

*Д.А. Смирнова, аспирант**Национальный Исследовательский Университет МЭИ, Москва (Россия)*

Ключевые слова: теплоэнергетика; тепловая электростанция; технологическая платформа; технологический потенциал; экономический потенциал; технологическое прогнозирование; технологическая траектория.

Аннотация: Данная статья посвящена вопросу разработки подхода к исследованию технологического и экономического потенциала технологической платформы в теплоэнергетике. Проводится структурный анализ теплоэнергетической отрасли, выделяются перспективные направления развития энергетических технологий, дается оценка их реализуемости в рамках проектов технологической платформы. Предлагается план проведения количественной оценки технико-экономического потенциала технологических нововведений.

ВВЕДЕНИЕ

Особенностью российской электроэнергетики является широкое применение комбинированной выработки электроэнергии и тепла и организация централизованного теплоснабжения от электростанций. Россия – холодная страна. На выработку тепла затрачивается около 400 млн. т условного топлива в год (более 40 % общего потребления всех видов топлива в стране). Тепло вырабатывается примерно на 500 тепловых электростанциях, включая теплоэлектроцентрали общего и промышленного назначения. Установленная мощность тепловых электростанций страны составляет около 145 ГВт, при этом годовая выработка электроэнергии превышает 600 млрд. кВт·ч, а отпуск тепла – 420 млн. Гкал. Общая мощность и объем вырабатываемой электроэнергии тепловых электростанций составляют около 70 % мощности и выработки всех электростанций России [1, 2].

Владельцы тепловых электростанций связывают свои потребности в новых технологиях с исчерпанием имеющихся мощностей физического ресурса и утратой по этой причине возможности их дальнейшей эксплуатации. Но фактически действующие ТЭС и их оборудование морально устарели (низкие КПД, на уровне 36–40 % по сравнению с мировыми показателями: 42–55 %, повышенный объем ремонтно-восстановительных работ, большая численность обслуживающего персонала, повышенные выбросы в окружающую среду).

Для коренного повышения эффективности тепловых электростанций важнейшее значение имеет вывод из эксплуатации старого низкоэкономичного оборудования и замена его перспективным, обеспечивающим существенное снижение затрат на производство электроэнергии и тепла, снижение расхода топлива и штатного коэффициента, уменьшение выбросов в окружающую среду и ремонтных затрат.

Для электростанций, использующих природный газ, это означает постепенный вывод из эксплуатации всех конденсационных паросиловых установок и замена их парогазовыми. При наличии в стране 35 ГВт конденсационных паровых мощностей, итогом такой замены будет экономия 12 млрд. куб. м. природного газа в год [1, 3].

На конденсационных угольных электростанциях целесообразно устанавливать крупные энергоблоки (600–900 МВт) с суперкритическими параметрами пара и КПД более 45 %, оснащенные необходимыми природоохранными системами. Удельные капитальные вложения в их строительство по оценкам должны соста-

вить на 20 % ниже, чем при использовании блоков мощностью 200 МВт [4].

Парогазовые электростанции целесообразно строить по унифицированным проектам, соответствующим современным стандартам. Для реализации таких проектов необходимо разработать новую нормативно-техническую базу, учитывающую эволюцию технологических решений в энергетике и энергомашиностроении.

Совершенствование угольных ТЭС будет заключаться в повышении КПД турбин и котлов, уменьшении выбросов в окружающую среду и снижении потерь.

Существенное повышение эффективности ТЭС возможно после промышленного освоения технологии комбинированного парогазового цикла с газификацией угля, сконструированные на ее основе парогазовые установки позволяют значительно повысить экономичность станции. Несмотря на имеющиеся технические трудности, необходимо продолжать развитие и освоение данной технологии.

В ближайшей и среднесрочной перспективе также необходимо рассматривать создание новых перспективных технологий отечественного производства. Для этого уже сейчас целесообразно проводить технико-экономическое обоснование таких решений, как создание гибридных энергоустановок на базе топливных элементов, угольных энергоблоков на суперсверхкритических параметрах пара, разрабатывать опытно-промышленные установки с выводом CO₂ из энергетического цикла и его захоронением [2].

В связи с потерей значительной части промышленного и научно-технического потенциала, задача технологического перевооружения отрасли крайне осложнена. Кроме того, не соблюдается баланс интересов энергетике и энергомашиностроения. Машиностроение, практически не получавшее в течение 20 лет заказов на новые энергетические объекты отечественного производства, находится в тяжелом положении. Для наращивания производственных мощностей на заводах-изготовителях энергооборудования необходимы долгосрочные соглашения энергетических компаний с предприятиями энергомашиностроения.

Отсутствие должных финансовых инструментов поддержки отечественного энергомашиностроения существенно снижает уровень конкурентоспособности заводов-изготовителей. Разница между ставками за пользование банковскими кредитами российских и зарубежных предприятий энергомашиностроения различаются в разы. Это приводит к тому, что начальная це-

на поставки оборудования у иностранных предприятий ниже. При этом следует отметить, что стоимость оборудования составляет 30–50 % общих затрат за его жизненный цикл [1, 3]. Искусственно занижая первоначальную цену, иностранные предприятия формируют свою прибыль за счет сервисных услуг при дальнейшей эксплуатации оборудования, а отечественный опыт изготовления и эксплуатации энергооборудования постепенно замещается иностранным.

При создании и вводе в эксплуатацию новых мощностей необходимо придерживаться энергетической стратегии развития страны, постепенно реализуя переход от преимущественного использования природного газа к существенному использованию твердого топлива. В настоящее время ежегодный ввод мощностей для электростанций не превышает 2 ГВт/год, согласно энергетической стратегии к 2020 г. он должен составить 10–12 ГВт в год [2]. Для этого производственные мощности отечественных предприятий энергомашиностроения должны достичь 14–15 ГВт.

Наличие вышеперечисленных проблем и крупных задач общественной значимости, стоящих перед отраслью, необходимость государственного регулирования и обеспечения целевой финансовой поддержки развития теплоэнергетических технологий и создания реализующего их оборудования, привело к формированию в отрасли технологической платформы, позволяющей интенсифицировать сотрудничество энергомашиностроительных предприятий с энергетическими компаниями, финансовыми институтами, научными и инжиниринговыми центрами.

АНАЛИЗ ПРОЕКТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Технологическая платформа представляет собой инструмент государственной инновационной политики, направленный на активизацию усилий по созданию перспективных коммерческих технологий, новых продуктов, на привлечение ресурсов для проведения исследований и разработок на основе участия промышленного бизнеса, науки и государства, совершенствование нормативно-правовой базы в области инновационного развития отрасли [5].

Реализация технологической платформы предусматривает разработку стратегической программы исследований, программы внедрения и распространения результатов исследований среди предприятий отрасли. В рамках технологической платформы определяется перечень крупных НИОКР, представляющих существенное значение для развития отрасли, с целью осуществления целевой государственной поддержки, уточняются программы инновационного развития ведущих предприятий отрасли, функционирующих с государственным участием [2, 5].

Обобщенная организационная структура российских технологических платформ приведена на рисунке 1.

В России на данный момент функционирует 34 технологических платформы по 13 направлениям, в том числе 4 технологических платформы по направлению «Энергетика»: Интеллектуальная энергетическая система России; Перспективные технологии возобновляемой энергетики; Малая распределенная энергетика; Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности.

Созданная в 2011 году технологическая платформа «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности» направлена на ликвидацию наметившегося в течение последних 20 лет отставания теплоэнергетической отрасли в разработке и освоении высокоэффективных технологий и оборудования для производства электроэнергии и тепла из органических топлив. Она включает в себя перечень ключевых технологий, которые, по мнению участников платформы, определяют развитие отраслевого хозяйства в среднесрочной перспективе. Анализ данных технологий приведен в таблице 1.



Рис. 1. Обобщенная организационная схема российских технологических платформ

Как видно из приведенного анализа ряд технологий, лежащих в основе технологической платформы, на данном этапе технологического и экономического развития отрасли не подлежат коммерциализации и распространению среди энергетических предприятий в ближайшей и среднесрочной перспективе или имеет серьезные ограничения к практическому использованию. Несмотря на то, что отбор технологий в технологическую платформу осуществляет научно-технический совет, состоящий из ведущих специалистов по приоритетным отраслевым направлениям, используемые подходы к анализу проектов достаточно субъективны, основаны на экспертных методах и имеют качественные оценки. Необходимо разработать количественные методики отбора технологий на основе анализа их технологического и экономического потенциала, позволяющие повысить точность стратегического управления технологическими нововведениями в рамках технологической платформы в теплоэнергетике. Для решения данной задачи предлагается применять методы технологического прогнозирования.

РАЗРАБОТКА ПОДХОДА К КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕХНОЛОГИЙ ПЛАТФОРМЫ

Технико-экономическая оценка технологии с целью выявления коммерческого потенциала невозможна без понимания эволюции соответствующей технологии и продуктов на ее основе во времени и прогнозирования их новых параметров качества. Считается, что эволюционный процесс не носит случайного характера, а развивается по определенной зависимости, получившей название технологической траектории. Следовательно,

Таблица 1. Анализ технологий технологической платформы «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности»

Технология	Краткое описание технологии	Анализ реализуемости
Отечественные ГТУ и ПГУ на их основе единичной мощностью до 1000 МВт с КПД до 60 % и перспективные технологии с использованием топливных элементов, обеспечивающие КПД до 70 %	Разработка следующего поколения энергетических ГТУ на общей технологической базе с авиадвигателями следующего поколения: единичные мощности около 350–400 МВт при начальной температуре газов выше 1600 °С, а КПД парогазовых установок с ними – выше 60 %.	Создание газовых турбин с такими показателями на основе имеющихся в стране опыта и знаний невозможно. Требуется проведение фундаментальных исследований процессов газодинамики, теплообмена и горения, совершенствование материалов и покрытий, разработка и испытание новых конструкций и компонентов.
Угольные блоки на сверхкритические параметры пара единичной мощностью 330÷660÷800 МВт с КПД 44÷46 %, перспективные технологии на ультрасверхкритические параметры пара и угольные ТЭЦ нового поколения единичной мощностью 100÷200÷300 МВт с использованием различных технологий сжигания топлив	Угольный блок мощностью 600÷800 МВт на сверхкритических параметрах пара	В СССР было выпущено около половины мирового парка энергоблоков на стандартные сверхкритические параметры пара, созданы и длительно эксплуатировались уникальные опытно-промышленные установки на сверхкритические параметры пара. Полученные при этом знания и опыт создают возможность реализации технологии.
	Разработка и освоение в эксплуатации угольных ТЭЦ нового поколения с разными технологиями сжигания и газификацией углей	Необходима консолидация усилий энергокомпаний, производителей энергетического оборудования, угледобывающих компаний, научно-исследовательских институтов при серьезной финансовой поддержке государства.
	Угольный энергоблок на ультрасверхкритические параметры пара	Для элементов с температурой наружной стенки ~ 700 °С существуют разработанные материалы. Для элементов с более высокими температурами стенок сплавы необходимо создавать.
Производство электроэнергии и тепла с использованием ПГУ с внутрицикловой газификацией твердого топлива единичной мощностью 200–400 МВт с КПД до 50 % и перспективные технологии с использованием топливных элементов, обеспечивающих КПД до 60 %	Система интегрирования в энергетический цикл газификации угля и глубокой очистки полученного с помощью газификации искусственного газа перед сжиганием в ГТУ, что позволит создать более мощные и экономичные ГТУ и ПГУ на их основе.	С учетом технико-экономических ограничений (размеры площадок, выдача мощности, угольные склады и т.д.) не на всех ТЭЦ удастся реализовать ПГУ с газификацией топлива. К моменту окончания отработки технологии на опытно-промышленной установке (ориентировочно после 2015 г.) в стране могут появиться более совершенные ГТУ с более высокими показателями.
Технологии экологически чистого использования твердого топлива и газоочистки, обеспечивающие близкие к нулевым выбросы SO ₂ , NO _x , золы, частиц и других ингредиентов, включая улавливание из цикла, компримирование и последующее захоронение CO ₂	Разработка комбинированного золоуловителя для крупных пылеугольных блоков.	Введение в ближайшее время технологических нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ потребует от энергопредприятий доведения экологических показателей оборудования до уровня, принятого законодательно в странах ЕС: зола – 30 мг/м ³ ; NO _x – 200 мг/м ³ ; SO ₂ – 200 мг/м ³ . В России на сегодняшний день отсутствуют технические решения по золоулавливающей установке для мощных энергоблоков, позволяющей очищать до 99,95 % и более продукты сгорания углей. Особенно сложно улавливание наиболее вредных частиц, размером менее 10 мкм.
	Технология двухступенчатого некаталитического восстановления оксидов азота.	
	Аммиачно-сульфатная сероочистка	
	Технологии улавливания из цикла и захоронения CO ₂ .	

Модульные теплофикационные парогазовые установки единичной мощностью 100 и 170 МВт для строительства новых и реконструкции действующих ТЭЦ и перспективные технологические комплексы на их основе	Модульные теплофикационные парогазовые установки единичной мощностью 100 и 170 МВт для строительства новых и реконструкции действующих ТЭЦ	Наиболее сложной и масштабной представляется задача реконструкции и перевода на ПГУ оборудования ТЭЦ, использующих природный газ. Столь же масштабной является проблема наращивания когенерации. Масштаб этих проблем и временные рамки их решения требуют обеспечения высоких темпов реконструкции действующих и строительства новых ТЭЦ при экономии капиталовложений, высокой надежности и экономической эффективности оборудования, минимизации эксплуатационных затрат.
	Перспективные технологические комплексы на основе теплофикационных ПГУ-170 и ПГУ-100 с применением теплонасосных установок, обеспечивающие коэффициент использования тепла топлива, близкий к 95–98 % с учётом использования источников низкопотенциального тепла	При всех позитивных качествах тепловых насосов их применение оказывается экономически целесообразным лишь при больших значениях коэффициента преобразования, которые достижимы при сравнительно малых разностях температур кипения и конденсации хладагентов. Для их эффективного использования в России необходимы отопительные системы, позволяющие снижать температуру теплоносителя, увеличивать поверхность конвекторов и коэффициент теплоотдачи, применять воздушное отопление.

возможно по исходным посылкам для технологической инновации определить технологическую траекторию и путем экстраполяции получить оценку ее текущего технологического уровня и прогнозные оценки ее развития. Такой подход к прогнозированию называется технологическим прогнозированием [6].

Сложность технологического прогнозирования заключается в анализе и выборе достоверной модели технологической траектории. При этом необходимо учитывать, что технология развивается в изменчивых условиях рыночной экономики. Важно, чтобы к моменту завершения инновационного проекта цель внедрения технологии оставалась по-прежнему актуальной, а достигнутые технологические параметры обеспечивали конкурентное преимущество предприятия.

Оценка технологического потенциала технологии базируется на анализе ее технологического предела, т.е. достижении предельных значений функциональных параметров. Величину предельных значений определяют используемые технические принципы, лежащие в основе инновации, они являются лимитирующими механизмами. Каждая последующая модернизация технологии уменьшает возможности ее дальнейшего усовершенствования. Процесс осуществления последовательных инноваций представляет собой процесс раскрытия, реализации и исчерпания технологического потенциала технологии. Исчерпание технологического потенциала свидетельствует о необходимости разработки новой радикальной технологии.

Количественную оценку технологического потенциала можно получить путем анализа отношения между достигнутым и максимально достижимым (на базе

существующего технического принципа) значениями функциональных параметров технологии.

В свою очередь экономический потенциал технологии можно определить с помощью анализа соотношения затрат с результатами на основе прогнозных оценок изменения прибыли, объема продаж, экономии издержек. Сопоставление ожидаемых результатов с затратами по каждой технологии возможно рассматривать в качестве центрального звена при отборе проектов в технологическую платформу.

Исследования, проведенные американскими экономистами Р. Фостером и Д. Сахалом [7] на базе обширного статистического материала показали, что технологическая траектория, описывающая зависимость результатов инновационной деятельности от затрат на нее принимает форму S-образной кривой, возрастание которой ограничено технологическим пределом (рис. 2).

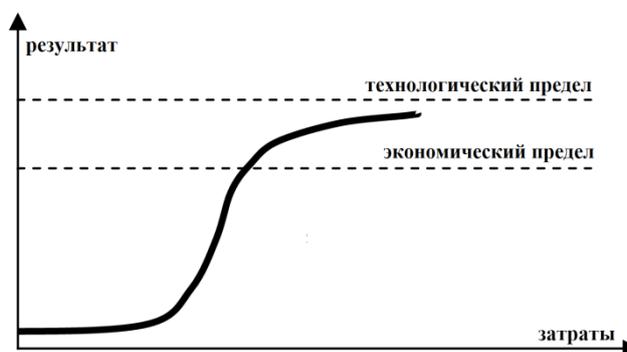


Рис. 2. Траектория эволюции технологии

Согласно данной интерпретации технологическая траектория отражает жизненный цикл радикальной технологии, потенциал которой реализуется через цепь последовательных модернизаций.

Радикальной технологии присущ довольно длительный период освоения, в ходе которого необходимо разработать рыночную стратегию, создать производственную базу, провести дополнительные НИОКР. Все это влечет значительные затраты при небольшом росте полезного эффекта. Затем, по мере накопления необходимых знаний и опыта, наступает период быстрого роста результатов в сравнении с затратами. Этот этап получил название зоны предельной отдачи. Накопленный опыт оказывает кумулятивное воздействие на эффективность каждого следующего нововведения, в результате чего инновационная деятельность ускоряется. Последующее быстрое снижение предельной отдачи обусловлено тем, что базовая технологическая концепция приближается к своему пределу: ее технологический и экономический потенциалы на этом этапе уже почти исчерпаны. Это означает, что каждая следующая эволюционная инновация оказывается все более дорогостоящей и вместе с тем менее результативной [7].

Аналитически технологическая траектория может быть описана различными видами функций (в зависимости от ее крутизны, положения точек перегиба и т.д.). Наиболее удобной для анализа является функция Гомперца:

$$y(x) = ke^{-e^{a-bx}}$$

где x – затраты на инновационную деятельность; y – результат инновационной деятельности (например, достигнутый технический уровень); k – технологический предел, $\lim_{x \rightarrow \infty} y(x) = k$; отношение параметров a и b определяет точку максимальной технологической эффективности нововведения.

Анализ научной литературы показывает, что проблема технологического прогнозирования еще далека от своего решения. В настоящее время в практике прогнозирования используют различные методы, что объясняется продолжающимся развитием теории в связи с изменяющимися экономическими условиями и расширением возможностей исследователей. Наиболее популярные на сегодняшний день эволюционные методы прогнозирования имеют ряд существенных недостатков, связанных с проведением анализа и обоснованием выбранной модели технологической траектории, ввиду того, что необходимо учитывать, что технология развивается за счет изменчивого рынка, а одной из главных ее движущих сил являются инвестиции.

При организации технологического прогнозирования модернизации оборудования и освоения новых технологий в теплоэнергетике необходимо учитывать ряд особенностей энергомашиностроения [4]: 1) высокая стоимость и длительность циклов разработки продукции, 2) высокая фондоемкость, 3) длительные циклы окупаемости инвестиционных проектов, 4) медленно протекающие технологические изменения, 5) достаточно малые себестоимости производства.

Для построения прогнозной модели необходимо использовать комплексные модели технологического прогнозирования с учетом изменений в долгосрочном периоде (параметрические модели прогнозирования стоимости и технологического развития).

В итоге можно составить следующий план проведения исследования технико-экономического потенциала технологической платформы «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности»:

1. Проведение исследования экономической, социальной, технологической и политической сред технологической платформы и построение факторной модели.
 2. Проведение анализа взаимных воздействий параметров сред, определение тесноты связи между технологическими и экономическими факторами.
 3. Построение траекторий роста технологий, входящих в технологическую платформу.
 4. Проведение анализа и выбор сценариев роста технологий в зависимости от динамики изменения параметров влияния сред.
 5. Проведение анализа чувствительности технологических траекторий к изменению параметров влияния сред.
 6. Исследование составленных технологических траекторий на наличие «разрывов».
 7. С помощью методов технологического прогнозирования получение оценки технологических пределов технологий платформы.
 8. Оценка технологического потенциала технологии на основании данных о текущем состоянии технологии и полученной оценки технологического предела.
 9. Разработка агрегативного метода оценки технологического потенциала технологической платформы на основе анализа портфеля проектов.
 10. Анализ экономического предела технологии на основе лимитирующих механизмов внешней и внутренней среды.
 11. Исследование и разработка подходов к анализу экономического предела технологии в зависимости от уровня технологического предела.
 12. С помощью методов технологического прогнозирования получение оценки экономических пределов технологий платформы.
 13. Оценка экономического потенциала технологии на основании данных о текущих экономических параметрах и полученной комплексной оценки экономического предела.
 14. Разработка агрегативного метода оценки экономического потенциала технологической платформы.
- Полученная количественная оценка технико-экономического потенциала технологической платформы позволит сформировать предложения по отбору проектов в технологическую платформу «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности» и повысить эффективность стратегического управления инновационной деятельностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный подход к исследованию технико-экономического потенциала технологий позволит расширить теоретические знания в области стратегического управления на основе концепции технологической платформы в энергетике с применением ме-

тодов технологического прогнозирования, а также сформировать:

1. Новые научные знания о траекториях роста перспективных технологий в теплоэнергетике, их чувствительности к изменению параметров влияния окружения.
2. Усовершенствовать методику получения оценки технологических пределов технологий в энергетике.
3. Новый метод оценки технологического потенциала технологии на основе данных о текущем уровне технологии и оценке технологического предела.
4. Усовершенствовать методику получения оценки экономических пределов технологий в энергетике.
5. Новый метод оценки экономического потенциала технологии на основе данных о текущих экономических параметрах и комплексной оценке экономического предела.
6. Новую методику стратегического управления технологическими нововведениями на основе концепции технологической платформы и последних достижений в области технологического прогнозирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологическая платформа «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности». – М., 2010. – 105 с.
2. Стратегическая программа исследований технологической платформы «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности». – М., 2012. – 23 с.
3. Konova O., Komarov I., Lisin E. The relevance of power generating capacities based on the combined cycle power plants of high power // Czech Journal of Social Sciences, Business and Economics. 2012. Т. 1. № 1. С. 101–110.
4. Lykova O., Lisin E., Kocherova A. Analysis of the major preconditions of coal-hybrid power plants construction as a perspective direction of high efficiency heat-power engineering development // Czech Journal of Social Sciences, Business and Economics. 2012. Т. 1. № 1. С. 92–101.
5. Злышко О.В., Лисин Е.М. Анализ отечественного опыта применения концепта технологической платформы как механизма инновационного развития национальной экономики // Управление инновациями: теория, методология, практика. 2012. № 2. С. 36–42.
6. Твисс Б. Управление научно-техническими нововведениями. – М.: Экономика, 2000. – 119 с.
7. Сахал Д. Технический прогресс: концепции, модели, оценки. – СПб.: Финансы и стабильность, 1998. – 367 с.

DEVELOPMENT APPROACH TO THE STUDY OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC POTENTIAL OF THE TECHNOLOGY PLATFORM IN HEAT POWER ENGINEERING

© 2014

D.A. Smirnova, Ph.D. student
NRU «Moscow Power Engineering Institute», Moscow (Russia)

Keywords: heat power engineering; thermal power plant; technological platform; technological potential; economic potential; technological forecasting; technological trajectory.

Annotation: This article is devoted to the development of an approach to the study of the technological and economic potential of the technological platform in heat power engineering. A structural analysis of thermal power industry is performed, promising areas of energy technologies and assesses their feasibility projects technology platform are highlighted. Plan is proposed to quantify the technical and economic potential of technological innovation.