным в этих системах, то рано или поздно экономика выйдет на траекторию взрывного роста<sup>30</sup>. При этих условиях: 1) доля информационного капитала в стоимости производственных ресурсов будет постоянно повышаться, приближаясь в пределе к 100%; 2) его вклад в ВВП также будет постоянно возрастать, приближаясь в пределе к 100%; 3) его непрерывно ускоряющийся рост сможет обеспечить непрерывно ускоряющийся рост всей экономики. Причем и в этом сценарии полного замещения людей системами ИИ не потребуется: сверхэкспоненциальный рост окажется достижим даже при частичной автоматизации, хотя и достаточно высокого уровня. По оценке Нордхауса, для этого будет достаточно автоматизировать 80% всех задач, выполняемых сегодня людьми (впрочем, если исходить из текущих трендов, то даже в лучшем случае подойти к этому рубежу, по его мнению, удастся только за горизонтом нынешнего столетия) [Nordhaus, 2021].

### **Аргументы «против»**

Однако оптимистические предсказания неограниченного роста в случае разработки ИИ человеческого уровня наталкиваются на серьезные возражения — как концептуальные, так и эмпирические. Большинство экономистов относятся к перспективе перехода экономики на траекторию непрерывно ускоряющегося роста намного скептически, чем футурологи или эксперты по компьютерным технологиям (хотя, конечно, из этого правила есть исключения). При ближайшем рассмотрении многие аргументы, выдвигаемые в поддержку идеи сингулярности, оказываются далеко не настолько убедительными, как может показаться на первый взгляд.

---

<sup>29</sup> Нужно оговориться, что этот результат не гарантирован, даже если люди и системы ИИ или люди и роботы окажутся когда-либо в будущем совершенными субститутами (то есть при бесконечной эластичности замещения между ними). Помимо этого будет необходимо, чтобы оплата «труда» систем ИИ или роботов упала ниже заработной платы работников-людей.

1. Ожидаемые темпы экономического роста порядка 20–30% выглядят неправдоподобно высокими и выходят далеко за границы имеющегося опыта. Исторических прецедентов, когда бы экономика двигалась с такой скоростью, не существует. Даже Китай, когда он ускоренно развивался за счет догоняющего развития, никогда не демонстрировал темпов роста выше 10%. Показатель 20–30% следует, скорее всего, отнести к области научной фантастики. Отсутствие в течение как минимум полутора последних столетий сверхэкспоненциального роста в странах, находившихся на фронтире технологического прогресса, само по себе служит весомым аргументом против того, чтобы рассчитывать на его появление, тем более — уже в ближайшей перспективе. Тот факт, что с начала XX века рост экономики в богатейших странах не сделался быстрее, а за последние двадцать лет даже замедлился, может свидетельствовать о том, что темпы роста уже достигли своего пика, с которого, возможно, начали опускаться вниз.

2. Многие модели, предсказывающие взрывной рост, имеют абсурдные следствия: в реальном мире достижение бесконечного роста за конечное время (сингулярность второго типа) физически невозможно. Очевидно, что экономика не в состоянии производить бесконечно большой выпуск из конечного набора ресурсов.

3. Многие модели эндогенного и полуэндогенного роста предсказывают, что он станет сверхэкспоненциальным, когда будет разработан ИИ человеческого уровня. Механизм, лежащий в их основе, отсылает к возрастающей отдаче от накапливаемых ресурсов, но явных подтверждений определяющей роли этого механизма не существует. Так, он предполагает, что чем крупнее та или иная национальная экономика, тем быстрее должны быть темпы ее роста, но этот вывод очевидным образом расходится с эмпирическими данными. В последние десятилетия рост мирового ВВП был намного медленнее, чем допускают эти модели [Jones, 2021]. Отсюда можно сделать вывод, что они в принципе плохо подходят для прогнозирования вероятного будущего мировой экономики.

4. Если бы темпам роста ВВП предстояло в обозримом будущем ускориться до 30%, то какие-то первоначальные признаки столь радикальной трансформации должны были бы проявиться

уже сейчас. Скажем, еще до того, как Промышленная революция смогла заметно повлиять на ВВП, промышленность начала расти намного быстрее, чем остальная экономика. Однако в настоящее время ни в одном из секторов, на которые приходится значительная часть экономической активности, не наблюдается ничего, что хотя бы отдаленно указывало на подобное ускорение. Конечно, отдельные небольшие подотрасли могут на короткое время переходить к сверхбыстрому росту, но их вклад в ВВП настолько невелик, что это практически никак не отражается на росте всей экономики. Модели, предсказывающие взрывной рост, предполагают, что еще до его наступления темпы роста должны перейти на более высокую отметку. Вместо этого за последние десятилетия в развитых странах наблюдалось их заметное замедление [Gordon, 2016].

Используя данные по США, Нордхаус предложил шесть макроэкономических тестов, какие тренды должны были бы наблюдаться уже сегодня, если бы на горизонте действительно вырисовывалась перспектива взрывного роста [Nordhaus, 2021]. В этом случае мы бы имели: 1) эластичность замещения между трудом и капиталом больше единицы; 2) ускорение роста совокупной факторной производительности; 3) рост доли капитала в ВВП; 4) ускоренный рост показателя капиталоемкости; 5) рост доли информационного капитала в ВВП; 6) сильное занижение официальной статистикой действительного роста производительности из-за неполного учета услуг информационного сектора. Результаты четырех тестов оказываются однозначно отрицательными, а двух — неоднозначными либо слабо положительными [Nordhaus, 2021]. Но даже слабо положительные тесты говорят о том, что переход к взрывному росту если и произойдет, то не раньше следующего столетия.

5. Ссылка на то, что в свете «долгой» экономической истории сверхэкспоненциальный рост предстает как «норма», подразумевает, что плавное ускорение темпов роста мирового ВВП происходило на протяжении сотен и тысяч лет. Однако данные, относящиеся к прошлым эпохам, крайне фрагментарны и этот вывод получен методом интерполяции. Как показал Б. Гарфинкель, намного правдоподобнее выглядит иной сценарий — ступенчатого роста, когда сначала на протяжении каких-то

относительно коротких интервалов времени рост мировой экономики резко ускорялся, а затем на протяжении гораздо более длительных периодов либо был практически нулевым либо поддерживался на более или менее постоянном уровне [Garfinkel, 2020]. В критических точках происходили разовые скачки, благодаря которым экономика переходила с более низкой на более высокую траекторию роста, но в промежутках между этими фазовыми переходами рост в лучшем случае оставался экспоненциальным. Более конкретно: Аграрная революция 12 тыс. лет назад и Промышленная революция конца XVIII века вызывали единовременные скачки в темпах роста, которые затем просто поддерживались на этом новом более высоком плато [Hansen, Prescott, 2002]. Согласно этой альтернативной точке зрения, всплески темпов роста вызываются экономическими революциями, но периоды между этими революционными событиями не демонстрируют какой-либо отчетливой тенденции. Это предполагает, что на протяжении большей части экономической истории ускорение роста вовсе не было некой «нормой». Если это так, то, значит, исторический опыт не дает никаких явных свидетельств в пользу сценария с непрерывно ускоряющимися темпами роста и, соответственно, оснований ожидать, что продвинутый ИИ будет способен обеспечить переход к ним уже в ближайшее время, становится намного меньше.

б. Согласно моделям роста, основанным на идеях, Второй демографический переход превратил рост из сверхэкспоненциального в экспоненциальный, а ожидаемое в XXI веке замедление роста населения во всем мире сделает его субэкспоненциальным. Но при этом утверждается, что продвинутый ИИ будет способен обратить этот негативный тренд вспять, возвратив экономику на траекторию сверхэкспоненциального роста. Таким образом, эта линия аргументации делает упор на демографических сдвигах, но на самом деле настоящей причиной замедления экономического роста могло стать резкое снижение отдачи от НИОКР (то есть падение производительности в сфере производства идей), наблюдавшееся на протяжении практически всего предыдущего столетия.

Действительно, активная автоматизация как производственных, так и научно-исследовательских процессов шла многие де-

сятилетия, но без какого-либо видимого эффекта с точки зрения темпов роста. Существуют убедительные эмпирические свидетельства того, что со временем находить новые идеи становится все труднее. Об этом, в частности, говорит тот факт, что для поддержания постоянных темпов технологического прогресса развитым экономикам требовалось непрерывно растущее число исследователей. Если отдача от НИОКР продолжит снижаться и дальше, это с высокой вероятностью перечеркнет перспективу кратного ускорения темпов экономического роста. Как упоминалось выше, на основе данных по США Н. Блум с соавторами выявили тренд к устойчивому снижению отдачи от НИОКР [Bloom et al., 2020]. Напомним, что, по их оценке, при удвоении запаса имеющихся идей скорость притока новых идей уменьшается вдвое. При столь значительной убывающей отдаче от НИОКР переход к непрерывно ускоряющемуся экономическому росту практически невероятен.

7. Исследовательская активность всегда развивается в двух направлениях — поиска способов автоматизации уже существующих задач, выполняемых пока людьми, и поиска новых, не существовавших ранее задач, возникающих при попытках добиться еще более высокого уровня производительности. В конечном счете возможности роста определяются тем, как соотносятся между собой скорость, с какой автоматизируются «старые» задачи, где сравнительные преимущества в производительности находятся на стороне ИИ, и скорость, с какой изобретаются новые задачи, где сравнительные преимущества в производительности временно находятся на стороне людей. Если новые задачи появляются так же быстро, как автоматизируются старые, то доля автоматизированных производственных и научно-исследовательских задач будет оставаться постоянной и, соответственно, постоянными будут оставаться темпы роста [Acemoglu, Restrepo, 2019]. В таком случае машинам никогда не удастся полностью заменить собой человеческий труд и ИИ не сможет стать источником самоускоряющегося экономического роста.

8. Для достижения неограниченного роста недостаточно просто автоматизировать задачи, выполняемые сегодня людьми: необходимо также иметь возможность масштабировать выпуск за счет возрастающего числа машин, но для многих задач результа-

ты их решения плохо поддаются масштабированию [Jones, 2021]. Вполне возможно, ИИ поможет создать беспилотные транспортные средства, которые сделают труд по вождению автомобилей полностью излишним. Но увеличение количества беспилотных автомобилей не обязательно повысит скорость езды, которая помимо прочего зависит от интенсивности трафика. Появление на дорогах множества беспилотных машин может привести не к росту, а к падению производительности транспорта из-за увеличения количества пробок и ухудшения качества передвижения. Чтобы добиться 30% роста производительности транспорта, скорее всего, потребуются не безостановочное наращивание количества беспилотных автомобилей, а полное изменение самого способа передвижения (по воздуху?). Но если для многих потребностей масштабирование за счет все большего числа машин окажется невозможным, то достичь взрывного роста уровня потребления также не удастся.

9. Более вероятным представляется сценарий, при котором ИИ приведет к широкой автоматизации, но без взрывного роста. Для этого будет достаточно иметь нескольких важных задач, принципиально остающихся неавтоматизируемыми, — либо потому, что это технически невозможно, либо потому, что нам самим не захочется, чтобы вместо людей их выполняли машины.

В конечном счете, как уже отмечалось, возможности роста ограничиваются неавтоматизируемыми задачами, причем совсем не обязательно, чтобы они составляли подавляющее большинство. Если задачи находятся в отношениях комплементарности друг с другом (то есть каждая важна сама по себе) и если производительность при выполнении хотя бы одной из них упирается в потолок, то выпуск будет невозможно увеличить сверх определенного предела независимо от того, насколько эффективно будут выполняться все остальные задачи (вариант болезни Баумоля). Даже одна важная задача может стать непреодолимым препятствием на пути ускоряющегося роста, поскольку общий рост экономики будет определяться тогда скоростью, с которой сможет повышаться производительность при выполнении этой сопротивляющейся автоматизации задачи [Aghion et al., 2019]. В лучшем случае взрывного роста удастся достичь на очень коротком промежутке времени. Чтобы устранить все узкие места

полностью, необходима сплошная автоматизация всех без исключения производственных и научно-исследовательских процессов, но ее достижение намного проблематичнее, чем достижение пусть широкой, но все же частичной автоматизации.

10. Узкие места могут возникать не только на стороне предложения, но и на стороне спроса. В таком случае полная автоматизация окажется невозможной не из-за технических ограничений, а из-за характера потребительских предпочтений. Нет сомнений, что роботы и искусственный интеллект повысят нашу способность производить больше вещей. Но сколько их будет производиться на практике, в конечном счете будет зависеть от того, какое количество производимых ими вещей захотят иметь потребители. Какие-то задачи могут оставаться неавтоматизируемыми, даже если их автоматизация возможна технически, просто потому, что потребителям почему-либо важно, чтобы их выполняли живые люди, а не бездушные машины (в числе подобных занятий — сиделки, спортсмены, священники). Люди могут предпочесть взаимодействие с людьми-врачами, людьми-учителями и другими человеческими поставщиками услуг, обладающих высокой символической ценностью [Granulo et al., 2021].

Скажем, каким бы продвинутым ни стало программное обеспечение ИИ или роботизированного оборудования, трудно представить, чтобы родители доверили своего ребенка роботу. Живое общение необходимо для нормального развития детей, которое едва ли сможет обеспечить их взаимодействие исключительно с роботами, какими бы компетентными они ни были при решении механических задач [Jones, 2021]. Другой пример: у нас уже есть кофе-машины, но многие предпочитают не готовить кофе самим дома, а ходить в кафе, где для них его готовят люди-бармены. Трудно представить, чтобы кто-то захотел, чтобы его семейный обед в любимом ресторане был стремительным и «эффективным»! Компьютерные программы уже играют в шахматы лучше самых выдающихся гроссмейстеров, но это не привело к отмиранию шахматных турниров, потому что нам интересно наблюдать, как соревнуются люди, и неинтересно наблюдать, как соревнуются компьютеры. Едва ли люди захотят, чтобы проповеди им читали священники-роботы или в фильмах играли артисты-роботы — даже когда это окажется технически возможно.

По мере увеличения изобилия вещей может выясниться, что мы больше всего ценим личные отношения, которые могут обеспечить нам только другие люди. Такие неавтоматизированные в силу потребительских предпочтений задачи будут оттягивать на себя все большую долю ВВП (стремясь в пределе к 100%), тормозя общий экономический рост [Aghion et al., 2019]. Если, к примеру, преобладающая часть ВВП начнет уходить на оплату услуг тех, кто осуществляет уход за другими людьми, быстрое повышение производительности в других секторах не будет уже оказывать сколько-нибудь заметного влияния на рост экономики в целом. Коринек назвал блага, которые технически будет способен производить ИИ, но которые исходя из предпочтений потребителей все равно продолжат производить люди, «ностальгическими» [Korinek, Suh, 2024]. Если доля в общей структуре потребления таких ностальгических благ останется достаточно высокой, темпы роста не смогут ускориться до бесконечно больших значений (см. выше о болезни Баумоля).

11. Даже если механизм сверхэкспоненциального роста удастся когда-либо запустить, он не сможет действовать бесконечно из-за фундаментальных физических ограничений [Trammell, Korinek, 2023; Erdil, Besiroglu, 2024]. Пусть благодаря ИИ мы сможем наилучшим образом использовать физические ресурсы для производства продукции, но если количество таких ресурсов фиксировано, то дальнейшее увеличение выпуска станет невозможно. Достигнув этой точки, мы утратим возможность реинвестировать часть выпуска в прирост производственных факторов для получения с их помощью еще большего выпуска: петля положительной обратной связи «больше выпуск → больше накапливаемых ресурсов → больше выпуск» окажется разорвана.

Говоря иначе, ограничения роста могут задаваться не только и столько пределами познания (то есть возможностями человеческого интеллекта, которые предположительно сможет преодолеть сверхразумный ИИ), сколько фундаментальными законами природы — скоростью света, закон сохранения энергии, второй закон термодинамики и т.д. [Aghion, et al., 2019]. Все физические процессы требуют энергии, но ее запас не беспределен. В числе других количественно ограниченных ресурсов — пресная вода, кислород, земля, редкие минералы и т.д. Такие ресурсы могут быть не менее важны, чем станки и компьютеры, но в отличие

от них не могут накапливаться в большем количестве с помощью более совершенных технологий. Современная экономика пока еще очень далека от того, чтобы приблизиться к этим физическим границам, но при сверхвысоких темпах роста она рано или поздно на них натолкнется<sup>31</sup>.

12. Взрывной рост потребует шумпетерианского «созидательного разрушения» невиданных масштабов. При удвоении производительности каждые 2,5 года гигантские объемы физического и человеческого капитала будут практически мгновенно устаревать и отправляться «в утиль». Ежегодно придется коренным образом перестраивать инфраструктуру, демонтировать огромную часть прежнего оборудования и устанавливать на его месте новое, переобучать многочисленный контингент рабочей силы. Скорее всего, такое радикальное обновление физического и человеческого капитала за кратчайшие сроки окажется недостижимым из-за естественных пределов, с которыми оно будет сталкиваться. Существуют достаточно жесткие физические границы, с какой скоростью можно менять старые машины на новые, старые навыки на новые. В реальном мире эти процессы неизбежно оказываются растянутыми во времени и поэтому маловероятно, чтобы они позволили экономике приблизиться к взрывным темпам роста порядка 20–30%.

13. Кроме того, при столь стремительном устаревании физического и человеческого капитала стимулы к инновациям, скорее всего, резко ослабнут, потому что у инноваторов будет оставаться слишком мало времени на то, чтобы их вложения успевали окупиться [Aghion et al., 2019]. Парадоксально, но негативное влияние ИИ на стимулы к инновациям может иметь результатом не ускорение, а замедление темпов технологического прогресса.

Согласно шумпетерианскому подходу, стимулы к инновациям связаны с возможностью извлечения ренты от временной монополии, которой пользуются инноваторы, защищая свои нововве-

---

<sup>31</sup> Более того, наша способность манипулировать атомами, похоже, несравнимо слабее нашей способности манипулировать битами информации и это одна из причин, почему с момента появления первой интегральной схемы в 1958 г. экономический рост в развитых странах оставался намного ниже, чем предсказывали технооптимисты. Показательно в этом смысле, насколько медленнее развивалась в последние десятилетия робототехника по сравнению с прогрессом в области ИИ. Роботы явно очень далеки от того, чтобы взять на себя выполнение всех физических задач, возникающих перед людьми.

дения с помощью патентов, коммерческой тайны и т.д. [Almeida et al., 2024]. Если ИИ облегчит копирование инноваций, от этого выиграют конкуренты инноваторов, но станут проигрывать они сами, потому что период получения ренты от разработанных ими новых технологий сократится — возможно, даже до нуля. В подобных условиях мало кто будет заинтересован в производстве новых идей. При столь резком ослаблении склонности к инновациям экономический рост может замедлиться или вообще остановиться. Конечно, это не приведет к падению уровня душевого ВВП, но вполне может привести к его фактической стагнации.

14. Как показывает опыт развивающихся стран, в реальном мире политико-экономические ограничения имеют не менее важное значение, чем чисто технологические. Большая часть человечества проживает сегодня в странах, которые из-за институциональных проблем не в состоянии освоить уже давно разработанные технологии и в которых из-за этого уровень жизни продолжает оставаться в десятки раз ниже, чем в наиболее развитых странах, находящихся на фронтире технологического прогресса [Jones, 2021]. Эти страны не перенимают и не внедряют передовые технологии — главным образом, как считается, из-за институциональных проблем, связанных с правами собственности, коррупцией, политической нестабильностью, гражданскими конфликтами и т. д. В этом смысле неясно, каким образом ИИ мог бы способствовать преодолению таких — нетехнологических! — ограничений на пути экономического роста.

15. Еще раньше, чем с физическими, взрывной рост может столкнуться с социальными ограничениями — такими как нарастающее государственное регулирование технологий ИИ, давление групп со специальными интересами, усматривающих в инновациях угрозу своему экономическому положению, замедленная адаптация людей и институтов к сверхбыстрым изменениям внешней среды, предпочтение статус-кво и т.д. Если подобные ограничения будут достаточно сильны, они не дадут возможности ускоряющемуся росту даже начаться. Может наступить момент, когда люди просто не захотят дальнейших инноваций

Так, быстрое устаревание и смена технологий и навыков работников, которыми будет сопровождаться внедрение ИИ, неизбежно будет создавать на пути взрывного роста труднопреодолимые политико-экономические препятствия. Владельцы старого физического

капитала (скажем, самолетов как вида транспорта) или старого человеческого капитала (скажем, пилоты) едва ли захотят мириться с полным обесценением своих активов [Jones, 2021]. Скорее всего, с помощью политического давления они станут пытаться заблокировать инновации, представляющие угрозу их экономическому положению. Правительства многих стран уже сталкиваются с серьезными политическими проблемами, порождаемыми сегодняшним, гораздо менее интенсивным процессом созидательного разрушения, когда работники, которым грозит увольнение, и предприниматели, которым грозит разорение, начинают требовать от государства защиты. Нетрудно представить, какими политическими потрясениями чревато ускорение темпов роста на порядок<sup>32</sup>.

Массовое сопротивление инновациям, требования к государству вмешаться и положить конец чрезмерно бурному технологическому прогрессу (прежде всего — в области ИИ) могут стать непреодолимым препятствием для перехода экономики к взрывному росту, даже если для него будут созданы все необходимые технологические предпосылки: «Правительства сталкиваются с большими проблемами из-за последствий созидательного разрушения даже при обычных темпах роста, когда лишившиеся своего места работники или владельцы бизнеса начинают искать у них защиты. Достаточно сложно представить политические последствия изменений и “встряски” такого масштаба, который выходит за пределы любых известных исторических прецедентов» [Jones, 2021].

Таким образом, даже если ИИ обеспечит необходимые условия для начала взрывного роста, эта возможность может остаться нереализованной из-за сознательных попыток, направленных на его замедление со стороны влиятельных политических сил. Быстрое развитие ИИ может стать жертвой государственного регулирования, которое начнет вводиться из-за широко распространенных в обществе страхов перед новейшими технологиями, опасений, связанных с защитой интеллектуальной собственности, неготовности позволять системам ИИ функционировать без контроля со стороны человека и т. д.

---

<sup>32</sup> Достаточно, например, вспомнить, что значительную часть любой современной экономики составляет государственный сектор: насколько велика вероятность, что государство решится на внедрение ИИ, который даст ему возможность уволить всех или почти всех государственных служащих, организованных во многих странах в мощные профсоюзы? Опасения социального взрыва почти наверняка заставят его отказаться от этой идеи [Jones, 2021].

Конечно, сторонники идеи сингулярности могут возразить, что появление ИИ человеческого уровня позволит преодолеть многие из этих ограничений. Но, во-первых, такой ответ отсылает к гипотетической ситуации, о параметрах которой пока ничего неизвестно, и, во-вторых, даже в этой ситуации факторы, не носящие технологического характера, все равно будут создавать препятствия на пути взрывного роста, которые ИИ, каким бы продвинутым он ни стал, едва ли сможет преодолеть.

## Заключение

Экономистам было давно известно, что во многих моделях роста при определенных значениях параметров может возникать ситуация сингулярности с непрерывно ускоряющимися темпами роста, в пределе стремящимися к бесконечности. Однако эта возможность рассматривалась как теоретический курьез, не имеющий отношения к реальности и не представляющий серьезного интереса. Ее восприятие изменилось, когда благодаря быстрому прогрессу информационных технологий появление ИИ человеческого уровня перестало казаться утопической мечтой. Ожидание этого технологического прорыва подтолкнуло экономистов к тому, чтобы отнестись, наконец, к идее сингулярности всерьез и начать изучать потенциальные механизмы, способные перевести экономику в такой необычный режим. Ускорение темпов роста до 20–30% в странах, находящихся на фронтире технологического прогресса, начало рассматриваться как вполне реальное — во всяком случае на какой-то пусть ограниченный, но достаточно продолжительный период времени. Переход к сверхэкспоненциальному росту означал бы радикальный разрыв с опытом последних полутора столетий, когда экономический рост в развитых странах оставался экспоненциальным. Тогда человечество смогло бы избежать непрерывно замедляющегося (субэкспоненциального) роста, который, скорее всего, грозит ему из-за прогнозируемого сокращения численности населения Земли.

По общему признанию, триггером взрывного роста может стать появление продвинутого ИИ, который будет способен взять на себя выполнение всех или хотя бы большинства задач, выполняемых сегодня людьми. Чтобы привести к сингулярно-

сти, ИИ должен охватить все виды человеческой деятельности, научившись не только складывать числа, решать уравнения или играть в шахматы, но также обследовать пациентов, утешать детей, читать проповеди и выступать арбитром в судебных спорах. Эксперты по ИКТ уверены, что такой ИИ человеческого уровня удастся разработать уже в ближайшие два-три десятилетия; многие экономисты также полагают, что это может произойти еще до истечения нынешнего столетия.

Ожидаемые последствия от внедрения ИИ отличаются по своей природе от предшествующих примеров частичной замены людей машинами, будь то пар, электричество или Интернет, которые дополняли человеческий труд и умножали его продуктивность. В отличие от них он претендует на большее: на замену уникальной способности, присущей человеку, — его разума. Производительность труда удваивается, когда количество пилотов в кабине самолета уменьшается с двух до одного, но она возрастает бесконечно, когда количество пилотов уменьшается с одного до нуля.

Сингулярность может принять разную форму в зависимости от того, в каком сегменте экономики такой продвинутый ИИ сможет полностью или почти полностью заменить собой человеческий труд — только в производстве «объектов», только в производстве «идей» или же в производстве одновременно и тех и других. В двух последних случаях, как предполагается, экономическая революция, которую он произведет, окажется несравненно более мощной, чем в первом.

В рамках формальных моделей рассматриваются различные варианты, при каких условиях и каким образом экономика сможет когда-либо перейти на траекторию взрывного роста. Это может произойти в нескольких случаях: 1) если ИИ резко повысит эффективность использования запаса уже существующих («старых») идей, что позволит намного быстрее производить с их помощью новые идеи; 2) если ИИ резко повысит эластичность замещения между «нецифровыми» и «цифровыми» потребительскими благами или между трудом и капиталом, так что доля в ВВП прогрессирующих секторов с непрерывно растущей производительностью начнет быстро увеличиваться, а не уменьшаться, как это было до сих пор, приближаясь в пределе к 100%;

3) если благодаря ИИ доля автоматизированных задач в общем их составе начнет непрерывно возрастать, оставляя людям все меньше и меньше задач, которые необходимо выполнять им (причем чтобы ускорить рост до 20–30%, будет достаточно даже не полной, а всего лишь частичной автоматизации, хотя и высокого уровня); 4) если системы ИИ станут функционировать как новый, дополнительный тип рабочей силы, полностью вытеснив из процесса производства людей.

В то же время оптимистические предсказания о том, что сингулярность уже не за горами, наталкиваются на серьезные возражения. Наиболее сильным теоретическим контраргументом можно считать ссылку на болезнь Баумоля. Технооптимисты обычно исходят из опыта отдельных секторов (чаще всего очень небольших), где под воздействием новейших технологий наблюдается сверхбыстрый рост производительности. Затем эти наблюдения механически переносятся на всю экономику в целом. Однако при этом не учитывается, что бурный рост производительности неизбежно влечет за собой резкое снижение цен, так что вклад таких секторов в ВВП будет уменьшаться. В результате, как следует из болезни Баумоля, общий рост экономики начинает определяться не столько тем, что у нас получается хорошо, сколько тем, что у нас получается плохо, — скоростью развития не столько прогрессирующих, сколько стагнирующих секторов. Неясно, каким образом ИИ мог бы переломить эту тенденцию.

Наиболее сильным эмпирическим контраргументом против тезиса о скором переходе экономики к взрывному росту можно считать комментарий Нордхауса о том, что если бы эра сингулярности была действительно близка, то первые признаки ее наступления были бы видны уже сегодня из необычного поведения некоторых ключевых макропоказателей. Однако пока ничто на это не указывает: напротив, похоже, что мировая экономика вступает в период постепенно затухающих темпов роста, а развитые страны уже вступили в него в начале XXI века.

При этом далеко не все наблюдатели разделяют сверхоптимистические ожидания, касающиеся неизбежного прогресса ИИ и кратного ускорения темпов экономического роста. Так, Й. ЛеКан, один из трех «крестных отцов» ИИ, считает эйфорию, возникшую вокруг искусственного интеллекта, безоснователь-

ной, поскольку по состоянию на данный момент он не дотягивает даже до интеллекта домашней кошки: «У кошек, в конце концов, есть ментальная модель физического мира, устойчивая память, некоторая способность к мышлению и к планированию. Ни одного из этих качеств нет у сегодняшних “продвинутых” ИИ» [Mims, 2024]<sup>33</sup>. Скептические голоса звучат и среди экономистов. Так, Д. Аджемоглу на эмпирических данных показал, что в США ИИ сможет обеспечить в ближайшее десятилетие прибавку к ежегодным темпам прироста СФП, равную в лучшем случае 0,07 п.п. [Acemoglu, 2024]. В терминах роста ВВП это означает, что в ближайшие десять лет он будет ежегодно расти лишь на 0,11 п.п. быстрее, чем сейчас. Эти более чем скромные результаты не дают оснований ожидать ускорения темпов роста на порядок, о котором уверенно заявляют многие футурологи.

Как видим, вопрос о том, будет ли в обозримый период разработан ИИ человеческого уровня и окажется ли он способен вызвать взрывной рост экономики, остается открытым. И из того, какой вялый рост демонстрировали в первые десятилетия XXI века развитые страны, находящиеся на фронтире технологического прогресса, можно, по-видимому, сделать вывод, что если это когда-нибудь и произойдет, то очень нескоро.

---

<sup>33</sup> В этом контексте он замечает также: «Сегодняшние модели на самом деле просто предсказывают следующее слово в тексте. Но они настолько в этом хороши, что одурачивают нас. Поскольку они обладают гигантской способностью к запоминанию, они кажутся нам мыслящими, тогда как на самом деле просто выдают информацию, которую уже заучили. Мы привыкли к мысли, что люди или существа, которые могут выражать себя или манипулировать языком, разумны, но это не так. Вы можете манипулировать языком и не быть разумными, и это, по сути, то, что демонстрируют LLM [большие языковые модели ИИ]» (цит. по: [Mims, 2024]).

## Литература

- Abdih Y., Joutz F.* (2005). Relating the Knowledge Production Function to Total Factor Productivity: An Endogenous Growth Puzzle. W.: IMF. Working Paper WP/05/74.
- Acemoglu D.* (2024). The Simple Macroeconomics of AI. Cambridge (Mass.): NBER. NBER Working Paper No. 32487.
- Acemoglu D., Restrepo P.* (2019). Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor // *Journal of Economic Perspectives*. Vol. 33. No. 2. P. 3–30.
- Aghion P., Jones B., Jones C.* (2019). Artificial Intelligence and Economic Growth / In: A. Agrawal, Gans J., Goldfarb A. (eds). *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*. Chicago: University of Chicago Press. P. 237–290.
- Almeida D., Naudü W., Sequeira T. N.* (2024). Artificial Intelligence and the Discovery of New Ideas: Is an Economic Growth Explosion Imminent? Bonn: IZA. IZA DP No. 16766.
- Baumol W. J.* (1967). Macroeconomics of Unbalanced Growth: The Anatomy of Urban Crisis // *American Economic Review*. Vol. 57. No. 3. P. 415–26.
- Baumol W. J., Bowen W. G.* (1965). On the Performing Arts: The Anatomy of Their Economic Problems // *American Economic Review*. Vol. 55. No. 1–2. P. 495–502.
- Bengio Y., Hinton G., Yao A., Song D., Abbeel P.* (2023). Managing AI Risks in an Era of Rapid Progress // arXiv preprint arXiv:2310.17688.
- Bloom N., Jones C., van Reenen J., Webb M.* (2020). Are Ideas Getting Harder to Find? / *American Economic Review*. Vol. 110. No. 4. P. 1104–1144.
- Bostrom N.* (2006). How Long before Superintelligence? // *Linguistic and Philosophical Investigations*. Vol. 5. No. 1. P. 11–30.
- Bricker D., Ibbitson J.* (2020). *Empty Planet: The Shock of Global Population Decline*. L.: Little, Brown Book Group.
- Brynjolfsson E., Rock D., Syverson C.* (2017). Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics. Cambridge (Mass.): NBER. NBER Working Paper No. 24001.
- Cotra A.* (2020). Forecasting TAI with Biological Anchors Part 1: Overview, Conceptual Foundations, and Runtime Computation

(<https://www.alignmentforum.org/posts/KrJfoZzpSDpnrV9va/draft-report-on-ai-timelines>)

- Davidson T.* (2021). Report on Whether AI Could Drive Explosive Economic Growth. Open Philanthropy (<https://www.openphilanthropy.org/could-advanced-ai-drive-explosive-economic-growth>)
- Erdil E., Besiroglu T.* (2024). Explosive Growth from AI Automation: A Review of the Arguments // arXiv:2309.11690v3. (<https://arxiv.org/pdf/2309.11690>).
- Ekerdt L. K. F., Wu K.-J.* (2024). Self-Selection and the Diminishing Returns of Research // American Economic Journal: Macroeconomics. Vol. 16. No. 4. P. 1–34.
- Fernald J. G., Jones C. I.* (2014). The Future of US Economic Growth // American Economic Journal Review. Vol. 104. No. 5. P. 44–49.
- Galor O., Weil D. N.* (2000). Population, Technology, and Growth: From Malthusian Stagnation to the Demographic Transition and Beyond // American Economic Review. Vol. 90. No. 4. P. 806–828.
- Garfinkel B.* (2020). Does Economic History Point Toward a Singularity? (<https://ea.greaterwrong.com/posts/CWFn9qAKsRibpCGq8/does-economic-history-point-toward-a-singularity>)
- Goldman Sachs.* (2023). Generative AI Could Raise Global GDP by 7 percent, (<https://www.goldmansachs.com/intelligence/pages/generative-ai-could-raise-global-gdp-by-7-percent.html>)
- Good I. J.* (1965). Speculations Concerning the First Ultra-intelligent Machine // Advances in Computers. Vol. 6. No. 1. P. 31–88.
- Gordon R.* (2016). The Rise and Fall of American Growth: The U.S. Standard of Living since the Civil War. Princeton: Princeton University Press.
- Granulo A., Fuchs C., Puntoni S.* (2021). Preference for Human (vs. Robotic) Labor is Stronger in Symbolic Consumption Contexts // Journal of Consumer Psychology. Vol. 31. No. 1. P. 72–80.
- Hansen G. D., Prescott E. C.* (2002). Malthus to Solow // American Economic Review. Vol. 92. No. 4. P. 1205–1217.
- Jones B.* (2021). Comments on “Could Advanced AI Drive Explosive Economic Growth?” (<https://docs.google.com/document/d/1jP9Bb6J6BXH5v6EshsPF2NE1GiWatPxUURk9wDEpTqA/edit?tab=t.0#heading=h.sx1v2jfwct7w>)
- Jones C.* (1995). R&D - based Models of Economic Growth // Journal of Political Economy. Vol. 103. No. 4. P. 759–783.

- Jones C.* (2019). Paul Romer: Ideas, Nonrivalry, and Endogenous Growth // *Scandinavian Journal of Economics*. Vol. 121. No. 3. P. 859–883.
- Jones C.* (2022a). The End of Economic Growth? Unintended Consequences of a Declining Population // *American Economic Review*, Vol. 112. No. 11. P. :3489–3527.
- Jones C.* (2022b). The Past and Future of Economic Growth: A Semi-Endogenous Perspective // *Annual Review of Economics*. Vol. 14. No. 1. P. 125–152.
- KlEuppel L., Knott A.* (2023). Are Ideas Being Fished Out? // *Research Policy*. Vol. 52. No. 2. P. 104665.
- Korinek A., Suh D.* (2024). Scenarios for the Transition to AGI. Cambridge (Mass.): NBER. NBER Working Paper No. 32255.
- Kremer M.* (1993). The O-Ring Theory of Economic Development // *The Quarterly Journal of Economics*. Vol. 108. No. 3. P. 551–575.
- Kurzweil R.* (2005). *The Singularity Is Near—When Humans Transcend Biology*. NY: Penguin Group.
- Kurzweil R.* (2024). Technology will let us fully realize our humanity / *MIT Technology Review*. September/October. (<https://www.technologyreview.com/2024/08/27/1096148/ray-kurzweil-futurist-ai-medicine-advances-freedom/>)
- Kuznets S.* (1960). Population Change and Aggregate Output / In: *NBER: Demographic and Economic Change in Developed Countries*. NY: Columbia University Press. P. 324–351.
- McKinsey Global Institute.* (2023). The Economic Potential of Generative AI. (<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/the%20economic%20potential%20of%20generative%20ai%20the%20next%20productivity%20frontier/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier.pdf>)
- Mims C.* (2024). This AI Pioneer Thinks AI Is Dumber Than a Cat // *Wall Street Journal*. October 11.
- Mokyr J.* (2018). The Past and the Future of Innovation: Some Lessons from Economic History / *Explorations in Economic History*. Vol. 69. P. 13–26.
- Nordhaus W. D.* (2008). Baumol’s Diseases: A Macroeconomic Perspective // *B.E. Journal of Macroeconomics*. Vol. 8. No. 1. P. 1–39.
- Nordhaus W. D.* (2021). Are We Approaching an Economic

- Singularity? Information Technology and the Future of Economic Growth // *American Economic Journal: Macroeconomics*. Vol. 13. No. 1. P. 299–332.
- Romer P. M.* (1990). Endogenous Technological Change // *Journal of Political Economy*. Vol. 98. No. 5. P. 71–102.
- Romer P.* (1993). Idea Gaps and Object Gaps in Economic Development // *Journal of Monetary Economics*. Vol. 32. No. 3. P. 543–573.
- Roodman D.* (2020). On the Probability Distribution of Long-term Changes in the Growth Rate of the Global Economy: An Outside View. *Open Philanthropy*. (<https://www.openphilanthropy.org/sites/default/files/Modeling-the-human-trajectory.pdf>)
- Sequeira T., Neves P.* (2020). Stepping on Toes in the Production of Knowledge: A Meta Regression Analysis // *Applied Economics*. Vol. 52. No. 3. P. 260–274.
- Simon H. A.* (1965). *The Shape of Automation for Men and Management*. NY: Harper and Row.
- Trammell P., Korinek A.* (2023). *Economic Growth under Transformative AI*. Cambridge (Mass.): NBER. NBER Working Paper No. 31815.
- van der Zande J. K. T., Siri S., Teigland R.* (2020). The Substitution of Labor From Technological Feasibility to other Factors Influencing the Potential of Job Automation / In: Larsson A., Teigland R., eds. *The Digital Transformation of Labor: Automation, the Gig Economy and Welfare*. L: Routledge.
- Vinge V.* (1993). The Coming Technological Singularity: How to Survive in the Post-Human Era / In: *Vision-21: Interdisciplinary Science and Engineering in the Era of Cyberspace*. P. 11–22.

**Kapeliushnikov, R.**

Artificial intelligence and the problem of singularity in economics [Electronic resource] : Working paper WP3/2025/01 / R. Kapeliushnikov ; National Research University Higher School of Economics. — Electronic text data (711 Kb). — Moscow : HSE Publishing House, 2025. — 67 p. — (Series WP3 “Labour Markets in Transition”). — (In Russian)

Due to the development of artificial intelligence (AI) technology, the problem of singularity took an important place in new studies on economic growth. Many expect that in the coming decades, AI will be able to reach the level of human intelligence and take over all or most of the tasks performed by people today. This will cause an economic growth explosion and the economy transit into singularity regime with superexponential growth rates (in the limit, approaching to infinity). The paper examines in detail the arguments both for and against such an over-optimistic scenario. The arguments in its favor are based on the key premise of endogenous growth models that the ultimate source of economic growth is ideas (scientific and technological knowledge). The types of singularity may differ depending on where AI would be able to substitute for human labor – only in the production of “ordinary” goods and services, only in the production of ideas, or both. The main theoretical counterargument refers to the so-called “Baumol cost disease”, whereby over time the contribution to GDP of sectors with the fastest productivity dynamics steadily decreases. The main empirical counterargument is that if the singularity were already near, the first signs of it would be visible in an unusual behavior of some key macroeconomic parameters. This implies that even if explosive growth ever become a reality, it would happen not soon.

Key words: automation, artificial intelligence, “Baumol cost disease”, economic growth, singularity.

JEL: D83, E25, J11, O31, O33, O40.

*Препринт WP3/2025/01*  
*Серия WP3*  
*Проблемы рынка труда*

Капелюшников Ростислав Исаакович

**Искусственный интеллект  
и проблема сингулярности в экономике**

*Публикуется в авторской редакции*

Изд. № 2946