

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	
<i>Зачем нужна эта книга?</i>	7
1. Энергия	
<i>Топливо и электричество</i>	21
2. Производство продуктов питания	
<i>Мы едим ископаемое топливо</i>	62
3. Мир материалов	
<i>Четыре столпа современной цивилизации</i>	104
4. Глобализация	
<i>Двигатели, микросхемы, и не только</i>	140
5. Риски	
<i>От вирусов до диеты и вспышек на Солнце</i>	180
6. Окружающая среда	
<i>Другой биосферы у нас нет</i>	224
7. Будущее	
<i>Между апокалипсисом и сингулярностью</i>	272
Приложение	
<i>Числа. Порядки величин</i>	304
<i>Благодарности</i>	309
<i>Примечания</i>	310

Введение

ЗАЧЕМ НУЖНА ЭТА КНИГА?

Каждая эпоха претендует на уникальность, но, даже если опыт трех последних поколений — то есть десятилетий, прошедших после окончания Второй мировой войны, — не изменил наше представление о мире так сильно, как опыт трех поколений, предшествующих началу Первой мировой войны, мы все равно стали свидетелями огромного количества беспрецедентных свершений и открытий. Самое главное, у многих людей теперь существенно повысилось качество жизни, они живут дольше и обладают лучшим здоровьем, чем когда-либо за всю историю человечества. Тем не менее эти преимущества пока доступны лишь меньшинству (примерно пятой части) живущих на земле людей, общее число которых приближается к 8 миллиардам.

Второе достижение, которым мы вправе восхищаться, — беспрецедентное расширение наших знаний о материальном мире и обо всех формах жизни. Наше знание простирается от грандиозных обобщений о сложных системах вселенной (галактик, звезд) до планетарных явлений (атмосфера, гидросфера, биосфера) и устройства материи на уровне атомов и генов: дорожки на поверхности самых мощных микропроцессоров всего в два раза толще диаметра спирали ДНК. Мы превратили это знание в постоянно расширяющийся набор механизмов, устройств, процедур, протоколов и действий,

поддерживающих современную цивилизацию, и разум одного человека просто не в состоянии охватить весь гигантский объем нашего общего знания, а также все способы, которыми мы поставили его себе на службу.

Настоящего «человека эпохи Возрождения», обладавшего универсальными знаниями, можно было встретить на площади Синьории во Флоренции в 1500 г., но не позже. В середине XVIII в. двое французских ученых, Дени Дидро и Жан Лерон Д'Аламбер, еще могли собрать группу широко образованных людей для изложения современного понимания мира в довольно обстоятельных статьях своей многотомной Энциклопедии, или Толкового словаря наук, искусств и ремесел» (*Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*). Прошло еще несколько поколений, и объем и специализация знаний увеличились на несколько порядков, а в самых разных областях были сделаны фундаментальные открытия, от электромагнитной индукции (Майкл Фарадей, 1831 г., предпосылка производства электроэнергии) до метаболизма растений (Юстус фон Либих, 1840, предпосылка повышения урожайности) и теории электромагнетизма (Джеймс Клерк Максвелл, 1861 г., предпосылка беспроводной связи).

В 1872 г., через 100 лет после выхода последнего тома Энциклопедии, любое собрание знаний было вынуждено ограничиться поверхностным описанием быстро расширяющегося диапазона тем, а еще через полтора столетия стало невозможным суммировать знания даже в пределах узко очерченных специальностей: даже такие термины, как «физика» или «биология», превратились в относительно бессмысленные ярлыки, и специалисты по физике элементарных частиц с трудом поймут даже первую страницу последней научной работы в области вирусной иммунологии. Совершенно очевидно, что такая атомизация знания не сделала проще общественное принятие решений. Узкоспе-

специализированные направления современной науки стали такими сложными, что многие люди, которые ими занимаются, вынуждены учиться до тридцати или тридцати пяти лет, чтобы войти в круг нового жречества.

Да, они долго учатся, но слишком часто не могут прийти к согласию относительно наилучшего образа действий. Пандемия SARS-CoV-2 со всей очевидностью показала, эксперты не способны прийти к согласию даже по такому простому на первый взгляд вопросу, как ношение маски. В конце марта 2020 г. (через три месяца после начала пандемии) Всемирная организация здравоохранения все еще рекомендовала носить маску только инфицированным, изменив свою позицию лишь в начале июня 2020 г. Как люди, не обладающие специальными знаниями, могут принять сторону в споре или просто понять его смысл, если в финале опровергается то, что утверждалось в начале?

Тем не менее существующая неопределенность и споры не оправдывают глубины непонимания большинством людей основ функционирования современного мира. В конце концов, знать, как выращивают пшеницу (глава 2), как выплавляют сталь (глава 3), или понимать, что глобализация не является ни новой, ни неизбежной (глава 4), — не то же самое, что разбираться в фемтохимии (изучение химических реакций в масштабах времени 10^{-15} секунд, Ахмед Зевейл, Нобелевская премия 1999 г.) или полимеразной цепной реакции (быстрое копирование ДНК, Кэри Муллис, Нобелевская премия 1993 г.).

Почему же большинство людей в современных обществах имеют такое поверхностное представление о том, как на самом деле функционирует мир? Самое очевидное объяснение — сложность современного мира. Люди постоянно имеют дело с «черными ящиками», относительно простые правила обращения с которыми почти или совсем не требуют понимания, что происходит внутри. Это относится к таким распространенным устройствам, как мобильные телефоны и ноут-

буки (набери простой вопрос, и получишь результат), или к массовым процедурам вроде вакцинации (ярким примером для всей планеты стал 2021 г., когда единственной понятной частью процедуры было закатать рукав). Но объяснение дефицита понимания не ограничивается фактом, что обширность наших знаний способствует специализации, обратной стороной которой является поверхностное понимание — или даже непонимание — основ.

Урбанизация и механизация — вот две главные причины этого дефицита понимания. С 2007 г. более половины человечества живет в городах (в богатых странах больше 80%), и, в отличие от промышленных городов XIX и начала XX в., большинство рабочих мест в них — это сфера услуг. Таким образом, современные горожане в массе своей никак не связаны с производством не только продуктов питания, но также машин и механизмов, а усиливающаяся механизация всех процессов означает, что лишь малая часть населения планеты теперь участвует в обеспечении нашей цивилизации энергией и материалами, без которых современный мир невозможен.

В Америке лишь около 3 миллионов мужчин и женщин (владельцев ферм и наемных работников) напрямую связаны с производством продуктов питания — пахут, сеют, вносят удобрения, выпалывают сорняки, собирают урожай (самая трудоемкая часть процесса — сбор фруктов и овощей) и ухаживают за животными. Это меньше 1% населения страны, и поэтому не стоит удивляться, что большинство американцев не представляют — или смутно представляют, — откуда у них на столе появляется хлеб и мясо. Урожай пшеницы собирают комбайны — а соевых бобов или фасоли? Сколько времени нужно для превращения крошечного поросенка в свиную котлету: несколько недель или несколько лет? Подавляющее число американцев этого просто не знают. И они не одиноки. Китай является крупнейшим в мире производителем стали — почти миллиард тонн стали, чугуна и проката в год, — но все

это производит меньше 0,25% населения страны численностью 1,4 миллиарда человек. Ничтожный процент китайцев хотя бы раз в жизни стоял рядом с домной или видел огненные красные ленты в процессе непрерывной разливки стали. И подобный отрыв от реальности наблюдается во всем мире.

Вторая главная причина плохого и постоянно ухудшающегося понимания фундаментальных процессов получения энергии (в виде пищи или в виде топлива), долговечных материалов (металлов, нерудных минералов или бетона) заключается в том, что их стали считать старомодными — или даже устаревшими — и совсем неинтересными по сравнению с миром информации, данных или изображений. Так называемые лучшие умы не идут изучать почву и не пробуют свои силы в усовершенствовании цемента: их привлекает работа с нематериальной информацией в виде потоков электронов в мириадах миниатюрных устройств. Непропорционально большое вознаграждение этих людей — от юристов и экономистов до программистов и инвестиционных менеджеров — никак не связано с реалиями материальной жизни на земле.

Более того, многие из тех, кто поклоняется данным, пришли к убеждению, что потоки электронов сделали ненужными эти старомодные материальные объекты, которые раньше были необходимостью. Поля будут заменены городским сельским хозяйством в высотных зданиях, а синтетические продукты вообще исключают потребность выращивать какую-либо пищу. Дематериализация, основой которой станет искусственный интеллект, положит конец нашей зависимости от большого количества обработанных металлов и минералов, и в конечном итоге мы сможем даже обойтись без земной окружающей среды: кому она нужна, если мы собрались терраформировать Марс? Конечно, это всего лишь преувеличенные и преждевременные прогнозы, фантазии, порожденные обществом, где фейковые новости стали обычным делом и где реальность и вымысел смешались до такой степени, что легковверные

умы, склонные к своего рода культуре больше, чем к анализу, верят в то, что проникательные наблюдатели прошлого безжалостно сочли бы частичным или полным бредом.

Никто из читающих эту книгу не переселится на Марс; все мы продолжим потреблять зерновые культуры, выращенные на обширных участках сельскохозяйственных земель, а не в небоскребах, которые воображают сторонники так называемой урбанистической агрокультуры; никто из нас не будет жить в дематериализованном мире, где стали ненужными такие незаменимые естественные процессы, как испарение воды или опыление растений. Но получение этих жизненно важных ресурсов становится все более сложной задачей, потому что значительная часть человечества живет в условиях, которые богатое меньшинство преодолело много лет назад, и потому что растущая потребность в энергии и материалах так резко и так быстро увеличивает нагрузку на биосферу, что мы угрожаем ее способности поддерживать процессы и ресурсы в границах, необходимых для ее долгосрочного функционирования.

Приведем один, но очень важный пример: в 2020 г. среднее ежегодное энергопотребление в расчете на одного человека приблизительно 40% населения мира (3,1 миллиарда человек, в том числе почти все жители африканских стран южнее Сахары) не превышало уровень, достигнутый Германией и Францией в 1850-м! Для достижения стандарта достойной жизни эти 3,1 миллиарда человек должны как минимум удвоить — а предпочтительно утроить — энергопотребление, что приведет к многократному увеличению потребности в электроэнергии, росту производства продуктов питания, появлению необходимой городской, промышленной и транспортной инфраструктуры. Эти потребности неизбежно повлекут за собой дальнейшее разрушение биосферы.

А как нам противостоять ускоряющемуся изменению климата? В настоящее время практически все согласны, что

необходимо *что-то* делать, чтобы предотвратить крайне нежелательные последствия, но какие действия, какое изменение поведения окажется самым эффективным? Для тех, кто игнорирует энергетические и материальные потребности нашего мира, кто заменяет мантрами «зеленых» рещений понимание того, как мы пришли к этой ситуации, рецепт прост. Это декарбонизация — переход от сжигания ископаемого топлива к преобразованию неисчерпаемых потоков возобновляемой энергии. Но тут есть одна загвоздка: наша цивилизация основана на ископаемом топливе, и все наши технические и научные достижения, качество жизни и процветание общества зависят от сжигания огромного количества ископаемых углеводов, и мы просто не можем отказаться от этой критически важной составляющей нашей жизни за несколько десятилетий, не говоря уже о годах.

Полная декарбонизация глобальной экономики к 2050 г. в настоящее время достижима лишь ценой невероятного экономического спада — или как результат необычайно быстрых перемен, в основе которых будут лежать похожие на чудо технологические прорывы. Но для первого варианта у нас еще нет убедительной, практичной и доступной по цене глобальной стратегии, а для реализации второго — необходимых технических средств. Что же произойдет? Пропасть между фантазиями и реальностью глубока, но в демократическом обществе любое соперничество идей и предложений может протекать рационально, когда все стороны обладают хотя бы малой толикой релевантной информации о реальном мире, а не просто повторяют свои предрассудки и делают заявления без какой-либо связи с материальными возможностями.

Эта книга представляет собой попытку снизить дефицит понимания, объяснить некоторые фундаментальные основы выживания и развития нашего общества. Моя цель — не прогноз и не описание самых оптимистичных или песси-

мистичных сценариев будущего. Не вижу никакой необходимости прибегать к этому популярному — но регулярно терпящему неудачу — жанру: в долговременном плане нас ждет слишком много непредвиденных событий и слишком много сложных взаимодействий, которые не в состоянии предсказать ни один человек или коллектив. Я также не буду защищать любую конкретную (предвзятую) интерпретацию реальности — ни как повод для отчаяния, ни как источник безграничных ожиданий. Я не пессимист и не оптимист; я ученый, пытающийся объяснить, как на самом деле функционирует мир, и я буду использовать это понимание, чтобы помочь нам лучше осознать будущие ограничения и возможности.

Естественно, такого рода исследование обречено быть выборочным, но каждая из семи главных тем, выбранная для более подробного анализа, представляет собой пример экзистенциального императива: здесь у нас нет свободы выбора. Первая глава этой книги показывает, как наше энергозатратное общество постоянно увеличивало свою зависимость от ископаемого топлива и особенно от электричества, самого универсального вида энергии. Осознание этой реальности служит настоятельно необходимой поправкой к широко распространенным заявлениям (основанным на плохом понимании сложных реалий), что мы способны быстро декарбонизировать глобальные энергоресурсы и что через два или три десятилетия мы полностью перейдем на возобновляемые источники энергии. Несмотря на то что все большая часть электрогенерации приходится на новые возобновляемые источники (солнце и ветер, в отличие от давно существующей гидроэнергетики), а на дорогах появляется все больше электромобилей, декарбонизация наземного, воздушного и морского транспорта станет гораздо более серьезным вызовом — как и производство основных материалов без использования ископаемого топлива.

Вторая глава книги посвящена самому главному условию нашего выживания: производству еды. В ней объясняется, что у всего, что поддерживает нашу жизнь — от пшеницы до томатов и креветок, — есть одно общее свойство: существенный расход ископаемого топлива, как непосредственный, так и косвенный. Осознание этой фундаментальной зависимости от ископаемого топлива ведет к реалистичному пониманию нашей продолжающейся потребности в ископаемом угле-роде: вырабатывать электричество с помощью ветряных турбин или солнечных батарей гораздо легче, чем сжигать для этого уголь или природный газ, но без жидкого ископаемого топлива гораздо труднее обслуживать сельскохозяйственную технику, а без нефти и газа невозможно производить удобрения и другие химикаты, используемые в сельском хозяйстве. Другими словами, еще несколько десятилетий мы не сможем кормить планету, не используя ископаемое топливо как источник энергии и сырья.

В третьей главе объясняется, как и почему существование нашего общества поддерживается материалами, созданными человеческой изобретательностью, в частности теми, которые я называю четырьмя столпами современной цивилизации: аммиаком, сталью, бетоном и пластиком. Понимание этих реалий обнажает заблуждения, часто встречающиеся в модных заявлениях о дематериализации современной экономики, в которой якобы преобладает сфера услуг и миниатюрные электронные устройства. Относительное снижение материалоемкости многих конечных продуктов было одной из ведущих тенденций развития современного производства. Но в абсолютных цифрах потребность в материалах выросла даже в самых развитых современных обществах и остается очень далекой от насыщения в странах с низким уровнем дохода, где владение благоустроенным жильем, кухонными приборами и кондиционерами (не говоря уже об автомобилях) остается несбыточной мечтой для миллиардов людей.

Четвертая глава — это история о глобализации, о том, как транспорт и средства связи связали мир в одно целое. Историческая перспектива показывает, насколько старым (и даже древним) является начало этого процесса и как недавно произошел его поистине масштабный — глобальный — расцвет. При ближайшем рассмотрении становится очевидным, что в этом неоднозначном явлении (одни его хвалят, другие в нем сомневаются, третьи критикуют) нет ничего неизбежного. В последнее время в мире наблюдается явный отказ от этой тенденции, а также движение в сторону популизма и национализма, и пока непонятно, насколько далеко это все пойдет или в какой степени изменится под влиянием экономики, политики и соображений безопасности.

Пятая глава предлагает реалистичную основу для оценки рисков, с которыми мы сталкиваемся: современные общества добились успехов в устранении многих смертельных или опасных для здоровья рисков — например полиомиелита или осложнений при родах, — но многие опасности нас будут подстерегать всегда, и мы постоянно ошибаемся в оценке риска, недооценивая или переоценивая угрозы. Ознакомившись с этой главой, читатель получит представление об относительных рисках многих привычных действий, вынужденных или сознательных (от падения на лестнице у себя дома до перелета с одного континента на другой, от жизни в городе, на который часто обрушиваются ураганы, до прыжков с парашютом). Отбросив всю чушь, которой нас кормит индустрия здорового питания, мы увидим диапазон возможностей в отношении еды, которая поможет нам жить дольше.

В шестой главе мы сначала рассмотрим, как изменения окружающей среды могут повлиять на три элемента, без которых нам не выжить: кислород, воду и пищу. Остальная часть главы будет посвящена глобальному потеплению, которое в последнее время стало нашей главной заботой, когда речь идет об окружающей среде, и которое привело к появле-

нию двух противоположных тенденций — ожиданию катастрофы (почти апокалипсиса) и полному отрицанию. Я не буду повторять и сравнивать эти полярные утверждения (этому посвящена масса книг), а подчеркну, что вопреки распространенному мнению глобальное потепление — не новость: основы этого процесса стали ясны более 150 лет назад.

Более того, мы знали, в какой степени потепление климата связано с удвоением концентрации CO_2 в атмосфере за прошедшие 100 лет, и больше 50 лет назад нас предупреждали о непредсказуемой (и невозпроизводимой) природе этого эксперимента над планетой (непрерывное точное измерение концентрации CO_2 началось в 1958 г.). Но мы решили игнорировать эти объяснения, предупреждения и зарегистрированные факты. Более того, мы стали еще сильнее зависеть от сжигания ископаемого топлива, и избавиться от этой зависимости будет трудно и дорого. И неизвестно, сколько на это понадобится времени. Прибавьте все остальные проблемы окружающей среды, и вы неизбежно придете к выводу, что ключевой вопрос нашего существования — сможет ли человечество реализовать свои желания, не разрушая биосферу, — не имеет простых ответов. Но в любом случае необходимо осознать и принять факты. Только тогда мы сможем приступить к эффективному решению проблемы.

В заключительной главе я попробую описать будущее, в частности две распространившиеся в последнее время теории: катастрофизм (мнение, что до окончательного заката современной цивилизации осталось несколько лет) и технооптимизм (предсказание, что новые открытия и изобретения откроют бесконечные горизонты за пределами нашей планеты, превратив земные проблемы в нечто совершенно несущественное). Нетрудно догадаться, что мне не близки обе эти позиции, и мои прогнозы не имеют ничего общего с обеими доктринами. Я не предполагаю неминуемого разрыва с историей в любом направлении; я не вижу каких-либо запро-

граммированных результатов — только довольно сложную траекторию, зависящую от нашего выбора, который тоже не предопределен.

В основе этой книги два краеугольных камня: многочисленные научные открытия и полвека моих собственных исследований и литературной деятельности. Диапазон этих научных открытий чрезвычайно широк, от классических работ XIX в. по преобразованию энергии и парниковому эффекту до новейших оценок глобальных вызовов и вероятностей рисков. И эта серьезная книга не могла быть написана без нескольких десятилетий междисциплинарных исследований, результаты которых были изложены в других моих книгах. Я не склонен обращаться к древней метафоре о лисе и еже («лиса знает много секретов, а еж — один, но самый главный»), а предпочитаю делить современных ученых на два типа: одни бурят все более глубокие скважины (верная дорога к славе), а другие изучают широкие горизонты (в настоящее время эта группа значительно уменьшилась).

Меня никогда не привлекала перспектива пробурить самую глубокую скважину и стать лучшим специалистом по крошечному кусочку неба, видимого с ее дна. Я всегда предпочитал смотреть как можно шире и дальше — насколько позволяли мои ограниченные возможности. Всю жизнь меня интересовало такое направление, как исследования в области энергии, поскольку удовлетворительное понимание этой обширной сферы требует знания физики, химии, биологии, геологии и инженерного дела, а также учета исторических, социальных, экономических и политических факторов.

Почти половина из моих теперь уже более 40 (в основном научных) книг имеют отношение к разным аспектам энергии, от масштабных исследований общей энергетики и использования энергии на протяжении всей истории человечества до более подробного анализа отдельных категорий топлива (нефть, природный газ, биомасса), конкретных свойств и про-

цессов (плотность энергии, передача энергии). Остальные мои работы имеют междисциплинарный характер: я писал о таких фундаментальных явлениях, как развитие — во всех его естественных и антропогенных проявлениях — и риск; я писал об окружающей среде (биосфере, биохимических циклах, глобальной экологии, эффективности фотосинтеза и урожаях), о продуктах питания, сельском хозяйстве, материалах (прежде всего стали и удобрениях), технических достижениях, о прогрессе и неудачах производства, а также об истории Древнего Рима и современной Америки, о японской еде.

Таким образом, эта книга — результат трудов всей моей жизни. Она написана для неспециалистов и стала итогом моих стремлений понять основные аспекты биосферы, истории и мира, который мы создали. И она призвана продолжить то, на чем я настаивал на протяжении нескольких десятилетий: держаться как можно дальше от экстремальных точек зрения. Нынешние (предельно жесткие или предельно фантазирующие) защитники таких позиций будут разочарованы: здесь они не найдут ни стенаний по поводу конца мира в 2030 г., ни одержимости волшебной преобразующей силой искусственного интеллекта, который появится раньше, чем мы думаем. Нет, эта книга пытается предложить основу для более взвешенной и неизбежно агностической перспективы. Надеюсь, что мой рациональный, основанный на фактах подход поможет читателям понять, как на самом деле функционирует наш мир и каковы наши шансы на лучшие перспективы для будущих поколений.

Но прежде чем переходить к конкретным темам, я хотел бы вас кое о чем предупредить, а возможно, и попросить. Эта книга изобилует цифрами (в метрической системе), поскольку реалии современного мира невозможно понять только с помощью качественных описаний. Многие цифры, приведенные в этой книге, либо очень большие, либо очень

маленькие, и поэтому для их понимания удобнее оперировать порядками величин, которые обозначаются признанными во всем мире префиксами. Если вы не знакомы с основами такого представления чисел, вам поможет приложение, посвященное числам, большим и маленьким, — некоторым читателям стоит начать знакомство с этой книгой с конца. В противном случае мы встретимся с вами в главе 1, предлагающей более подробный, количественный рассказ об энергии. Это тема, которая никогда не выйдет из моды.

Научно-популярное издание

Смил Вацлав

КАК УСТРОЕН МИР НА САМОМ ДЕЛЕ

Наше прошлое, настоящее и будущее
глазами ученого

Ответственный редактор *Н. Галактионова*

Редактор *Е. Беяева*

Художественный редактор *М. Левыкин*

Технический редактор *Л. Симицына*

Корректоры *Н. Соколова, О. Левина*

Верстка *Т. Корovenковой*

ООО «Издательская Группа «Азбука-Аттикус» —
обладатель товарного знака «КоЛибри»
115093, Москва, ул. Павловская, д. 7, эт. 2, пом. III, ком. № 1

Филиал ООО «Издательская Группа «Азбука-Аттикус»
в г. Санкт-Петербурге
191123, Санкт-Петербург, Воскресенская набережная, д. 12, лит. А

Знак информационной продукции
(Федеральный закон № 436-ФЗ от 29.12.2010 г.)

16+

Подписано в печать 14.09.2022. Формат 60×90/16.

Бумага офсетная. Гарнитура «Petersburg».

Печать офсетная. Усл. печ. л. 24,0.

Тираж 3000 экз. В-СНМ-26973-01-Р. Заказ №

Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами
в ООО «ИПК Парето-Принт». 170546, Тверская область,
Промышленная зона Боровлево-1, комплекс № 3А
www.pareto-print.ru