

Отраслевое научно-технологическое прогнозирование: от построения образа к изучению неопределенного будущего

Н. В. Трифонова¹, М. С. Власова²,
И. А. Лобанова³, А. С. Ковалева⁴

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

¹nvtrifon@mail.ru, ²vms68@yandex.ru, ³i.a.lobanova@bk.ru, ⁴intermasterf@gmail.com

Аннотация. Прогностические исследования традиционно апеллировали к новому научному результату. Чем определяется уровень неопределенности прогностических исследований: будущим периодом (время), технологиями будущего (объект), отличными от сегодняшних решений, или методологией проведения прогностических исследований (метод)? Задача научно-технологического прогнозирования развития энергетики может быть определена следующим образом: определить изменения во фронтальных технологиях; предвосхитить появление технологий, определяющих альтернативные подходы к использованию сырьевых материалов, генерации и распределению энергии, резко снижающих негативные последствия для экологических и социальных систем, наконец, формирующих новые рынки, направления и показатели спроса.

Ключевые слова: энергетическая отрасль, научно-технологическое развитие, методология проведения научно-технологического прогнозирования, прогностические исследования, сценарное прогнозирование, неопределенность будущего

I. АКТУАЛЬНОСТЬ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Традиционно в отрасли формируется прогнозы, объединяющие в себе элементы технологического прогнозирования, рыночной аналитики, исследований традиционно важных политических изменений и экономических трендов. К наиболее авторитетным и глобальным, предполагающим комплексное видение, можно отнести публикации Международного энергетического агентства¹ (*Energy Technology Perspectives* и *Energy Technology Initiatives*); ИНЭИ РАН (*Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 г.*); Управления энергетической информации США², а также прогнозы компаний и ассоциаций – ОПЕК, BP Royal, Dutch Shell, ExxonMobil, Гринпис, IRENA, Goldman Sachs, Bloomberg, Deloitte. Существуют и эпизодические отраслевые исследования (среди них форсайт-исследования, исследования и работы научных организаций – ведущих зарубежных и российских вузов, НИИ, сообществ, в том числе молодежных). Один из прогнозов традиционно проходит в рамках Российской энергетической недели – РЭН. Методика разработки прогноза включает в себя рассмотрение максимально возможного числа факторов, влияющих на устойчивое энергетическое развитие. В результате, например, определяются основные направления технологических

изменений в следующих секторах: традиционная углеводородная энергетика, экотранспорт будущего, распределенная генерация (РГ), новые возобновляемые источники энергии (НВИЭ) против традиционной энергосистемы, умные накопители, технологические тренды и перспективные ниши (например, ниша на рынке наилучших доступных технологий (НДТ) в области информационных технологий, углекислоты, экологии и НВИЭ; ниша на рынке аккумуляторных батарей (АКБ) и систем накопления энергии с перспективой создания собственной технологической базы по переработке и утилизации батарей.

Последние годы демонстрируют, что технологическое развитие является определяющим в развитии энергетической отрасли. Формирующееся в рамках научных исследований и определяемое внедрением потенциалом университетов и промышленных партнеров технологическое развитие требует постоянной и сменяемой в процедурах прогностической активности с привлечением большого числа как лидеров мнений, так и специалистов, ранее не привлекаемых к анализу будущего и тенденций.

II. БАЗОВОЕ ПРЕДПОЛОЖЕНИЕ И КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу исследования положен анализ публикаций и отчетов (вторичных данных), посвященных текущему состоянию и перспективам развития энергетической отрасли в России и мировой энергетике в целом. В выборку также попали статьи, не относящиеся к энергетике, но содержащие результаты и оценки прогностических исследований, а также анализ научно-технологического развития на несколько десятилетий вперед. Исследование проводилось в несколько этапов, в каждый из которых были заложены два основных исследовательских вопроса.

Q1. *Что лежит в основе прогноза?* Ответ на данный вопрос повлек за собой необходимость в более детальном анализе факторов, которые могут повлиять как на сам ход прогнозирования, так и на его результат – прогноз, а именно – какой метод был положен в основу прогнозирования, можно ли сочетать несколько методов, какие критерии использовать.

Q2. *Какой горизонт прогнозирования должен быть для исключения неопределенности будущего?*

Q3. *Где находится или как определить точку бифуркации/джозеров, «черных лебедей» в мировой научно-технологической повестке?*

¹ <https://www.iea.org>

² <https://www.eia.gov>

Прогнозирование всегда связано с неопределенностью, минимизацией риска принятия решений, следовательно, необходимо учитывать условия принятия решений в условиях неопределенности.

Научно-технологическое прогнозирование может отталкиваться от будущих сценариев развития энергетической отрасли – взгляд из прошлого в будущее (не экстраполятивный, но ангажированный), в основе могут лежать запросы общества, научных кругов, лоббирование интересов определенных промышленных групп, финансовые возможности, ресурсная база и т.п.

Еще один вариант отправной точки прогнозирования – избежание наихудшего варианта развития человечества, например, ядерной войны, негативного и масштабного влияния электромагнитного излучения (ЭМИ), истощения ископаемого топлива и источников энергии, голода и катастрофических эпидемий, приводящих к тотальному вымиранию человечества. Источником прогнозирования в этом случае может быть мировая климатическая повестка, защита окружающей среды, принципы ESG-управления компаниями и т.п., основой могут стать международные соглашения (например, Парижское соглашение по ограничению глобального потепления до (1,5–2 °C), энергопереход Европейского союза к климатически нейтральному уровню за счет достижения нулевых выбросов CO₂ к 2050 году). При использовании этого варианта прогнозирования взгляд в будущее на необходимые технологии и их развитие может сильно отличаться от первого варианта.

A. Что лежит в основе прогноза?

Что лежит в основе прогнозирования – публикуемый в науке материал о наиболее перспективных технологиях? Для ответа на него необходимо рассмотреть массив статей и выявить по наиболее активному упоминанию и цитированию наиболее перспективные технологии.

Очевидно, что чем больше публикаций, тем больше вероятности, что технология и дальше будет развиваться. Объем публикаций на заданную тематику говорит об актуальности темы, о наличии дискуссии между исследователями, о высказывании альтернативных точек зрения, о поиске «зерна истины», а, значит, о росте вероятности её найти. В актуальные темы вовлекаются больше молодых ученых в университетах и исследовательских центрах и молодых специалистов в полях практики, что повышает шансы к развитию обсуждаемой технологии. Ибо те технологии, что войдут в расцвет своего развития к 2050, сейчас только зарождаются и не имеют количественных оценок, кроме публикационной активности. В их оценке сейчас присутствует только один метод: метод экспертных оценок.

Но одного интереса к теме мало. Необходим инструментарий и навыки для построения прогнозов. Что нужно, чтобы уметь прогнозировать? Нужно ли знать, что было до нас? Необходимо отслеживать характер изменений? Тогда, какие должны быть параметры составляющих, участвующих в предшествующих разработках технологий? Данный подход может быть определен как экстраполятивный. При этом глубина экстраполяции определяется горизонтом прогнозирования.

В процессе анализа предпосылок развития технологий, развития отрасли, исследователи чаще всего прибегают к обобщенным фразам, например,

«накопленный опыт предшественников» или «полученный ранее опыт». Однако эти фразы крайне расплывчаты и не несут и доли достоверных сведений о том, что же послужило толчком для появления и последующего развития технологий.

Еще одним интересным вопросом является параллельное возникновение технологических идей и решений в разных странах при отсутствии коммуникации между учеными (*известный эффект Маркони–Попова*). Принципиально новое технологическое решение может быть результатом параллельно проводимых исследований тех научных школ и групп, что «работают на фронтире» научно-технологической повестки.

Необычайно интересна природа появления новых технологий. Напрашивается идея создания банка данных по оценке появления и развития технологий: оценки предшествующего опыта, анализа предпосылок появления и ресурсов, затраченных сообществом исследователей, ученых, отраслевых аналитиков для каждого из совершенных шагов в научно-технологическом развитии. Здесь открывается широчайшее поле для исследования на основе многофакторного анализа, работе с *Big Data*. Результаты трудно предсказуемы и от того весьма интересны.

Что было нужно с своё время для реализации уже осуществлённых технологий? Были ли это только финансовые средства, предшествующие технологии, доступность материалов, лоббирование со стороны руководства, энтузиазм разработчиков, мотивационные пакеты.

B. Как это работает?

При рассмотрении факторов, влияющих на научно-технологический прогноз, можно ограничиваться как отдельно взятыми странами (и тогда будут в большей степени сказываться такие факторы, как демографические сдвиги, социально-экономические реалии, перечень критических технологий, который имеет страновые отличия, нормативно-правовое регулирование), так и брать в целом глобальный контекст (в этом случае на передний план будут выходить такие показатели, как изменения спроса на энергоносители в основных регионах мира, экономические процессы на мировых рынках и т.д.). Важно рассмотреть факторы как минимум с двух точек зрения: критические технологии и перспективный рынок. Однако в любом из вариантов присутствуют «окна возможностей» [10], использование которых позволяет совершать скачки в развитии, как, например, хорошо известная с восьмидесятих годов прошлого столетия теория *липфрозинга* [11].

Пошаговое, методичное развитие технологии можно спрогнозировать с большей долей вероятности. И некоторое время будет наблюдаться на практике подтверждение сделанным ранее прогнозам, пока эту технологию не опередит другая технология-прямой конкурент. Или пока не появятся определенные драйверы, например, рыночные, как было с технологиями накопления энергии. В секторе атомных электростанций работают более десятка ключевых исследовательских центров по всему миру и, казалось бы, данный сектор должен был развиваться быстрее других, менее значимых в масштабах планеты. Однако развитием рынка мобильных телефонов, ноутбуков и аналогичных гаджетов, активно растущий спрос на эти устройства ощутило ускорили темпы разработки новых накопителей

энергии. В итоге ежегодный объем рынка мобильных устройств более чем в 20 раз выше по стоимости, чем стоимость ежегодно вводимых атомных электростанций. Очевидно, что мобильные накопители достигнут своего прогресса в разы быстрее, чем атомная энергетика.

Для наглядности это можно представить на следующем примере: Представим НТП в виде лестницы, каждая ступень которой означает свой объем работ, на практике характеризующийся количеством человеко-часов и размером финансирования для этого. Предположим, что для существенного прогресса в области атомной энергетики нужно сделать 3 шага, а для прогресса в области накопителей энергии 10 шагов.

Для иллюстрации вышеописанного положения на рис. 1 показано, что накопители пройдут свои 10 шагов прогресса быстрее, чем атомная энергетика совершит даже 2 шага.

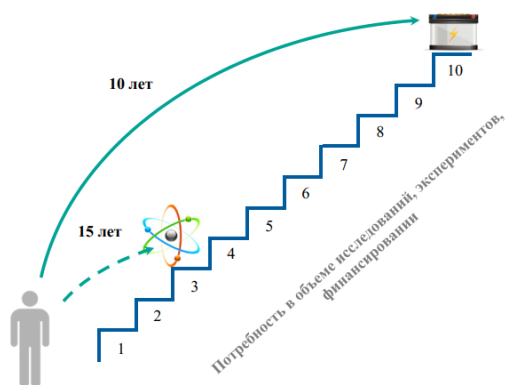


Рис. 1. Скорость разработки технологий под влиянием рыночных драйверов [12]

Схожими драйверами могут служить высказываемые мнения авторитетных представителей профессионального сообщества – деятелей науки, высокотехнологичной индустрии, организаторов ведущих мировых выставочных площадок и т.п. Они относятся к интуитивным методам (суждения, мнения), иными словами, к методу экспертных оценок. Такой метод применим, когда объект либо достаточно прост, и в этом случае математическая модель не требуется, либо он настолько сложен, что даже математическая или статистическая модель не могут быть применены, например, ввиду излишнего усложнения системы при попытке описать математически нематематические явления. Но при всей субъективности мнений профессионального сообщества и экспертов, нельзя не упомянуть о популярном методе Дельфи, разработанном в 50-60-х годах XX века в США и основанной на нем технологии прогнозирования Foresight, ориентированной не только на определение возможных альтернатив развития, но и на выбор наиболее предпочтительных из рассматриваемых [13]. Данные технологии широко используются для составления прогнозов научно-технологического развития как государства (например, в Японии каждые 5 лет проводится форсайт-сессии, в которой участвуют несколько тысяч экспертов из разных областей науки, бизнеса, правительственных органов), так и корпораций.

При усложнении системы или при появлении возможности математического описания применяются формализованные методы (математические модели): модели предметной области (например, энергетическая

отрасль в целом), модели временных рядов (анализ зависимостей внутри самого процесса).

Однако любой прогноз носит субъективный характер. Во многом, результат прогнозирования зависит от человеческого фактора, например, от научных или инструментальных предпочтений исследователя. Какими методами он пользуется, какие модели предпочитает применять, как он сочетает их использование в своих работах и т.д. На каждом этапе возникает погрешность точности: на этапе постановки цели и выбора поля исследования, на этапе рассмотрения качественных характеристик, при выборе методов и модели прогнозирования. Даже от квалификации привлеченных экспертов и состава программно-аппаратных средств, находящихся в распоряжении исследователей.

К счастью, это не влияет на определенность самого метода. Метод сам по себе не может быть неопределенным. Он метод: математический, статистический. Неопределенными выступают лишь исходные данные и, в ряде случаев, вероятность прогноза. В данном случае – экспертное мнение, обладающее низкой достоверностью ввиду субъективности и вообще ограниченных возможностей человеческого мозга.

Повышение точности прогноза в рамках функционирования системы мониторинга вопрос не принципиальный, интересует не точность прогноза, а корректность выявления сбоев, хотя это и взаимосвязанные вещи. Важно понимать, что точность прогнозирования, главным образом, есть характеристика временного ряда и для каждого временного ряда существует некоторый предел, точнее которого в среднем за период спрогнозировать нельзя. Не стоит пенять на математические модели и специалистов там, где задача не имеет решения: нельзя прогнозировать с нулевой ошибкой. [14]

В зависимости от преобладающей цели отдается предпочтение тому или иному методу.

ТАБЛИЦА I МЕТОДЫ И ЦЕЛИ

Назначение	Метод
При попытках предсказать состояние общества в целом, экономики, науки, техники в отдаленном будущем	Технологическое предвидение (Technology Foresight)
В процессе научного, интерактивного и коммуникативного содействия формирования общественного и политического мнения по социальным аспектам науки и технологий	Технологическое обоснование (Technology Assessment)
Обработанные определенным образом массивы данных для определения воздействия по наиболее важным и долгосрочным вопросам общества и бизнеса	Стратегическое информирование (Technology Intelligence)
В процессе прогнозирования перспектив изменений новых поколений технологий, изыскательское прогнозирование будущего перемещения технологий. В прогнозировании развития инновационно-ориентированной экономики.	Технологическое прогнозирование (Technology Forecasting)
При работе с крупными выборками, в преддверии предрыночного тестирования. Прогноз о реакции рынка.	Метод прогноза по суждениям потребителей
Процесс эксперимента по выводу новой продукции на ограниченный рынок. Сопровождается анализом временных рядов.	Метод предрыночного тестирования

Назначение	Метод
В процессе логического выстраивания прогноза на основе сложившейся ситуации в условиях временного ракурса. Требуется определения степени согласованности мнений по показателям.	Метод написания сценария или метод экспертных оценок
В процессе быстрого поиска решений с целью повышения степени объективности получаемого результата.	Метод Дельфи
Применяется в базовых условиях для прогнозирования программных и целевых перспектив. Также применим в целях среднесрочного и долгосрочного прогнозирования.	Нормативный метод

С. Каковы результаты анализа уровня спроса в определенных секторах отрасли?

Спрос на разрабатываемую технологию, как правило, полностью отсутствует. Или по причине её неизвестности, непонимания, где она может быть применена, или по причине её слишком высокой стоимости. Как, например, с фундаментальными исследованиями: существует запрос на получение информации о качественном прорыве, не подкрепленный значительным финансированием, поскольку данные исследования очень дороги и крайне неопределенны. Анализ статей в области прогнозирования развития энергетики показал запрос на прорывные технологии, обеспечивающие:

1. значительный рост энергоэффективности производственных систем и надежности электроснабжения, в частности, при строительстве объектов РГ вблизи крупных промышленных потребителей, при использовании интеллектуальных датчиков и приборов учета, повышение эффективности накопителей электроэнергии, применение литий-ионных накопителей на СЭС, суперконденсаторов, ванадиевых батарей;
2. снижение отходов производства, в частности, использование ПНГ и сырой нефти для электроснабжения объектов транспорта и нефтегазодобычи, комбинированную утилизацию нефтепродуктов, криогенную утилизацию, пиролиз отходов;
3. цифровизацию, в частности, развитие активных энергетических комплексов (АЭК), интеллектуальных месторождений, применение цифровых двойников, предиктивной аналитики, управление спросом, блокчейн и смарт-контракты;
4. электроснабжение удаленных территорий, в частности, создание транспортной и социальной инфраструктуры для освоения удаленных территорий, микрогенерации на ВИЭ, использование инновационных установок на СПГ (газовые гидраты), газомоторного топлива;
5. снижение высокой аварийности и травмоопасности работ, предотвращение отставания системы образования от отраслевых трендов, в частности, безопасности на производстве – подключенный персонал, подключенный и автоматизированный транспорт,

цифровые технологии в обучении – технологии погружения: XR, VR, AR;

6. потребность в новых технологиях и вложениях в НИОКР для увеличения эффективности технологических процессов, например, импортозамещение, ГТУ большой и средней мощности, разработку новых энергоэффективных технологии в энергетическом оборудовании, высокоплотных методов геологоразведочных работ, сейсморазведки, малотоннажных СПГ и КПП проектов, строительство новой генерации на парогазовых технологиях

Д. Какова динамика внедрения определенных технологий за последние 7–10 лет?

Инерционные прогнозы не всегда работают. Например, дизели. Они подошли в своей технологии к пределу своего развития. При этом, если мы посмотрим на предшествующие десятилетия, то дизели развивались семимильными шагами. Поэтому если говорить о необходимости найти способ повысить достоверность прогнозов, то инерционный метод представляется самым сомнительным. А с учетом экологических факторов главы энергетических компаний стали заявлять о закате дизельных двигателей. Разработка новых в условиях ужесточения экологических норм нецелесообразна» [15].

Но, как и во всех острых дискуссионных вопросах, на этот счет существует альтернативное мнение. Так, аналитики прогнозируют, что в ближайшие пять лет объем рынка дизелей вырастет почти до \$265 млрд. И это находит свое подтверждение в расчетах компании в компании *IMARC Group*. По их данным общий объем глобального рынка дизелей в 2020 году достиг \$207 млрд [15]. Авторы этой статьи планируют в ближайшем будущем провести сравнительный анализ методов, приведших к позитивному и негативному результатам прогнозирования. Возможно, это приоткроет очередную завесу тайны достоверности прогнозирования.

Е. Выявление стопоров развития технологий

Как и во всяком полноценном анализе, в научно-техническом прогнозировании нельзя рассматривать лишь положительные динамики. Субъективности ради необходимо помнить и о негативных факторах, тормозящих, препятствующих, а иногда и просто ставящих крест на технологии.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно-техническое прогнозирование подобно мозаике, складывается из множества составляющих, каждая из которых обладает своим уровнем неопределенности. Тщательный подход к выбору каждого элемента будет носить в целом синергетический эффект повышения достоверности прогноза: начиная с этапа определения гипотезы предстоящего исследования, в критериях выбора методологии научно-технологического прогнозирования, делая выбор в пользу того или иного подхода и метода.

Но во главе угла, как традиционный камень-указатель на развилке путей, можно поставить вопрос о том, что мы ожидаем от технологий: снижения рисков и угроз или адаптаций к меняющимся условиям? Самым ярким примером такого вопроса может стать тема декарбонизации: мы хотим технологии, позволяющие срочно сократить выбросы, продолжая адаптироваться к потеплению, которого мы не можем избежать из-за

выбросов прошлого, или нам нужны технологии, которые помогут нам готовиться к жизни на Земле, сильно отличающейся от хорошо знакомой нам ныне?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Harry D. Saunders and others. Energy Efficiency: What Has Research Delivered in the Last 40 Years? *Annu. Rev. Environ. Resour.* 2021.46:135-165
- [2] A. Sokolov, A. Chulok. Long-term forecast of scientific and technological development of Russia for the period up to 2030: key features and first results / *Russian Science and Technology Foresight - 2030: Key Features and First Results*. March 2012. *Foresight and STI Governance* 6(1):12-25
- [3] Pushpesh Pant and others. Technology foresight study on assistive technology for locomotor disability. *Technology and Disability* 29 (2018) 163–171
- [4] Gaetano Cascini. TRIZ-based Anticipatory Design of Future Products and Processes. *Transactions of the SDPS: Journal of Integrated Design and Process Science* 16 (3), 2012, 29-63
- [5] Jason Matheny. Forecasting Innovation. *Research-Technology Management*. November—December 2016
- [6] Chang-gul Park and others. Three-level filtering process for national R&D projects: the case of photovoltaic energy in Korea. *Innovation _ The European Journal of Social Science Research*. Vol. 23, No. 4, December 2010, 349_359
- [7] Шапкин В.И. Радио: открытие и изобретение. Москва: ДМК ПРЕСС, 2005. 190 с., 98 ил.
- [8] Журнал Русского физико-химического общества. Т. XXVII. Вып. 8. С. 259 – декабрь 1895.
- [9] Журнал «Радио» № 6 за 1990 год, стр. 78 <http://archive.radio.ru>. (дата обращения: 01/12/2021).
- [10] Белоусов Д.Р., Фролов И.Э. Долгосрочный научно-технологический прогноз. *Форсайт* № 3 (7) 2008
- [11] Fudenberg D, Tirole J, Gilbert R, Stiglitz J. Preemption, Leapfrogging, and Competition in Patent Races. *European Economic Review*. 1983 (22): 3-31
- [12] Расчеты ИНЭИ РАН <https://www.eriras.ru/data/4/rus> (дата обращения 01.12.2021).
- [13] Что такое Форсайт? Официальный сайт Форсайт-центра ВШЭ.. Электронный ресурс. Режим доступа. - <https://foresight.hse.ru/whatforesight>
- [14] Чучуева И.А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия: дис... канд. тех. наук / Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. Москва, 2012.
- [15] Журнал «За рулем». Volvo не видит смысла в разработке новых дизельных двигателей <https://www.zr.ru/content/news/906654-volvo-popolnila-ryady-dizelnoj> (дата обращения 01.12.2021)