

УДК 338.2
ББК 65.9(2Р)0-55
Ф 79

Ф 79 **Формирование инновационной экономики:** концептуальные основы, методы и модели / Под ред. В.И. Суслова, Н.А. Кравченко; ИЭОПП СО РАН. Новосибирск: Автограф, 2014. 346 с.
ISBN 978-5-9905592-7-1

Монография охватывает широкий спектр вопросов, посвященных исследованию проблем инновационного развития на международном, национальном, региональном и отраслевом уровнях. Рассматриваются вопросы развития теории инноваций, а также методологические и методические возможности использования экономико-математического моделирования в исследованиях инновационной экономики. Продемонстрировано развитие методического инструментария оценки инновационного развития на региональном уровне, а также отражены результаты его использования применительно к регионам России. Представлен методический подход, направленный на оценку возможностей инновационной индустриализации России и Сибири с помощью технологического форсайта отдельных отраслей промышленности.

Монография предназначена для исследователей и участников инновационной деятельности, преподавателей, аспирантов и студентов, специализирующихся на изучении проблем инновационного развития.

Программа Президиума РАН № 34
Прогноз инновационной индустриализации экономики России

Авторы: А.О. Баранов, Г.В. Бобылев, О.В. Валиева, Ю.П. Воронов, Н.В. Горбачева, М.А. Канева, Н.А. Кравченко, А.В. Кузнецов, Б.Л. Лавровский, А.С. Мишина, Д.О. Неустроев, И.В. Позднякова, А.И. Попельюх, В.И. Суслов, Г.А. Унтура, А.А. Федоров, С.Р. Халимова

УДК 338.2
ББК 65.9(2Р)0-55

ISBN 978-5-9905592-7-1

© Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, 2014 г.
© Коллектив авторов

ГЛАВА 4.

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ОТДЕЛЬНЫХ ОТРАСЛЕЙ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ

4.1. Научные основы программ модернизации промышленности России

Модернизация ряда отраслей промышленности является актуальной для развития экономики Сибири и России. Если мы говорим о научных основах программ модернизации, то, по нашему мнению, целесообразно определиться и последовательно раскрыть их.

4.1.1. Ключевые (основные) понятия теории модернизации

В приводимом далее анализе ряда теорий и определений понятия «модернизации» мы пытались рассматривать их с точки зрения проблемы задания технологических ориентиров при разработке программ модернизации экономики.

Модернизация в экономическом плане подразумевает, что каждая развивающаяся страна хотела бы стать развитой, однако за последние семьдесят лет это удалось совсем немногим [Стратегия..., 2010]. Соответственно на первый план выходят как ориентиры развития или что считать таковыми, так и механизмы их достижения.

В работе «Концептуальные основы модернизации экономики регионов» [Полякова, 2009] приведена следующая (рис. 4.1) классификация термина модернизация в различных источниках.

В данной систематизации нас интересует не общественно-историческая составляющая термина, а его часть, связанная с приданием объекту современного облика и его изменением в соответствии с новейшими требованиями и нормами. Возникает вопрос, а что считать таковыми? Те нормы, которые существуют сейчас, или нормы, которые возникнут в будущем с учетом времени, необходимого на проведение модернизационных программ.



Рис. 4.1. Определение термина модернизация в различных источниках.

Источник: [Полякова, 2009]

Структурно-функциональный и категориальный анализ модернизации [Коврыжко, 2010] позволил выделить ряд ее сущностных черт:

- экономическая модернизация представляет собой масштабный процесс технологического, институционального и инновационного обновления экономики;
- модернизации всегда начинаются как «догоняющие», так как в их основе лежит осознание отставания от конкурентов, а главной задачей отстающей страны является достижение уровня стран развитых, на основе уже имеющихся технологий, а не выработка новых, которая в таких условиях менее эффективна и более затратна;
- модернизация — это масштабный процесс осознанного и тонкого встраивания страны в мировое хозяйство, в основе которого лежит преодоление сырьевой или сельскохозяйственной модели и становление государства как равноправного и конкурентоспособного участника глобальной индустриальной экономики.

Для нас наиболее интересна модернизация как «догоняющий» процесс, поскольку анализ ряда программ гражданского сектора, направленных на инновационное развитие и модернизацию экономики, реализуемых в России в 2013–2014 гг. [Портал, 2014], показывает, что они частично носят именно догоняющий характер.

При этом идея встраивания в мировое хозяйство является актуальной. Во-первых, достижение уровня конкурентов, как правило, происходит за счет заимствования технологий. Во-вторых, уровень данных технологий, в идеале, должен позволять производить продукцию, конкурентоспособную глобально, поскольку ориентируясь даже на локальный рынок, производители испытывают давление транснациональных корпораций, поставляющих конкурирующую продукцию.

В работе «История одного падения» [Дерлугьян, Валлерстайн, 2011] отмечается, что в рамках догоняющей модели модернизации, как правило, «применяются актуальные иностранные технологии и организационные модели».

Такой тип модернизации индуцируется более высоким уровнем развития других стран, и ее основным механизмом являются имитационные процессы. Данный тип модернизации может осуществляться за счет привлечения иностранных инвестиций, обучения кадров за рубежом, приглашения специалистов, копирования организационных форм и заимствования технологий.

В работе «Системная модернизация российской экономики» предлагается следующее определение «Модернизация (в собственном смысле слова) — это не просто улучшение, развитие, а обновление, “осовременивание” данного объекта или процесса, т. е. трансформация его в целях придания черт, присущих более продвинутым аналогичным объектам или процессам. В этом смысле модернизация находится в русле идеологии бенчмаркинга — сравнения с другими объектами, в том числе, с объектами-лидерами в данной сфере и заимствованием их наиболее прогрессивных черт. Иными словами, модернизация подразумевает внедрение наиболее современных в том или ином аспекте достижений (“лучших практик”), относящихся к другим, сходным с данным, объектам» [Клейнер, 2011].

Далее Г.Б. Клейнер подчеркивает, что такое понимание модернизации подразумевает как наличие множества аналогичных данному объектов, так и наличие «стрелы прогресса» — признаков, позволяющих упорядочивать множество объектов-аналогов по степени прогрессивности тех или иных характеристик.

В приведенном выше определении для нас важно, что объект приводится в соответствие новым требованиям или нормам.

При разработке программ модернизации, таким образом, возникает задача выбора более продвинутых аналогичных объектов или процессов

и, соответственно, необходимость обоснования и определения критериев, на основании которых выбираются объекты-лидеры.

С применением предлагаемого в следующем разделе методического подхода к формированию отраслевых программ технологической модернизации, по сути, прогнозируются критерии выбора объектов-лидеров, служащих ориентирами модернизации, и определяются технологические параметры «стрелы прогресса».

В дальнейшем это позволяет подойти к вопросу разработки дорожных карт, направленных на достижение полученных в рамках прогноза технологических параметров, и разработке на этой основе программ модернизации.

Что касается теорий модернизации, то их существует достаточно много и в работе [Полякова, 2009], например, теории модернизации экономики регионов систематизированы следующим образом (рис. 4.2).

Методические вопросы разработки программ модернизации, рассматриваемые далее в работе, носят, как правило, выраженный отраслевой характер, поэтому для нас в приведенной выше классификации интересно наличие теорий, направленных на отраслевые и промышленные аспекты региональной модернизации.

Важно также более подробно определиться с соотношением модернизации и широко продекларированного в России перехода на инновационный путь развития, под которым понимается переход к интеллектуальному труду, создающему новое, ранее не существовавшее [Ливанов, Рогачев, 2010].



Рис. 4.2. Классификация теорий модернизации экономики региона

В разделе 1 В.И. Сусловым было отмечено, что применение инноваций и модернизация — это две стороны одного и того же процесса, в рамках которого инновации направлены на внедрение нового, а модернизация — на замену старого.

По нашему мнению, главным из направлений перехода при сложившейся в России к 2014 г. ситуации является создание новых бизнесов на основе современных наукоемких технологий. Этим занимаются институты развития, РВК, ГК «Роснано», инновационный центр «Сколково», ряд министерств, например Минкомсвязи, Минэкономразвития, и другие, поддерживая создание соответствующего спектра инновационной инфраструктуры.

Данные усилия должны, по идеи, привести к созданию новых производств, выпускающих новую или улучшенную продукцию, которая конкурентоспособна как на внутреннем, так и на внешнем рынке, и увеличению доли инновационного сегмента экономики в структуре ВВП России.

Объектом модернизации являются реальные, уже существующие предприятия и отрасли экономики, основное технологическое оборудование в которых, как правило, морально и физически устарело и нуждается в обновлении. Предприятия таких отраслей, например машиностроения, производят продукцию, которая большей частью ориентирована на внутренний рынок.

Модернизация промышленности России, по нашему мнению, в основном основывается на заимствовании технологий, уже применяемых в экономически развитых странах. В данную группу Международный валютный фонд включает все страны G7, все страны еврозоны, а также ряд других стран [Advanced, 2013]. Причем, как правило, на практике предприятия модернизируются технологическими линиями, которые уже какое-то время работали на зарубежных предприятиях, т. е. являются бывшими в употреблении.

Технологии и продукты, разрабатываемые и производимые в России, выступают в процессе модернизации, как правило, в роли поддерживающих и дополнительных. Данный тезис, естественно, нуждается в обосновании. Вопрос о соотношении российских и зарубежных технологий при разработке и осуществлении программ модернизации промышленности — предмет дальнейших исследований.

Определение научных основ программ модернизации. На основе проведенного анализа мы можем предложить следующее определение содержания научных основ программ модернизации.

Научные основы программ модернизации — российские и зарубежные теории модернизации экономики на региональном и федеральном уровнях, отраслевые концепции, прогнозы уровня технологических процессов ряда отраслей в России и за рубежом, в том числе разработанные с применением метода форсайт.

Нормативно-правовая база, служащая ориентиром при разработке конкретных программ модернизации, является методической основой при их разработке. Фактическая разработка программ опирается на соответствующую нормативно-правовую базу — совокупность норм права, содержащихся в нормативно-правовых актах: законы РФ, указы президента РФ, постановления Правительства РФ, нормативные акты министерств и ведомств.

Мы считаем, существующая нормативно-правовая база явно или неявно включает в себя основные концепции и теоретические подходы к модернизации экономики, поскольку разработчики нормативно-правовой базы неявно учитывали основные тренды и представления об актуальных подходах к модернизации экономики.

Обоснование применения форсайта при разработке методического подхода к формированию отраслевых программ технологической модернизации. Формирование отраслевых программ технологической модернизации, по нашему мнению, подразумевает оценку текущего уровня технологического развития отрасли и определение технологических ориентиров модернизации.

Применение количественных методов для технологического прогнозирования в условиях высокого уровня технологической и рыночной неопределенности, как правило, связано с высокой инструментальной сложностью.

В таких условиях хорошо работает метод форсайт, который применяется для формирования образов будущего в сфере технологий, разработки дорожных карт и обоснования стратегий развития.

Преимущества метода форсайт:

- форсайт включает в себя традиционные и новые экспертные методы;
- применяемые методы постоянно совершенствуются, что обеспечивает обоснованность предвидения социально-экономического развития;
- в рамках конкретного форсайт-проекта обычно применяется комбинация методов;
- форсайт позволяет привлекать экспертов самой высокой квалификации и обеспечивать их высокую активность и взаимодействие;

- в процессе проведения форсайт-исследований формируются неформальные взаимодействия между участниками, что способствует обсуждению общих проблем.

Таким образом, мы считаем, что форсайт целесообразно применить для определения будущего технологического уровня развития отраслей и разработки программ технологической модернизации.

4.1.2. Методический подход к формированию отраслевых программ технологической модернизации с применением элементов форсайта

Предлагаемый методический подход отражает существующие аналитические блоки формирования программ модернизации. Однако включение элементов форсайта (технологический форсайт, дорожные карты) позволяет выявить новые направления достижения целей технологической модернизации отрасли.

Форсайт (foresight) — «процесс, связанный с систематическими попытками заглянуть в долгосрочные перспективы развития науки, технологий, экономики и общества в целом с целью выявления сфер стратегических исследований и развивающихся фундаментальных технологических решений, обладающих наибольшими экономическими и общественными выгодами» [The Unido, 2005]. Технологический форсайт применяется для узкоспециализированных целей прогнозирования уровня технологического развития в конкретной отрасли или предприятии без учета социально-экономических, политических трендов и ценностных установок в обществе.

В международной практике проведения форсайта применяются следующие методики, каждая из которых предполагает использование различных методов:

- Критические технологии (Critical or key technologies).
- Метод Дельфи (Delphi).
- Метод сценариев (Scenario building).
- Мозговой штурм (Brainstorming).
- Дорожные карты (Roadmapping).

Метод построения дорожных карт для целей технологической модернизации предприятия или отрасли за последнее десятилетие получил широкое распространение [Geum, Park, 2013]. Основной целью разработки дорожной карты является определение возможных направлений технологического развития отрасли, описание необходимых для реализации данных направлений действий со стороны различных заинтересованных сторон.



Рис. 4.3. Методический подход к разработке отраслевых программ технологической модернизации с применением метода форсайта

* Регион — субъект федерации, федеральный округ, макрорегион или географический регион, в котором осуществляется форсайт-проект, например, в случае приводимых далее примеров применения элементов данного методического подхода (перспективы развития машиностроения в Сибири) в качестве региона выступала Сибирь и, соответственно, прогноз осуществлялся по структуре Россия—Мир—Сибирь

На рис. 4.3 приведена укрупненная общая последовательность разработки программы модернизации предприятия или отрасли с применением форсайта.

Далее последовательно рассмотрим содержание основных блоков схемы, приведенной выше на рисунке 4.3.

Анализ положения дел в отрасли. Инициаторы разработки программы модернизации, как правило, имеют неформализованное обоснование необходимости разработки программы для конкретной отрасли. Такое

представление обычно складывается из системы рабочих контактов на основе взаимодействия с представителями индустрии и органов власти.

Тем не менее, на первом этапе целесообразно разработать на основе углубленного анализа формализованное обоснование выбора отрасли для технологического прогноза и создания на его основе программы модернизации.

На данной стадии формируется общее понимание актуальных проблем и текущего технологического состояния отрасли.

Целесообразность разработки отраслевой программы модернизации можно оценить по ряду критериев, в основе которых могут быть [Бобылев, Попельюх, 2011]:

- наличие действующих производственных предприятий определенного профиля, имеющих в настоящее время развитую инфраструктуру, научную и производственную базу, квалифицированных специалистов и сформировавшиеся рынки сбыта;
- наличие близко расположенной сырьевой базы при производстве материальноемких видов продукции;
- наличие большого количества потенциальных потребителей продукции;
- возможность разработки и внедрения новых образцов продукции и технологий на базе современных разработок научных центров.

Таким образом, на основе оценки и углубленного анализа приведенных выше критериев делается предварительный вывод о целесообразности разработки программы модернизации для конкретной отрасли или отсутствии таковой.

В случае положительного вывода далее проводится предварительная экспертная оценка перспектив развития ряда технологических процессов на предприятиях и за рубежом, привязанная к определенному временному горизонту. Выявляется соответствие основных применяемых технологических процессов уровню ведущих зарубежных стран. Изучаются основные задачи, стоящие перед предприятиями, их конкурентные преимущества и возможные конкуренты, а также приоритетные направления инвестиционной политики, которые целесообразно реализовать.

Основным итоговым критерием выбора отрасли является наличие стратегических конкурентных преимуществ в России и мире.

Особенностью предлагаемого алгоритма является возможность, на основании результатов, полученных на текущей стадии, осуществить возврат на предыдущую стадию. Так в том случае, если в результате анализа перспектив развития ряда отраслей выяснится, что перспективы

некоторых из них не удовлетворяют критерию наличия стратегических конкурентных преимуществ в России и мире, то предусматривается возврат на первую стадию и уточнение списка отраслей — претендентов для разработки программы.

Технологический форсайт. Данный аналитический блок содержит ряд специализированных процедур, которые могут быть представлены в виде последовательности этапов (рис. 4.4). Основной задачей техноло-



Рис. 4.4. Организационная схема проведения технологического форсайта.

Источник: [Суслов и др., 2011]

гического форсайта является оценка текущего уровня и прогноз параметров технологических процессов в России и Мире к определенному временному горизонту, например, к 2020 или 2025 году.

Далее приведем последовательное описание реализации стадии технологического прогноза с применением технологии форсайт.

На *первом этапе* осуществляются подготовка информационно-аналитического материала для выявления ключевых проблем отрасли и выработка видения перспектив технологического развития. Для выявления технологических ниш, которые в будущем могут обеспечить прорыв в эффективности, проводится анализ прогнозов, представленных авторитетными организациями в области технологического форсайта. Данный анализ позволяет выявить мейнстрим технологического развития угольной генерации в мире.

На *втором этапе* формируется пул экспертов из числа ведущих специалистов-практиков, управленцев, принимающих стратегические решения в отрасли, и ученых, создающих научный базис реализации инновационных планов. На его основе организуется работа двух экспертных групп.

Первая, ключевая группа экспертов непрерывно участвует в проведении форсайта, особенно на начальных этапах при формировании понятийного аппарата и согласовании целей исследования с учетом специфики функционирования отрасли.

Основной задачей данной группы является подготовка пакета документов для анкетирования расширенной группы экспертов.

Вторая, расширенная группа экспертов формируется с помощью метода кономизации (снежного кома) и непосредственно участвует в форсайте, а также при проведении анкетирования.

На *третьем этапе* в ходе подготовки пакета документов для анкетирования ключевой группой экспертов проводится ряд мероприятий в виде рабочих групп, неформализованных интервью и экспертных панелей. Данный пакет включает два документа:

- базовая таблица «Технологии-индикаторы», включающая перечень перспективных макротехнологий и характеризующих их индикаторов;
- памятка экспертам с вопросами, развернутые ответы на которые описывают контекст современного состояния и необходимые условия развития перспективных технологий в отрасли — экспертные заключения.

Проведение рабочих групп с отдельными экспертами из ключевой группы направлено на систематизацию предварительно собранной информации по технологиям и индикаторам. На ее основе формируются рабочий вариант базовой таблицы и перечень вопросов, целесообразных для включения в памятку экспертам.

Неформализованные интервью с экспертами проводятся для сбора дополнительной уточняющей информации о технологических процессах в отрасли. В результате, соответственно, перечень технологий и индикаторов может быть расширен.

На *четвертом этапе* расширенной группе экспертов предоставляется пакет документов для заполнения:

- базовая таблица, включающая макротехнологии и ключевые индикаторы по структуре Россия—Мир;
- памятка для формирования экспертных заключений.

Базовая таблица «Технологии-индикаторы» заполняется для систематизации характеристик технологий по макроиндикаторам и их сопоставления.

На *пятом этапе* проводится анализ анкет и согласование экспертных заключений.

Шестой этап заключается в оформлении и визуализации полученных результатов.

При этом возможны два сценария реализации программы:

- Сценарий 1. Достижение *текущего уровня* технологического развития отрасли из стран-лидеров.
- Сценарий 2. Достижение *будущего прогнозного уровня* технологического развития отрасли.

Построение технологических дорожных карт. Подходы к построению технологических дорожных карт весьма гибки и адаптивны к целям их формирования, что расширяет круг потенциальных заказчиков [Phaal, 2006]. Как правило, заказчиком выступают крупные отдельные компании и дорожная карта разрабатывается в конкретном корпоративном контексте [Whalen, 2007]. Однако подходы к разработке дорожных карт, которые инициированы государственными структурами или научными институтами (public-sector technology roadmaps), существенно различаются.

Во-первых, они не связаны с разработкой и технологическим развитием отдельного продукта в отличие от часто встречающихся на практике корпоративных продуктовых дорожных карт [Kapel, 2001].

Во-вторых, инициированные государством дорожные карты требуют учета социально-экономических тенденций, которые связаны с повышенной социальной обремененностью функционирования государства в отличие от частных компаний.

В-третьих, прогноз технологического развития, основанный на финансируемых за счет бюджетных средств исследованиях и разработках, тесно коррелирует с государственной политикой [Forbes, Wield, 2004].

В-четвертых, для разработки инициированных государством дорожных карт применяются разнообразные методы и форматы их представления [Geum, Park, 2013] (технологические дорожные карты могут быть

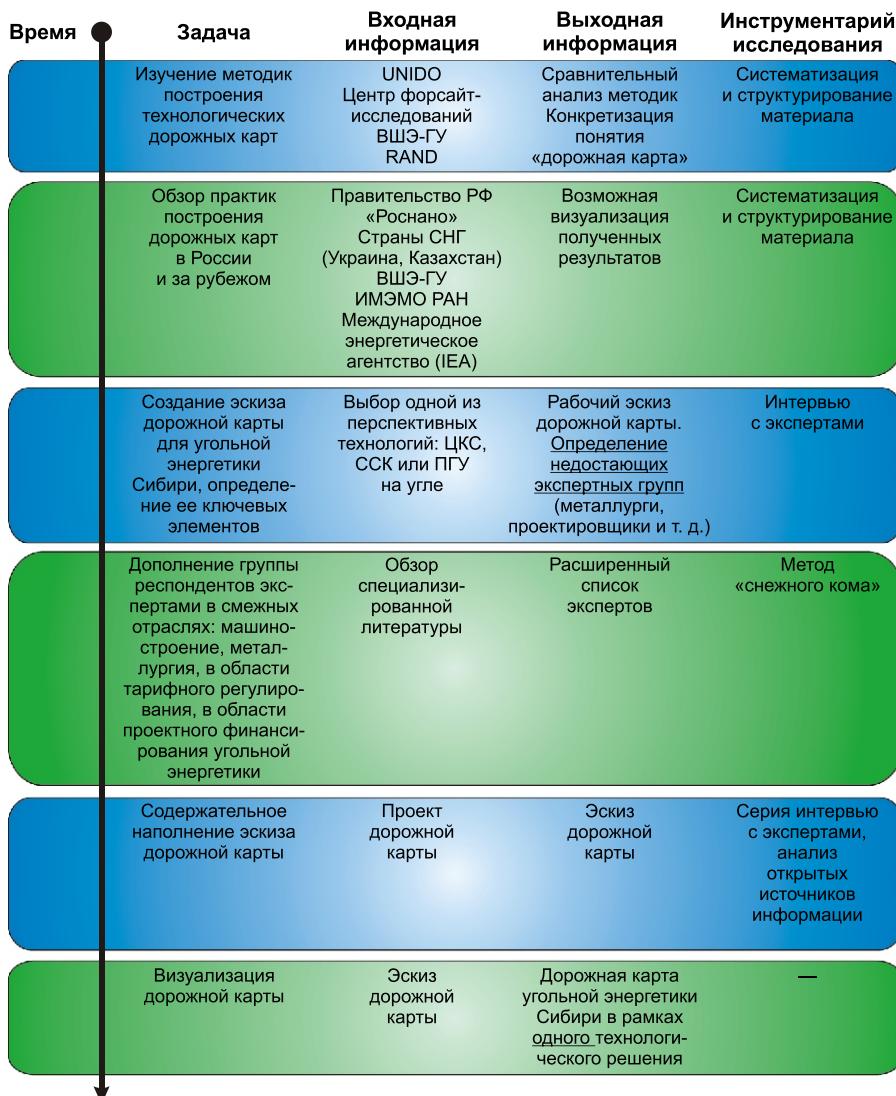


Рис. 4.5. Последовательность построения дорожной карты на примере исследовательского проекта «Угольная генерация»

представлены в различных графических форматах (таблицы, «дерево решений», графики и т. д.).

Последовательность работы над дорожной картой применительно к проекту «Угольная генерация» представлена на рисунке 4.5.

Предлагаемый методический подход применяется с учетом «Руководства по проведению технологического форсайта» организации ЮНИДО, в рамках которого прописан основной методический прием к построению технологических дорожных карт [The Unido, 2005]. Однако следует отметить, что дорожные карты не всегда строятся по изложенным «лекалам» и могут одновременно содержать элементы нескольких подходов.

Инвестиционно-финансовый профиль программы. Следующим логическим шагом является определение инвестиционных потребностей, необходимых для технологической модернизации отрасли исходя из прогнозных индикаторов (результат проведения технологического форсайта) и механизма их реализации (результат построения технологической дорожной карты).

Содержание инвестиционно-финансового профиля программы заключается:

- в оценке потребностей в инвестициях для реализации мер, предусмотренных программой;
- разработке механизмов финансового обеспечения программы;
- оценке затрат администрирования программы

Методика оценки затрат строится на основе экспертных оценок, но с учетом различных факторов, позволяющих провести их корректировку. Источником корректировочных данных служат документы корпоративной отчетности, инвестиционные программы, программы перспективного развития отрасли.

4.2. Перспективы развития угольной электроэнергетики Сибири

Производство электроэнергии на основе угля, несмотря на весомую экологическую нагрузку, остается приоритетом ведущих экономик мира — на его долю приходилось более 42 % мирового производства электрической энергии в 2011 г. [Special Report, 2012] Учитывая высокую обеспеченность сравнительно дешевыми энергоресурсами в Сибири (мы располагаем 17,7 % мировых запасов угля и это при менее чем

0,27 % населения мира), перспективы нашей угольной энергетики выглядят многообещающими¹.

Повышается и эффективность использования угля — за последние 30 лет средняя эффективность работы электростанций в мире постепенно увеличивалась на 7–8 % [Maruyama, 2009; Интервью..., 2010]. И это связано, прежде всего, с нарастанием тенденции сокращения выбросов. Только за счет перехода на существующие современные технологии угольной генерации возможно их снижение на 8–10 % от мировых объемов [Energy Technology Perspectives, 2012].

Угольная энергетика Сибири как отрасль характеризуется наличием следующих важных особенностей [Кук и др., 2012]:

- большая изношенность основных фондов;
- наличие альтернативного угля сравнительно дешевого и экологически чистого топлива — природного газа;
- отсутствие четких приоритетов, критериев и индикаторов развития технологий угольной генерации;
- устаревшие стандарты строительства энергетических станций;
- слабая эффективность системы экологического контроля выбросов станций;
- накопленные большие объемы твердых отходов от сжигания угля;
- недостаточный объем инвестиций;
- существование проблемы профессиональной подготовки кадров;
- большая продолжительность и капиталоемкость строительства новых мощностей;
- технологии сжигания угля ориентированы на проектный уголь, узкий коридор допустимого химического состава топлива (зольность, серность, калорийность и т. д.);
- исчерпание ресурсов и заделов предшествующего периода технологического развития.

Именно наличие данных особенностей делает необходимым решение следующих задач развития угольной генерации [Угольная генерация, 2008]:

- разработка мер стимулирования инвестиционного процесса в отрасли, снижение риска;
- развитие технологий предварительной подготовки топлива;
- приближение химического состава к проектным значениям;

¹ Расчеты авторов по данным на 2011 г. Соотношение разведанных запасов угля показано для антрацитов и битумных углей (в том числе бурых углей).

- ужесточение экологических стандартов, организация мероприятий по контролю за выбросами и системы стимулирования их снижения;
- подготовка квалифицированных кадров;
- необходимость применения зарубежных технологий (хотя бы на начальном этапе), в том числе сотрудничество с компаниями-лидерами в области энергетики, частичная закупка лицензий на производство оборудования по отдельным технологиям;
- создание и освоение промышленного производства новых материалов (металлы с повышенным коэффициентом механической прочности, теплостойкости);
- развитие технологий переработки твердых отходов горения топлива с целью получения рыночного продукта;
- в случае импорта технологий обеспечение частичной локализации производства оборудования с увеличением ее доли в дальнейшем;
- организация системы сервисного обслуживания оборудования, повышение его качества.

Повышение эффективности с учетом тенденции более экологичного использования угля возможно лишь в случае замены существующих станций более современными, работающими на новых технологиях. Это означает, что на сектор энергетики Сибири возложена весомая инвестиционная нагрузка в плане модернизации и реконструкции существующих станций.

Экономика такого радикального перехода зависит от различных факторов, в том числе и местных особенностей, определяющих выбор между продлением срока эксплуатации станции и заменой существующих мощностей на новые улучшенные технологии. Важным фактором, который необходимо учитывать, является высокая степень неопределенности относительно новых технологий. Такая неопределенность в сочетании с длинными инвестиционными циклами в энергетике, когда высока степень необратимости инвестиционного решения, способствует дальнейшей эксплуатации существующих станций.

Прогнозирование технологий, необходимых для осуществления такого перехода, позволяет частично снять эту неопределенность. Понимание субъектами энергетики эксплуатационных качеств новых технологий (каковые со временем могут улучшиться) побуждает к скорейшему их внедрению.

В то время как во всем мире на протяжении предыдущих десятилетий эффективность угольных электростанций возрастила, в России,

и в Сибири в частности, эта тенденция явно не просматривается. Как показали результаты предыдущего исследования [Горбачева, 2011], средняя эффективность электростанций в Сибири на 6–8 % ниже, чем в некоторых передовых в энергетической сфере странах ОЭСР. Такие различия в эффективности вызваны в основном возрастным фактором, поскольку большинство генерирующих мощностей в Сибири было введено в действие в 1960–1970-х годах, а коэффициент выбытия оставался на очень низком уровне (рис. 4.6).

Проведенное исследование основывается в том числе и на привлечении экспертного сообщества, представляющего основные субъекты, действованные в процессе технологической модернизации отрасли. К.В. Маслов: «На Западе через 7–10 лет работы проводится реконструкция, улучшающая характеристики котла, на основе накопленного у производителя опыта и информации, которая позволяет находить какие-то дополнительные источники увеличения КПД и других параметров котла. В России же в основном ведутся работы по плановому ремонту и приближению к исходным проектным параметрам».

«Преклонным» возрастным профилем существующих угольных электростанций характеризуются многие развитых экономик мира. В частности, в Великобритании и Германии все еще работают значительное количество угольных станций, построенных до 1975 г., а в США свыше половины электростанций эксплуатируется более 30 лет [Special report..., 2012].

Отслеживание процессов модернизации и обновления оборудования на действующих станциях затруднительно, так как носит непрерывный характер. Наш анализ корпоративной отчетности энергокомпаний в Сибири не показывает кардинальных улучшений и применения инноваци-

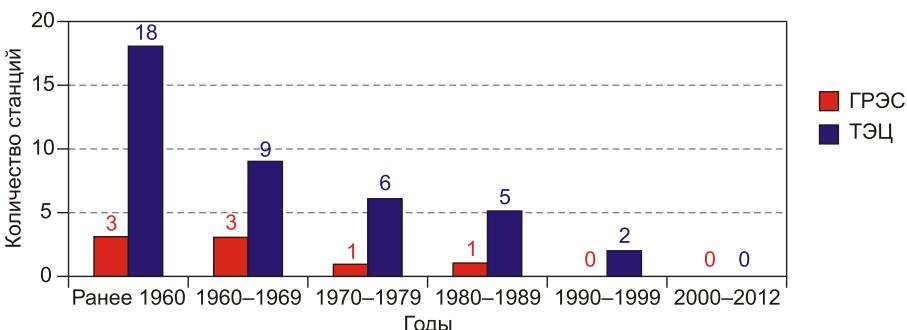


Рис. 4.6. Время ввода в эксплуатацию угольных станций Сибири.

Источник: расчеты авторов

онных технологий, способных обеспечить значительный рост производительности процессов генерации электроэнергии и тепла.

Естественно, некоторая часть электрогенерирующих мощностей в Сибири была существенно модернизирована и переоборудована, однако их эффективность часто ограничена из-за общих проектных характеристик электростанции и существующих стандартов строительства. К.В. Маслов: «Список материалов, которые возможно применять в строительстве котлов, четкий, конкретный и ограниченный. Материалы, входящие в него, проходят длительные ресурсные испытания. Существует определенная процедура сертификации импортных материалов, но она сложная, дорогостоящая и трудозатратная».

Как видно из рис. 4.7, в Сибири котлы ГРЭС не вводились в эксплуатацию с 1990 г., за исключением двух станций — Березовской и Гусиногорской ГРЭС.

Модернизация угольных электростанций в Сибири в необходимом масштабе — сложная задача и должна учитывать различные региональные факторы, которые могут проявляться в виде технических ограничений либо различий в условиях инвестиций. Понимая всю важность экономических факторов, влияющих на процесс принятия решения о продлении срока эксплуатации или модернизации станции, необходимо определиться с технологиями и сопутствующими инженерными, научно-исследовательскими и другими ограничениями.

Структура угольной энергетики является сложной, поскольку ее генерирующие объекты: ГРЭС, ТЭЦ, котельные, могут выполнять различные функции по производству электроэнергии и тепла для различных групп потребителей и в разной пропорции [Интервью..., 2012].

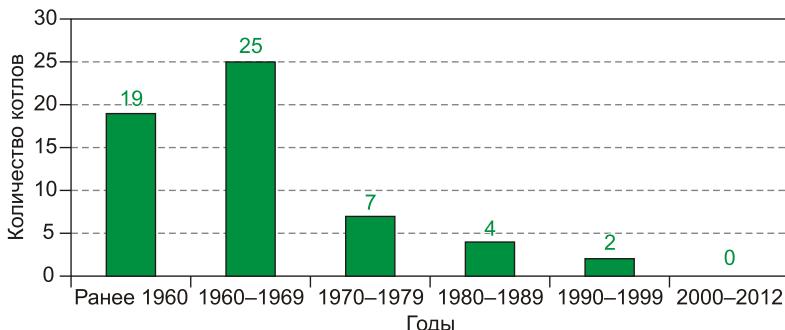


Рис. 4.7. Ввод в эксплуатацию котлов ГРЭС в Сибири.

Источник: расчеты авторов

Объект, для которого строится настоящая дорожная карта, — технология перевода потенциальной энергии твердого топлива (угля) в другой вид (электричество, тепло). Она описывается следующими характеристиками:

- необходима для «большой» энергетики, единой энергосистемы России или крупных промышленных комплексов;
- принадлежит станциям следующего типа: ГРЭС (конденсационный режим выработки энергии), ТЭЦ (теплофикационный режим выработки энергии);
- относится к технологиям сжигания топлива.

Основными продуктами отрасли являются электрическая и тепловая энергия. В то же время, одно из направлений развития — поиск технологических решений, позволяющих получать в процессе генерации основных продуктов сопутствующие, дополнительные продукты, которые могут быть реализованы на рынке. Тем самым достигаются увеличение экономической эффективности работы станции, снижение на ней выбросов твердых веществ, загрязняющих окружающую среду.

Необходимо учитывать, что станция является сложным, модульным механизмом. Каждый модуль необходим для выполнения определенных задач:

- котел — для сжигания топлива и создания условий, необходимых для работы турбины (в зависимости от вида турбины это пар, поток газа, их комбинация);
- турбина и генератор — для выработки электроэнергии;
- вспомогательное оборудование теплофикационного режима — для утилизации тепла для нагрева воды;
- очистные фильтры — для улавливания выбросов;
- другое технологическое оборудование для осуществления вспомогательных функций.

На практике некоторое увеличение эффективности работы возможно при выборе оптимального режима эксплуатации существующих станций. Например, решение проблемы пыльности сибирских станций позволяет немного повысить КПД. Е.Г. Карпов: «Угольные станции сильно пылят. Эта пыль улавливается (или не улавливается) аспирационными установками и просто сбрасывается как отходы и не возвращается в цикл сжигания. Если собрать все, что выбрасывается, и аккуратно сжигать, то это может дать несколько процентов прироста к КПД станции, тем самым достигая, в некоторой степени, аналогичных эффектов при переходе к сверхкритическим технологиям факельного сжигания».

В целом, модернизация существующих генерирующих станций в целях увеличения их срока службы и улучшения рабочих характеристик сводится к замене [Блайт, 2011]:

- контрольно-измерительной аппаратуры;
- калориферов;
- пульверизаторов;
- котлов;
- паровых турбин;
- конденсаторов.

В дополнение к этим вариантам модернизации, при которых основная конфигурация станции остается неизменной, существует возможность, как минимум теоретическая, осуществления более значительных преобразований, чтобы станции больше соответствовали передовым технологиям. Хотя целесообразность превращения существующих ГРЭС, работающих на сверхкритических параметрах, в станции на суперсверхкритике была изучена, реальных проектов по осуществлению таких процессов не было [Клячкова, 2011]. Наиболее распространены проекты, связанные с переходом на другой вид топлива (к примеру, в Италии переход от сжигания нефти к сжиганию угля, в России от сжигания газа к сжиганию угля) или на улучшенные существующие технологии (например, в Польше на псевдосжиженное слоевое сжигание, в России на повышенные параметры сверхкритического факельного сжигания). Эти крупные проекты по модернизации ближе к полной замене станции, чем к продлению срока службы существующей станции, однако частично экономятся средства в связи с тем, что некоторые существующие мощности продолжают эксплуатироваться.

Специфика отрасли в настоящий момент отражается и в том, что каждая станция, каждый энергоблок проектируется на сжигание угля определенного географического происхождения и химического состава. Однако с течением времени характеристики проектного и закупаемого на станцию угля становятся все более различными.

Это требует настройки котла под конкретный уголь, технического перевооружения и частичной модернизации оборудования, что является проблемой собственников станций.

Изменение со временем характеристик угля вызывает дополнительные потери энергии в процессе его сжигания, ведет к увеличению удельного расхода топлива, тем самым снижая КПД станции, изменяет структуру и объем выбросов.

Таким образом, проблема первоначальной подготовки топлива для соответствия проектным значениям является самостоятельной проблемой. Е.И. Карпенко: «Необходимо внедрять технологии предварительной подготовки угля перед его сжиганием в топке. Например, термохимическая подготовка топлива позволяет получать новый вид топлива с высокой реакционной способность». Е.Г. Карпов: «Развитие технологий предварительной подготовки топлива имеет важное значение с точки зрения улучшения процесса горения и снижения экологической нагрузки станции на окружающую среду. В качестве примера можно привести результаты, полученные в ходе апробации применения водоугольного топлива».

Форсайт и дорожная карта. Основной целью проведения форсайта и разработки дорожной карты является определение возможных направлений технологического развития отрасли, описание необходимых для реализации данных направлений действий со стороны различных заинтересованных сторон [Phaal, 2006; The UNIDO..., 2005].

Предлагаемая дорожная карта в рамках форсайта «Угольная генерация» относится к типу технологических дорожных карт и включает в себя направления развития трех базовых технологий угольной генерации (см. далее рис. 4.8). Дорожная карта демонстрирует, как перейти от текущего состояния технологического базиса угольной генерации в России к прогнозным значениям 2030 г. Подробнее виды дорожных карт и проблемы их разработки будут рассмотрены ниже.

Построение дорожной карты сосредоточено на анализе возможности перехода существующих станций на современные технологии трех направлений сжигания угля: факельное сжигание (с различными значениями давления и температуры пара), слоеевое сжигание, газификация твердого топлива (парогазовые установки с внутрицикловой газификацией).

В исследовании технологическая дорожная карта строится для новых технологий, требующих радикальной замены существующих генерирующих станций в Сибири. Достижение целевых индикаторов будущего энергетики при существующих технико-эксплуатационных характеристиках станций невозможно [Дорожные карты..., Международное энергетическое агентство, 2011; Chikkatur, Sagar, 2007].

Технологический трек № 1 — факельное сжигание (красным цветом на рис. 4.8).

Текущее состояние дел. В Сибири факельное сжигание представлено докритическими и сверхкритическими параметрами пара

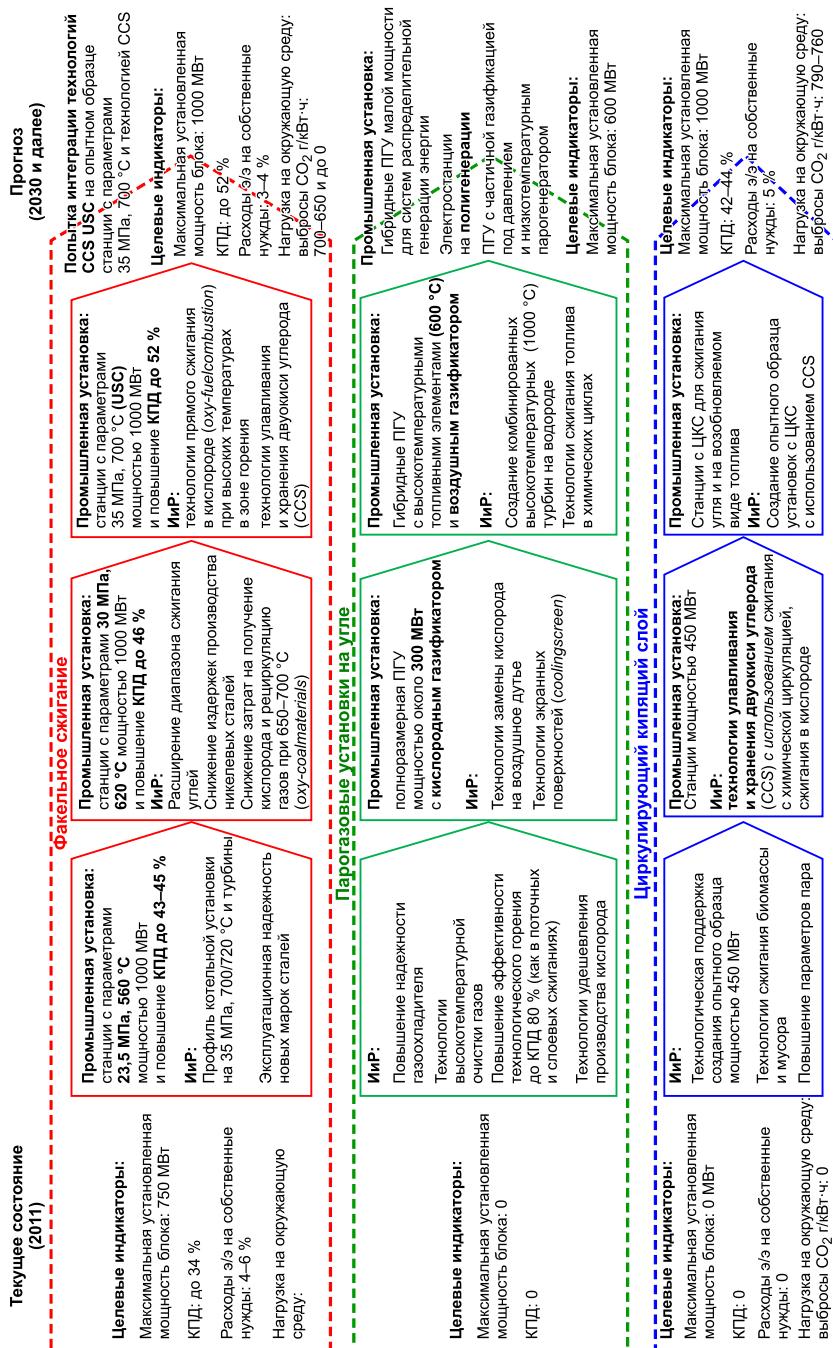


Рис. 4.8. Технологическая дорожная карта уольной генерации в Сибири

23,5 МПа/560 °С, установленной мощностью до 750 МВт со средней эффективностью работы станций 34–38 % и следующей экологической нагрузкой: CO₂ до 850 г/кВт ч, NO_x до 410 мг/нм³, SO₂ до 500 мг/нм³, выбросы летучей золы до 150 мг/нм³.

Данное технологическое решение хорошо освоено у массового производителя энергетического оборудования. В мире установлены сотни гигаваттных энергоблоков с КПД работы станций в местах наилучшего расположения более 40 %. Традиционные системы контроля за выбросами хорошо зарекомендовали себя.

Какой будет технология через 20–30 лет?

- сохранит положение наиболее распространенной технологии в мире;
- продвинутые системы контроля за эмиссией, включая технологии сухой газоочистки (dry systems);
- внедрение технологий улавливания и хранения CO₂ (CCS) с использованием технологии прямого сжигания в кислороде (oxygen firing) даже при высоких температурах в зоне горения (до 700 °С);
- постепенное нарастание эффективности (до 45 % с учетом CCS);
- улавливание ртути (mercury capture) как стандартная экономическая эффективная технологическая опция.

В мире планируется ввод в действие энергоблоков, работающих на параметрах пара свыше 35 МПа/700 °С/720 °С мощностью до 1000 МВт с эффективностью до 55 % с учетом близких к нулю различных эмиссий: CO₂ до 0 г/кВт ч, NO_x < 10 мг/нм³, SO₂ < 10 мг/нм³.

В Сибири существует положительная динамика в выбросах CO₂, что дает возможность сохранять нейтралитет к проблеме потепления климата, на решение которой преимущественно ориентирована конъюнктура западных энергетических рынков. Высокая обеспеченность сравнительно дешевыми энергоресурсами в Сибири позволяет элиминировать потери в эффективности работы станции в несколько процентных пунктов выгодами от внедрения менее капиталоемких технологических решений. Поэтому экспертами целевые индикаторы для факельных технологий Сибири были снижены, хотя тренд экологически ориентированного сжигания угля был ими учтен.

По прогнозам экспертов, в Сибири возможен ввод в действие энергоблоков, работающих на параметрах пара 30–35 МПа/700 °С, мощностью до 1000 МВт с эффективностью до 52 % и со следующей нагрузкой на окружающую среду: CO₂ < 700–650 г/кВт ч, NO_x < 40 мг/нм³, SO₂ < 40 мг/нм³, выбросы летучей золы < 10 мг/нм³.

Отечественные исследования и разработки в рамках данного технологического трека направлены, прежде всего, на решение проблемы сертификации новых марок сталей. Е.Г. Карпов: «В России пока отсутствуют марки сталей, которые могут быть применены в энергетическом машиностроении и способные выдержать давлении более 255 кгс/см² и температуру более 570 °С. Для примера, в Дании достигнуты параметры сталей в промышленном производстве 300 кгс/см² и 700 °С». Таким образом, экспертное сообщество выделяет отсутствие возможности производства сталей с необходимыми характеристиками как один из технологических факторов, снижающих темпы модернизации отрасли.

Вопросы природоохранного законодательства, которые в настоящее время решаются за счет некоторой модернизации котла, связаны с встраиванием отечественных разработок в глобальную цепочку внедрения технологий хранения и улавливания CO₂ (CCS). К.В. Маслов: «Сейчас в России выбран путь снижения нагрузки на окружающую среду через организацию процесса внутритопочного горения. Однако потенциал снижения в настоящее время уже практически исчерпан».

Технологический трек № 2 — парогазовые установки на угле (зеленым цветом на рис. 4.8).

Текущее состояние дел. В Сибири данное технологическое решение не представлено. Имеющийся в настоящее время в нашей стране научно-технический задел получен на стендах и заключается в исследовании процессов газификации, очистки и сжигания синтетического газа. Всероссийский теплотехнический институт (ВТИ) имеет прототип ПГУ на базе современной газотурбинной установки мощностью 16 МВт, газификационное оборудование которой работает при тех же давлениях и температурах, что и в больших парогазовых установках. Однако в планах института по реализации программы «Производство электроэнергии и тепла с использованием ПГУ с внутрицикловой газификацией твердого топлива единичной мощностью 200–400 МВт с КПД до 50 %» ввод в действие головной ПГУ предусмотрен в 2019–2020 гг.

В США, Европе и Японии существуют коммерчески освоенные демонстрационные станции с мощностью 250–300 МВт и эффективностью до 45 % и выбросами CO₂ до 680–700 г/кВт · ч, NO_x > 50 мг/нм³, SO₂ > 60 мг/нм³, в Китае — опытно-промышленные установки. Пока капитальные издержки на строительство данных станций не окупились.

Основное преимущество технологии связано с возможностью диверсификации топливной базы, очень низким уровнем эмиссий и простотой улавливания ртути.

Какой будет технология через 20–30 лет?

- широкое распространение коммерчески освоенных станций;
- снижение капитальных затрат по сравнению с технологиями факельного сжигания;
- совершенствование газовой турбины с учетом замены кислородного газификатора на воздушный и использование сухой газоочистки;
- полигенерация (polygeneration), т. е. сочетание электрогенерации и производства технологической продукции;
- улавливание CO₂ в результате обработки топлива перед сжиганием (pre-combustion capture).

В мире планируется увеличение темпов коммерческого освоения ПГУ установленной мощностью до 630 МВт с эффективностью до 47 % и очень низкой экологической нагрузкой: CO₂ до 0 г/кВт ч, NO_x < 10 мг/нм³, SO₂ < 10 мг/нм³ и улавливание ртути до 99 %.

В настоящее время некоторые исследовательские институты имеют перспективные разработки, корреспондирующие с технологическим трендом развития ПГУ. Например, Инженерный центр энергетики Урала (ИЦЭУ) и Уральский федеральный университет (УрФУ) занимаются разработкой ПГУ с воздушным газификатором, пиролизом и воздухо-нагревателем с КПД до 55 %.

В Сибири экспертами прогнозируется возможность установки ПГУ с мощностью 600 МВт и КПД до 42 % с низкой нагрузкой на окружающую среду: CO₂ < 20 г/кВт ч, NO_x < 10 мг/нм³, SO₂ < 40 мг/нм³.

Однако, как отмечают эксперты ВТИ, начинать надо с заказа оборудования для полноразмерной ПГУ мощностью около 300 МВт, поскольку опыт использования газовых турбин для данного типа энергоблоков уже имеется за рубежом. Целесообразно также выполнить и согласовать проекты установки ПГУ с газификацией угля мощностью 200 и 300 МВт на двух—трех конкретных объектах. На ТЭЦ со значительной долей природного газа в топливном балансе целесообразна опережающая установка ПГУ на газе, которая в дальнейшем может быть интегрирована в комплекс с газификацией угля.

Технологический трек № 3 — сжигание в циркулирующем кипящем слое (синий цвет на рис. 4.8).

Текущее состояние дел. В Сибири данное технологическое решение не представлено. Хотя существуют несколько разработок котельных установок на ЦКС (например, Барнаульский котельный завод: энергетические котлы БКЗ-220, БКЗ-420 КС), но пусконаладочные работы показали их неэффективность. Проблема заключается в отсутствии отечест-

венного инжиниринга технологии ЦКС. Е.Е. Русских: «Наиболее ответственные элементы — это топка и циклон, у нас в России нет возможности произвести. Это ноу-хау западных компаний».

В мире установлены сотни станций мощностью до 250 МВт и КПД до 40 % и выбросами CO_2 до 1000 г/кВт ч, $\text{NO}_x > 400 \text{ мг}/\text{нм}^3$, $\text{SO}_2 > 1000 \text{ мг}/\text{нм}^3$, а также имеются демонстрационные установки мощностью до 460 МВт. Технология адаптирована для различного качества углей и других видов топлива, система эмиссионного контроля зарекомендовала себя хорошо.

Какой будет технология через 20–30 лет?

- увеличение объемов сжигания биомассы и мусора;
- постепенное повышение эффективности до 46 %;
- повышение параметров пара и установленной мощности (до 1000–1200 МВт);
- интеграция технологии улавливания и сжигания CO_2 с использованием сжигания с химической циркуляцией (chemical looping).

В мире планируются котельные установки на ЦКС мощностью до 1200 МВт с КПД до 46 % и экологической нагрузкой: $\text{CO}_2 < 760 \text{ г}/\text{кВт ч}$, $\text{NO}_x < 80 \text{ мг}/\text{нм}^3$, $\text{SO}_2 < 60 \text{ мг}/\text{нм}^3$.

В Сибири, по прогнозам экспертов, возможна установка ЦКС с мощностью 1000 МВт и КПД до 44 % с умеренной нагрузкой на окружающую среду: $\text{CO}_2 < 800 \text{ г}/\text{кВт ч}$, $\text{NO}_x < 100 \text{ мг}/\text{нм}^3$, $\text{SO}_2 < 100 \text{ мг}/\text{нм}^3$. Наиболее явный путь технологической модернизации состоит в сотрудничестве западных и отечественных фирм, когда покупка инжиниринга и наиболее важных элементов, а также повышение квалификации сотрудников осуществляется у зарубежных компаний, а остальное — в компетенции российских предприятий. Ф.А. Серант: «СибКОТЭС совместно с ЕвроСибЭнерго-инжинирингом разработал инструкцию котла 100 т/ч с циркулирующим кипящим слоем как вариант замены пылеугольного котла БКЗ-75 с сохранением ячейки и высоты котельного помещения».

На этапе построения дорожной карты были получены некоторые условия модернизации отрасли. К основным из них можно отнести:

- обязательность частно-государственного партнерства;
- необходимость создания условий экономической эффективности инвестиций в новые технологии угольной генерации;
- оптимизация тарифной политики на электро- и теплоэнергию станций;
- устранение преобладания краткосрочных целей в отрасли над долгосрочными;

- законодательный запрет на проектирование энергоблоков на основе технологий, характеристики которых ниже современного мирового уровня;
- снижение временных и финансовых затрат на сертификацию новых технологий и материалов в энергетике.

К основным субъектам отрасли, осуществляющим свою деятельность, относятся:

- государство;
- надзорные органы;
- генерирующие компании (собственники генерирующих мощностей);
- производственные компании;
- добывающие компании;
- потребители — физические лица;
- потребители — юридические лица;
- проектные институты;
- научные институты.

Каждый субъект в процессе деятельности преследует свои интересы. Основные из них перечислены в табл. 4.1.

Выделенные субъекты являются ответственными за выполнение шагов дорожной карты, а их интересы — это драйверы развития отрасли.

Финансовый профиль. Оценка затрат может производиться на основе экспертных оценок с учетом текущих рыночных стоимостных показателей (например, капитальные затраты на строительство электростанции), корпоративной отчетности о текущих затратах стейкхолдеров отрасли (инвестиционные программы энергетических компаний), макромоделирования инвестиционных потоков государства и частных инвесторов. Стоит отметить, что данные способы оценки на практике применяются на комплементарной основе и позволяют измерить дисперсию оценок.

В качестве примера *экспертных оценок* можно привести количественную оценку необходимых инвестиций для модернизации угольной энергетики Сибири. Суть подхода заключалась в следующем. Экспертом был предложен список генерирующих энергию (электро- и теплоэнергию) станций, работающих на угле. Из этого списка предлагалось выделить те объекты, в которые целесообразно, с учетом их и эффективности работы, внедрить инновационные технологии. Затем, оставляя неизменной установленную мощность энергоблоков, рассчитывались инвестиционные затраты на покупку, монтаж, дополнительное строитель-

Таблица 4.1

Основные интересы субъектов технологической модернизации энергетики

Субъект	Интересы
Государство	<ul style="list-style-type: none">• Привлечение инвестиций в отрасль• Увеличение налоговых поступлений в бюджет• Увеличение темпов экономического развития страны, рост ВВП• Поддержание экономики страны на конкурентоспособном уровне• Возможность стать участниками рынка квот на выбросы
Надзорные органы	<ul style="list-style-type: none">• Соблюдение регламентирующих документов в области создания генерирующих мощностей• Текущий контроль производственной деятельности ТЭС• Контроль соблюдения установленных норм выбросов (твердых, газообразных) ТЭС
Генерирующие предприятия	<ul style="list-style-type: none">• Экономия издержек на обслуживании оборудования• Снижение расходов топлива станции, повышение КПД, снижение объемов химического и механического недожога топлива• Снижение себестоимости производства энергии и тепла• Снижение объемов выбросов твердых отходов и газообразных выбросов, экономия денежных средств на штрафных санкциях• Увеличение объемных показателей предложения электроэнергии и тепла за счет доведения блоков до проектных значений• Получение гарантий сбыта объемов электроэнергии и тепла• Снижение зависимости от дифференциации характеристик топлива в зависимости от его места добычи
Производственные компании	<ul style="list-style-type: none">• Загрузка производственных мощностей• Обновление основных фондов, модернизация оборудования• Удержание квалифицированного персонала на предприятии. Обновление кадров• Приобретение опыта и квалификации в создании и наладке современного оборудования для производства электроэнергии и тепла
Добывающие компании	<ul style="list-style-type: none">• Рост объемов реализации угля на внутреннем рынке
Потребители — физические лица	<ul style="list-style-type: none">• Снижение стоимости электроэнергии и тепла• Экологический фактор, снижение заболеваемости от вредных выбросов станции• Постоянная доступность и бесперебойность поступления электроэнергии и тепла
Потребители — юридические лица	<ul style="list-style-type: none">• Постоянная доступность и бесперебойность поступления электроэнергии и тепла• Снижение стоимости электроэнергии и тепла

Окончание табл. 4.1

Субъект	Интересы
Проектные институты	<ul style="list-style-type: none"> • Создание проектов станций на мировом уровне • Развитие кадрового потенциала. Повышение профессионализма, возможность выхода на мировой рынок с конкурентоспособным продуктом • Наличие постоянного уровня заказов на создание проектов • Приобретение опыта проектирования станций, основанных на современном уровне развития технологий угольной генерации
Научные организации	<ul style="list-style-type: none"> • Проведение поисковых научных исследований. Поиск и развитие новых технологий генерации, методик совершенствования процесса на существующих станциях • Создание испытательных стендов, позволяющих провести апробацию научных идей с целью получения уточненных данных, корректирующих модельные, расчетные параметры. Поиск новых направлений развития разработки • Привлечение молодых кадров, обеспечение их перспективной тематикой исследований

ство для выбранной передовой технологии. В условиях отсутствия готового на всех стадиях разработки отечественного энергетического оборудования, отвечающего тем индикаторам перспективных технологий, которые заложены в форсайт-исследовании, эксперты предлагали заимствовать инновационные технологии. При этом предполагалось, что импортируются инжиниринг, ключевые технологические элементы, вспомогательные системы, а отечественными остаются металлоемкие детали. Более подробно об алгоритме расчетов см. в работе Н.В. Горбачевой с соавторами [Горбачева, 2011].

Лидирующее положение в угольной энергетики Сибири занимают ТЭЦ, работающие в теплофикационном режиме, что является исторически сложившейся и экономически оправданной закономерностью развития российской энергетики. На ТЭЦ установлено 58,6 % электрической мощности Сибири. Но эффективность их работы достигается за счет теплофикационного режима, поэтому инновационные технологии, которые направлены, прежде всего, на повышение эффективности в конденсационном режиме, как отметили эксперты, на них внедрять нецелесообразно, за исключением нескольких ТЭЦ, работающих на «плохих» углях (Красноярская ТЭЦ-2, Новосибирская ТЭЦ 3 и т. п.).

Факельное сжигание с суперсверхкритическими параметрами пара возможно применить на всех ГРЭС Сибири (за исключением Барабин-

ской), полностью демонтируя старые котлы, но сохраняя инфраструктуру станции, что позволит снизить инвестиционные затраты до 80 % от первоначальных.

Отдельного строительства требуют ПГУ на угле, так как газификатор, в котором содержится инновационный компонент, требует новых технологических решений в подаче топлива, перераспределении продуктов сгорания. Поэтому модернизация существующих объектов угольной энергетики Сибири по данной технологии экспертом видится невозможной. ПГУ на угле, инновационная составляющая которой заключается в диверсификации топливной базы и выработке побочных продуктов, целесообразно внедрять в качестве пилотного демонстрационного проекта.

Расчет инвестиционных затрат на модернизацию можно формализовать следующим образом:

$$I = N_i P_i \quad i,$$

где I — совокупные инвестиционные затраты, N — максимальная установленная электрическая мощность (kVt), P — удельные капитальные вложения (руб./kVt), i — коэффициент инвестиционных затрат, i — угольная станция с конкретной передовой технологией.

Удельные капитальные вложения определялись в текущих ценах 2010 г. с учетом валютной инфляции, так как технологии планировалось закупать за рубежом и их стоимость первоначально выражалась в долларах.

Коэффициент инвестиционных затрат отражает возможность изменения удельных капитальных вложений с учетом вариантов монтажа станций. При этом капитальные затраты внедрения передовых технологий могут быть эквивалентны строительству новой станции «под ключ», тогда коэффициент равен 1 или ниже за счет сохранения части инфраструктуры. Тогда, например, при снижении капитальных затрат на 20 % коэффициент равен 0,8.

Таким образом, для модернизации 48,5 % установленной электрической мощности угольных ГРЭС и ТЭЦ Сибири необходимо 375 млрд руб. Расчет выполнен для модернизации четырех ТЭЦ (коэффициент равен 1) и шести ГРЭС (коэффициент равен 0,8) на основе технологии ЦКС и факельного сжигания на суперсверхкритических параметрах пара соответственно. Для сравнения, российские энергетические компании в 2010 г. направили на крупные объекты угольной генерации в Сибири около 15 млрд руб.

Альтернативным способом оценки потребностей в инвестициях может служить пример *анализа корпоративной отчетности* основных стейкхолдеров энергетической отрасли в Сибири.

Крупные компании отрасли, генерирующие основной объем производимого электричества и тепла, являются публичными акционерными компаниями, которые должны в рамках обязательного раскрытия информации публиковать корпоративную отчетность, подтвержденную независимыми аудиторами.

Раздел годового отчета «Инвестиционная деятельность» отражает основные мероприятия, объемы и источники финансирования инвестиционных проектов, планируемые и фактические показатели. Наличие ретроспективной информации по данному разделу позволяет прослеживать основные тенденции инвестиционной деятельности компаний: динамику объемов инвестиций, структуру источников финансирования, стадии реализации конкретных инвестиционных проектов.

Определенные сложности в анализ инвестиционной деятельности вносит постоянный процесс объединений и поглощений компаний отрасли. Данный процесс отражается и на анализе как территориальных генерирующих компаниях (ТГК), где в последнее время он носит активный характер, так и оптовых генерирующих компаний (ОГК). Вследствие этого, сопоставление по годам результатов инвестиционной деятельности генерирующих компаний не является простой задачей.

Объем инвестиционных программ. Структура инвестиционной деятельности генерирующих компаний включает в себя следующие разделы:

- техническое перевооружение и реконструкция;
- новое строительство;
- непроизводственные фонды;
- прочие вложения.

Отдельно выделяется финансирование в рамках мероприятий, осуществляемых по заключенным договорам предоставления мощности (ДПМ).

Сводные данные по объему инвестиционных программ ОГК России за 2011 г. представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Инвестиционные программы ОГК, 2011 г.

Компания	Объем инвестиций, млн руб. (с НДС)
ОГК-1	8601
ОГК-2	19842
ОГК-3	16537
ОГК-4	9500*
ОГК-5	14000*
Итого	68480

* Оценка по объемам капитальных вложений компаний.

Таблица 4.3

Инвестиционные программы ТГК, 2011 г.

Компания	Объем инвестиций, млн руб. (с НДС)
ТГК-11	4321
ТГК-13*	6754
ТГК-14	1601
СибЭко	1527
Кузбассэнерго*	5268
Иркутскэнерго**	3410
Итого	22881

* Входят в структуру «Сибирской генерирующей компании».

** За исключение инвестиций по направлению ГЭС.

Оценить, какой объем средств выделяется на объекты, расположенные на территории Сибири, по данным ежегодной отчетности не представляется возможным. Учитывая тот факт, что в среднем в Сибири расположено по одному генерирующему активу компаний, то экспертно можно оценить данное значение в районе 15 % от итоговой суммы, т. е. 10 272 млн руб.

Сводные данные по объему инвестиционных программ ТГК России, имеющих генерирующие мощности в сибирском регионе, и крупных генерирующих компаний за 2011 г. представлены в таблице 4.3.

Для финансирования инвестиционных программ энергокомпании

привлекают как собственные, так и привлеченные средства. Собственные средства формируются в большей степени за счет текущей прибыли, амортизации, средств от дополнительной эмиссии акций. В меньшей степени задействованы средства прибыли прошлых лет, неиспользованная амортизация прошлых лет, НДС к возмещению вследствие их незначительных объемов. Привлеченные средства формируются за счет займов.

Таким образом, в результате *анализа корпоративной отчетности* основных стейкхолдеров энергетической отрасли на объекты сибирской генерации приходится около 33 млрд руб. ежегодных инвестиций согласно инвестиционным программам ОГК и ТГК.

* * *

Как показывает анализ энергетических стратегий ведущих угледо-миниатных стран, таких как США, Китай, Индия, угольная генерация сохранит значимую долю в электроэнергетике в будущем, при этом технологический профиль отрасли изменится существенно с переходом на новые чистые угольные технологии. В России, несмотря на относительно небольшую долю угля в страновом энергобалансе, угольная генерация имеет яркий региональный аспект, и ее доминирование в Сибири и на Дальнем Востоке сохранится в перспективе. Прогноз уровня технологи-

ческого развития угольной генерации в Сибири, сделанных на основе метода форсайта, демонстрирует необходимость высоких темпов технологического обновления отрасли. Технологическая дорожная карта задает ориентиры научно-технической политики и определяет возможные сферы сотрудничества государства, энергокомпаний, научных институтов и университетов для технологического обновления угольной генерации в Сибири. В условиях высокого морального и физического износа генерирующего оборудования необходимо выбирать технологии для модернизации на основе изучения экспертного мнения представителей разных субъектов, действующих в отрасли и с учетом их интересов. Приоритет необходимо отдавать технологиям, в которые заложена возможность к дальнейшей модернизации в процессе эксплуатации с целью соответствия мировым аналогам. Развитие и технологическое вооружение сопутствующих отраслей способно вывести предлагаемые к реализации технологические решения на новый уровень.

4.3. Перспективы развития машиностроения в Сибири

4.3.1. Анализ текущего уровня технологического развития и оценка перспектив развития машиностроения в Сибири

Потребность в модернизации предприятий машиностроения в настоящее время превращается в важнейшую государственную задачу, от решения которой зависит технологический суверенитет России.

В подотраслях машиностроения износ основных производственных фондов приближается к 70 %, и, соответственно, выпускать качественную продукцию на таком оборудовании практически невозможно [Чичкин, 2011].

Исходя из этого, выход на сопоставимые с ведущими странами показатели деятельности машиностроительной отрасли является актуальной задачей.

Оценка перспектив развития машиностроения является необходимым этапом в разработке дорожных карт и программ технологической модернизации отрасли.

В настоящем разделе мы проводим оценку перспектив развития машиностроения Сибири с применением описанного в п. 4.1 методического подхода к формированию отраслевых программ технологической модернизации.

Это продолжение и развитие работы по технологическому прогнозированию машиностроительной отрасли Сибири с применением техноло-

гии форсайт, проводимого в рамках совместного исследования ИЭОПП СО РАН и НГТУ «Технологический прогноз параметров ряда технологий машиностроительных отраслей Сибири» (форсайт-проект «Машиностроение и металлообработка»). Данное исследование в основном проводилось в Новосибирском государственном техническом университете (НГТУ) в 2009–2013 гг. под руководством А.И. Попельюха. Представители Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН осуществляли координационную и методическую поддержку реализации данного форсайт-проекта и участвовали в получении экономических оценок затрат на модернизацию машиностроительной отрасли Сибири.

Часть полученных результатов, и, соответственно элементы апробации предлагаемого методического подхода были опубликованы ранее [Бобылев, Попельюх, 2011; Суслов и др., 2013].

В данной монографии мы реферируем ранее опубликованные материалы для сохранения логики и цельности изложения и приводим материалы, не вошедшие в цикл более ранних публикаций по проекту.

Общая схема методического подхода к разработке отраслевых программ технологической модернизации с применением метода форсайт представлена в п. 4.1 на рис 4.3. Блоки анализа актуальных проблем в отрасли, технологический форсайт и финансово-инвестиционный профиль программы данного подхода уже были достаточно подробно описаны ранее в работах [Бобылев, Попельюх, 2011; Суслов и др., 2013].

В соответствии с проведенным анализом на территории Сибири целесообразно развивать производство по следующим направлениям машиностроения [Бобылев, Попельюх, 2011]:

- авиационная и космическая техника;
- производство прецизионных изделий и точная механика;
- энергетическое машиностроение;
- оборудование для горно-добывающей, обогатительной и металлургической промышленности и строительной индустрии;
- сельскохозяйственное машиностроение;
- оборудование и инструмент для заготовки и комплексной переработки древесины.

Далее мы проведем краткий анализ существующих в Сибири производственных мощностей, технологических процессов и номенклатуры выпускаемой продукции в областях, выбранных для технологического прогноза.

Авиастроение и ракетостроение. Производство авиационной и космической техники тесно связано с обеспечением оборонной стратегии страны и до недавнего времени относилось к наиболее технологически «закрытым» отраслям машиностроения. Значительное количество подобных производств сосредоточено на территории Сибири, в частности:

- Новосибирское авиационное производственное объединение им. В.П. Чкалова (производство самолетов марки СУ, ремонт и модернизация самолетов марок СУ и АН);
- СибНИА им. Чаплыгина, г. Новосибирск (разработка авиационной техники);
- Омское производственное объединение «Полет» (производство ракет-носителей «Космос-3М», «Ангара», космических аппаратов «Надежда», «Стерх», транспортных самолетов Ан-70, Ан-74);
- Иркутский авиационный завод (производство многоцелевых боевых самолетов Су-30МК, учебно-боевых самолетов Як-130, самолетов амфибий Бе-200);
- НПО ПМ им. Решетнева в городе Железногорске Красноярского края (разработка и производство спутников системы ГЛОНАСС);
- Красноярский машиностроительный завод «Красмаш» (ракетные двигатели ЖРД РД0155К; разгонные блоки; проект «Морской старт»);
- ОАО Улан-Удэнский авиационный завод (самолеты-штурмовики Су-39 и учебно-боевые самолеты Су-25УБ, многоцелевые вертолеты МИ-171).

Несмотря на все структурные и кадровые изменения последних лет эти предприятия в значительной мере сохранили свой кадровый, научный, производственный потенциал и способны выпускать сложную научкоемкую продукцию. В настоящее время все эти предприятия входят в состав государственных корпораций и получают значительную финансовую помощь на модернизацию производства и проведение опытно-конструкторских работ. Особенно актуальным становится развитие этих предприятий в связи с прекращением кооперации с украинскими коллегами и с введением санкций в отношении России в области поставок комплектующих к ракетно-космической технике.

Приборостроение и точная механика. По мнению западных ученых, в 1970-х гг. прошлого века приборостроение Советского Союза и производства, выпускающие высокоточные механизмы и устройства, по уровню развития незначительно уступали аналогичным производствам в Западной Европе и США. Однако за последние 20 лет приборостроительная отрасль в России была практически полностью уничтоже-

на. Сохранились лишь те производства, которые работали по военным заказам, выпускали продукцию двойного назначения или изготавливали оборудование для ядерной, тепловой энергетики и добывающих отраслей промышленности. Изначально сибирские приборостроительные предприятия были ориентированы на выпуск оборонной продукции и продукции двойного назначения, поэтому им в значительной мере удалось сохранить свои производственные мощности.

К предприятиям, сохранившим свой производственный потенциал, можно отнести ОАО «Бердский электромеханический завод» (ОАО «БЭМЗ») (выпуск систем наведения для ракет и космических спутников), ГУП «Новосибирский приборостроительный завод» («НПЗ») (выпуск оптических систем), ОАО «Алтайский приборостроительный завод «Ротор» (выпуск навигационных систем и бытовой техники), ФГУП «Научно-исследовательский институт электронных приборов» (производство зенитных комплексов и систем наведения ракет), Омский опытный завод «Эталон» (производство аппаратуры для ядерной энергетики), ФГУП ПО «Север» (производство коммутационной аппаратуры для ядерной энергетики) и т. д. В связи с расширением государственного заказа за последние несколько лет этим предприятиям удалось переоснастить ряд производств современными образцами зарубежной техники, однако доля устаревшего оборудования, в частности на ОАО «БЭМЗ», ГУП «НПЗ» и ФГУП ПО «Север», превышает 70 %.

Энергетическое машиностроение. К крупным производственным предприятиям, работающим на рынке энергетического и электротехнического оборудования, можно отнести ОАО «Элсиб» (производство турбогенераторов, гидрогенераторов и электродвигателей большой мощности), ООО «Сибэлектропривод» (производство тяговых электродвигателей и генераторов средней мощности), ОАО «Барнаултрансмаш» (производство дизелей и дизель-генераторов для речного и морского флота, железнодорожного и автомобильного транспорта, нефтегазового комплекса), ОАО «Бийский котельный завод» (производство, ремонт котлов и оборудования котельных средней и малой мощности, миниТЭЦ), ОАО Сибэлектротерм (электрометаллургическое оборудование).

За последние три года наиболее крупная инвестиционная программа была реализована на ОАО «Элсиб» (420 млн руб.). В связи со сменой собственника и приходом управляющей команды из фирмы «Skoda» стablyно развивается ООО «Сибтрансмаш» (увеличение объемов продаж в три раза за последние два года). Более сложная экономическая ситуация у ОАО «Барнаултрансмаш» и ОАО «Сибэлектротерм». По данным

бухгалтерской отчетности за 2013 г., предприятия работали с рентабельностью не более 5 %. Не проводил технического перевооружения и «Бийский котельный завод», модернизации подвергались лишь средства малой механизации. Однако принятие программы Минпромторга [Криворучек, 2014] по локализации в России военного и гражданского судостроения позволит увеличить объемы производства комплектующих и модернизировать производство.

Производство горно-добывающего и обогатительного оборудования. Условно все предприятия, производящие оборудование для нефтедобычи, горных работ, техники для добычи и обогащения полезных ископаемых и металлургических производств можно подразделить на две большие группы. К первой группе можно отнести предприятия, освоившие выпуск подобной продукции, как правило, еще в советское время. Для предприятий из этой группы производство техники для горных работ и металлургических производств является основной сферой деятельности. К ним можно отнести:

ОАО «Анжеромаш» (Анжеро-Судженск), производящий механизированные комбайны и конвейеры для добычи угля и механизированные крепи;

завод «Буровая техника» (Новосибирск), изготавливающий различные типы буровых станков;

ООО «Юргинский машзавод», осуществляющий выпуск проходческих комбайнов, крепей, дробилок, перегружателей, конвейеров, гидромониторов;

ОАО «Красноярский завод тяжелого машиностроения», производящий шагающие и карьерные экскаваторы, буровую и обогатительную технику и т. д.

Эти предприятия обладают значительным опытом производства горношахтного оборудования различного типа и готовы вкладывать значительные средства в мероприятия по повышению качества выпускаемой продукции, применение новых конструктивных и технологических решений, новых материалов и расширению выпускаемого ассортимента. Основная доля таких предприятий сосредоточена в Кемеровской области.

Ко второй группе предприятий можно отнести заводы, где выпуск оборудования не является профильным, производство продукции для добывающих отраслей промышленности было налажено за последние 10–15 лет в связи с необходимостью загрузки производственных мощностей предприятий. К таким организациям могут быть отнесены большинство предприятий Новосибирска:

ОАО «Сиблитмаш» (выпуск оборудования для коксохимических батарей и тюбинговых крепей);

ОАО «Тяжстанкогидропресс» (изготовление механизированных крепей, оборудования для коксохимических производств);

ПО «Север» (выпуск роликов для ленточных конвейеров);

ОАО «БЭМЗ» (производство кранов, клапанов, электрогидрораспределителей) и т. д. Не обладая мощным конструкторским потенциалом и не имея наработок в этой области, эти предприятия изготавливают отдельные комплектующие или узлы горношахтного оборудования. Их производственные планы не содержат серьезные инвестиционные программы, направленные на выпуск полной номенклатуры горношахтного оборудования для комплексных технологических решений. Предприятиями не осуществляются значительные изменения в конструкции выпускаемых устройств и в применяемых для этой цели материалах.

Сельхозмашиностроение. Выпуск сельскохозяйственной техники в Сибири и Алтайском крае осуществляет ряд производственных предприятий. Условно в зависимости от сложности выпускаемой продукции предприятия сельхозмашиностроения могут быть подразделены на две группы.

К первой группе можно отнести предприятия, выпускающие тракторы, комбайны и другую самоходную сельскохозяйственную технику. Из предприятий этой группы на территории Алтая и Сибири расположены:

ОАО «Алтайское тракторостроительное объединение» («Алттрак»), выпускавшее до недавнего времени сельскохозяйственные тракторы;

ОАО «ПО «Алтайский моторный завод», специализирующееся на выпуске дизельных двигателей, в том числе и для сельхозтехники. Два последних предприятия входят в состав концерна «Тракторные заводы», который сосредоточил в своих руках основные производства самоходной сельскохозяйственной техники в России. В состав концерна входят такие предприятия, как ОАО «Тракторная Компания “Волгоградский тракторный завод”», ООО «Владимирский моторо-тракторный завод» и ведущие российские заводы по производству тяжелых тракторов, бульдозеров и техники для лесозаготовок.

Одно из градообразующих предприятий города Рубцовска — «Алттрак» в настоящее время обанкротилось и уже не способно выпускать сельскохозяйственные тракторы и лесозаготовительную технику. Тяжелая финансовая ситуация у ОАО «ПО “Алтайский моторный завод”». Поэтому поставки тракторов осуществляют предприятия, находящиеся в европейской части России, Белоруссии (Минский трактор-

ный завод) и иностранные производители, прежде всего американские, западноевропейские и корейские компании.

Ко второй группе предприятий можно отнести заводы, выпускающие навесную и прицепную технику для обработки почвы. Это, прежде всего, ОАО «Сибсельмаш» (находится в состоянии банкротства), ОАО «АСМ-Запчасть» (Алтайсельмаш) и ООО «Омскагромаш». Три этих предприятия осуществляют выпуск сеялок, культиваторов, лущильников, рыхлителей, борон, плугов. Их продукция конструктивно различается между собой, но предназначена для одних и тех же сельскохозяйственных операций. Навесное оборудование для использования с российскими тракторами иностранные производители не производят, а осуществляют комплексные поставки самоходной техники с оригинальным навесным оборудованием. Поэтому благополучие предприятий, выпускающих навесную технику, напрямую зависит от положения отечественного тракторостроения. Уменьшение доли тракторной техники российского или белорусского производства приведет к значительному сокращению потребления отечественного навесного и прицепного сельскохозяйственного оборудования.

Производство оборудования для заготовки и переработки древесины. В настоящее время на территории Алтайского края и Сибири можно выделить ряд крупных промышленных предприятий, выпускающих технику для лесозаготовок. Прежде всего, это ОАО «Красноярский завод лесного машиностроения» («Краслесмаш»), ОАО «ПО “Алтайский моторный завод”» и ОАО «Алтайское тракторостроительное объединение» («Алттрак»). Из этих трех предприятий, выпускающих комплекс машин для заготовки леса, в настоящее время в работающем состоянии находятся два предприятия, входящих в концерн «Тракторные заводы». Это «Краслесмаш» и «ПО “Алтайский моторный завод”», выпускающий двигатели для сельскохозяйственной и лесозаготовительной техники. «Алттрак» прекратил свою деятельность и лесозаготовительную технику на базе трелевочного трактора ТТ4М не выпускает. Основная продукция, выпускаемая ОАО «Краслесмаш», — трелевочные чокерные машины, вальочно-трелевочные машины, бесчокерные машины манипуляторного типа, пачкоподборщики, погрузчики на гусеничной и колесной базе. Базовая машина ТТ4М-23ВГ на данный момент представляет собой глубоко модернизированный вариант широко распространенного трелевочного трактора ТТ4М, выпускающегося уже более 30 лет. Принципиальным отличием изготавливаемой на «Краслесмаше» техники от базовой модели является установка на нее более мощного, экономичного и легкого двига-

теля финской компании «SISU». Еще одним предприятием в России, выпускающим технику для лесозаготовок, является ООО «Онежский тракторный завод» (г. Петрозаводск), также входящий в концерн «Тракторные заводы». Однако выпускаемая на нем лесозаготовительная техника на базе трактора ТЛТ-100А, хоть и обладает меньшим весом, позволяющим успешно работать на болотистых почвах севера европейской части России, но и характеризуется меньшими показателями энергооборуженности, поэтому в Сибири используется редко.

4.3.2. Технологический форсайт машиностроительной отрасли в Сибири

Как отмечалось выше, прогнозы в рамках проекта форсайт-проекта «Машиностроение и металлообработка» выполнены экспертной группой под руководством кандидата технических наук, доцента механико-технологического факультета НГТУ А.И. Попельюха.

В состав экспертной группы входили более 10 сотрудников кафедр материаловедения в машиностроении, технологии машиностроения, автоматизации производственных процессов Новосибирского государственного технического университета, специалисты компаний Autodesk, Delcam, АЦ «Сварка».

Оценка технологического уровня предприятий Новосибирска произведена путем анализа информации в открытой печати, данных бухгалтерского учета и экспертных оценок специалистов промышленных предприятий.

Оценка технологического уровня предприятий Германии осуществлялась с использованием данных, полученных из отечественных и зарубежных периодических изданий, собранных сотрудниками и студентами НГТУ на предприятиях Германии в ходе научных стажировок и командировок (в городах Рюсельсхайм, Ганновер, Франкфурт и т. д.), а также экспертных оценок специалистов германских компаний Kjellberg и DMG.

Основной методический прием, применяемый при прогнозировании, это выявление индикаторов, характеризующих параметры материалов или технологических процессов, и дальнейший прогноз группой экспертов будущего состояния индикаторов. Далее на основе полученных прогнозных значений индикаторов осуществлялись оценки необходимых инвестиционных затрат по достижению прогнозных значений. Особенности применения методического подхода с учетом специфики отрасли машиностроения отражены на рис. 4.9.



Рис. 4.9. Особенности применения методического подхода для машиностроительной отрасли

Как видно из рис. 4.9, специфика применения технологического форсайта для машиностроения связана, в основном, с особенностями применяемых в машиностроении технологий. Исходя из этого, авторами проекта были выделены следующие основные объекты для прогнозирования, а именно:

- производственные технологии;
- информационные технологии;
- новые материалы.

Обоснование выделения данных объектов проведено в рамках форсайт-проекта «Машиностроение и металлообработка» [Бобылев, Попельюх, 2011].

Экспертной группой была произведена оценка текущего состояния и прогноз до 2025 года основных технологий машиностроительных производств в Сибири по направлениям:

- авиационная и космическая техника;
- производство прецизионных изделий и точная механика;
- энергетическое машиностроение;
- оборудование для горно-добывающей, обогатительной и металлургической промышленности и строительной индустрии;
- сельскохозяйственное машиностроение;
- оборудование и инструмент для заготовки и комплексной переработки древесины.

Прогнозирование основных технологий машиностроительных технологий в рамках форсайт-проекта «Машиностроение и металлообработка» было осуществлено по всем вышеперечисленным направлениям [Бобылев, Попельюх, 2011; Суслов и др., 2013].

С учетом того, что предлагаемый далее проект дорожной карты сделан на примере модернизации предприятия горно-обогатительной и металлургической промышленности, мы, в основном, будем приводить далее материалы относящиеся именно к этому направлению.

Рассмотрим далее особенности технологического форсайта «Машиностроение и металлообработка» на примере прогнозирования свойств новых материалов. Для этого на первом этапе целесообразно выстроить связи между перспективами развития машиностроения и внедрением новых материалов.

Внедрение новых материалов как перспективное направление совершенствования машиностроительной отрасли. Разработка новых материалов и применение их в различных областях деятельности является объективной необходимостью в эволюции современного общества. Идеальный конструкционный материал должен обладать следующими свойствами: небольшой плотностью; высокой прочностью, высоким модулем упругости, высокой трещиностойкостью и коррозионной стойкостью по отношению ко всем средам, высокой стабильностью структуры и однородностью свойств. Попытка объединить все эти свойства в одном материале до сих пор остается недостижимой мечтой человечества, однако процесс появления новых конструкционных материалов или появления новых технологических способов, улучшающих их свойства, происходит ускоряющимися темпами. Несколько десятилетий назад поиск новых материалов с определенными свойствами проходил эмпирически, а процесс их внедрения в массовое производство занимал длительное время. Сейчас, благодаря появлению новой исследовательской техники и систем компьютерного моделирования, появилась возможность быстрого создания новых материалов с заданными характеристиками и предсказанием их возможных свойств.

В развитых странах наряду с медико-биологическими исследованиями и информационными технологиями исследования в области создания новых материалов относятся к наиболее динамично развивающимся областям. Машиностроительная отрасль промышленности является несомненным лидером по потреблению материалов, производимых в мире. В США, Западной Европе, Японии, Китае разработка и внедрение новых материалов происходит в рамках приоритетных национальных

программ. По мнению некоторых американских экспертов, через 20–25 лет не менее 90 % используемых сейчас машин и механизмов будут изготавливаться из других материалов или из традиционных материалов с существенно улучшенными свойствами.

Машиностроительные производства производят приблизительно 26 % общего объема выпускаемых товаров, причем около 40 % машиностроительной продукции связано с автомобилестроением, 11 % с аэрокосмической отраслью, 9 % с инструментальной промышленностью, 9 % с точной механикой, 9 % с оборудованием для литья и штамповки и 22 % с прочими механизмами и устройствами (рис. 4.10) [Dobrzanski, 2006].

Подробное описание индикаторов свойств новых материалов, которые применялись для технологического прогнозирования в рамках форсайт-проекта «Машиностроение и металлообработка» приведено в работе [Бобылев, Попельюх, 2011], мы же далее приводим краткие характеристики индикаторов в объеме, достаточном для демонстрации сути предлагаемого подхода:

Основные индикаторы прочностных характеристик, характеризующие расход материалов при изготовлении конструкции и принципальную возможность использования для изготовления конструкции или механизма с заданными нагрузочными характеристиками.

Удельная прочность материала (strength-to-weight ratio) — отношение прочности материала к его удельному весу. Увеличение этого показателя приводит к существенной экономии материалов при изготовлении инженерных конструкций, уменьшению веса подвижных деталей и узлов, увеличению допустимых нагрузок на материал, повышению ко-

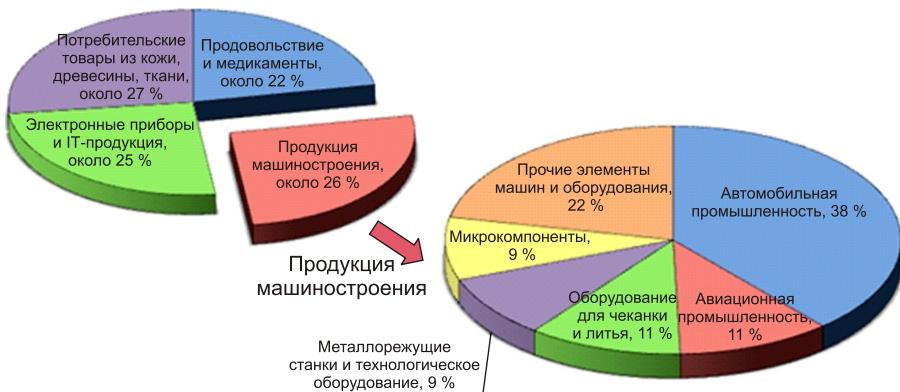


Рис. 4.10. Доля различных технологий и продуктов в глобальном производстве

эффективности полезного действия механизмов и соответственно росту производительности машин.

Жесткость материала (inflexibility) — это мера сопротивления тела деформации при заданном типе и величине действующей на него нагрузки. Применение более жестких материалов в целом позволяет увеличить диапазон допустимых эксплуатационных нагрузок, уменьшить рабочие зазоры, сделать более стабильными форму и размеры конструкции.

Основные индикаторы надежности, определяющие показатели безотказной работы в течение всего срока службы.

Ударная вязкость (impact elasticity) — способность материала поглощать механическую энергию в процессе деформации и разрушения под действием ударной нагрузки. Ударная вязкость характеризует способность материала сопротивляться хрупкому разрушению при воздействии динамической нагрузки. У материалов с высокой ударной вязкостью процесс разрушения носит медленный, а не внезапный характер, что позволяет принять меры для остановки или вывода из эксплуатации машины или конструкции и уменьшить тяжесть последствий от аварии.

Вязкость разрушения (K_c) (fracture toughness) — характеризует способность материала сопротивляться началу движения и развитию трещин при механических и других воздействиях.

Индикаторы долговечности, определяющие ресурс работы конструкции.

Износостойкость (wear resistance) — это показатель сопротивления износу деталей машин и других трущихся изделий. В связи с тем, что при правильном проектировании около 80 % механизмов выходят из строя по причине износа деталей, именно показатели износостойкости определяют их долговечность и ресурс работы.

Коррозионная стойкость (Corrosion resistance, corrosion stability) — способность материалов сопротивляться коррозии, показывает их способность работать в агрессивных средах.

Индикаторы технологичности, определяющие возможность эффективного производства деталей из данного материала с использованием высокопроизводительных способов изготовления и сборки. В отличие от индикаторов механических свойств материалов, которые выражают в численных показателях, характеристики технологичности обычно оценивают качественно по шкале «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «плохо».

К основным индикаторам, характеризующим технологичность изготавления, можно отнести:

Обрабатываемость резанием (*machinability*), которая характеризуется сопротивлением резанию и качеством обрабатываемой поверхности. Считается, что лучшую обрабатываемость имеет тот материал, который, при прочих равных условиях, допускает более высокую скорость резания.

Деформируемость (обрабатываемость давлением) (*cold working, hot working*) Это способность материалов воспринимать пластическую деформацию в процессе видоизменения формы при гибке, ковке, штамповке, прокатке и прессовании без нарушения целостности.

Свариваемость (*weldability*) — это свойство металлов или сочетания металлов образовывать при распространенной и производительной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

Индикаторы стоимости, определяющие экономическую целесообразность применения материала для изготовления конструкции.

Стоимость (удельная стоимость единицы объема материала). Традиционно в справочной информации и прайс-листиах фирм-производителей стоимость конструкционных материалов указывается за единицу веса, однако при производстве изделий более показательным параметром является удельная стоимость единицы объема продукции, которая может быть получена как произведение стоимости единицы веса материала на его плотность. Например, если сравнить цены за килограмм нержавеющей стали 08Х17Т (100 руб./кг) и алюминиевого сплава Д16Т (140 руб./кг), создается впечатление, что выгоднее делать продукцию из нержавеющей стали, однако алюминиевый сплав почти в три раза легче стали, поэтому продукция из него будет в два раза дешевле.

Мы приводим далее прогноз индикаторов свойств новых материалов, которые будут применяться в производстве оборудования для горно-добывающих и обрабатывающих отраслей, с учетом того, что приводимый далее в разделе 4.3.3 проект дорожной карты по модернизации предприятий машиностроительного профиля сделан на примере предприятия, производящего оборудование для горно-добывающих и обрабатывающих отраслей.

Новые материалы для производства оборудования горно-обогатительной и металлургической промышленности. Наряду с нефтегазодобывающим сектором российской экономики предприятия горно-добывающей, обогатительной и металлургической отраслей в настоящее время наиболее привлекательны для инвестиций.

По уровню развития разработок новой техники в области добычи полезных ископаемых и их переработки в конце 80-х годов прошлого века

советская наука занимала лидирующие позиции в мире. Доклады на международной конференции «Фундаментальные проблемы техногенной геосреды» (ИГД СО РАН, 2010 г.) свидетельствуют о том, что, несмотря на низкий уровень финансирования разработок современной техники, значительный технологический задел, сделанный в советское время, до сих пор позволяет проводить разработку современных конструкций бурового и горношахтного оборудования. В связи со стабильным финансовым положением горно-добывающих предприятий, значительное количество предприятий машиностроения, выпускающих продукцию другой направленности, начали производство оборудования и комплектующих для сырьевых отраслей экономики.

По динамике внедрения новых материалов и технологических процессов упрочнения машиностроение для добывающих отраслей промышленности наряду с авиакосмическим машиностроением занимает ведущие позиции. Однако в применении новых материалов и технологий можно выделить два подхода.

Если предприятие в советское время являлось монополистом в производстве оборудования определенного типа и занимает лидирующие позиции на рынке России, внедрение новых технологических процессов, направленных на повышение характеристик долговечности, заторможено, так как уменьшает доходы предприятия от реализации запасных частей и расходных материалов.

Однако, количество предприятий, осуществляющих подобную производственную политику, за последнее время существенно уменьшилось вследствие интенсивной экспансии на российский рынок продукции китайских производителей.

Из основных тенденций в применении новых материалов и технологических процессов при изготовлении новых видов оборудования для добычи и переработки полезных ископаемых можно выделить:

- широкое применение технологий нанесения износостойких и коррозионностойких покрытий на основе высоколегированных сталей, никелевых сплавов и керамических материалов;
- применение новых технологий упрочнения поверхностей стальных деталей, таких как лазерная, плазменная, электролучевая обработка [Wang et al., 1997];
- применение сталей, полученных методом электрошлакового переплава с малым количеством вредных примесей;
- применение высокопрочных сталей для изготовления наиболее ответственных деталей узлов. Для изготовления ответственных деталей

горного оборудования за рубежом широко применяются хромоникель-молибденовые стали, которые обладают в 2–3 раза более высокими показателями износостойкости, чем обыкновенные конструкционные [Grobler, Mostert, 1990].

Следует отметить, что в связи с низким качеством отечественного металлоконструирования ряд крупных предприятий для повышения конкурентоспособности своей продукции вынуждены для наиболее ответственных узлов закупать стали иностранного (обычно европейского) производства. Так ОАО «Анжеромаш», победитель в конкурсе лучшего предприятия отрасли в 2005 г., применяет при изготовлении скребковых конвейеров сталь HARDOX производства фирмы «SSAB Oxelosund AB» (Швеция). Сравнительные свойства материалов, применяемых для изготовления отечественного и зарубежного оборудования, приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.5 отражает результаты оценки на 2013 год уровня ряда индикаторов, характеризующих производство оборудования для горно-добывающих и обрабатывающих отраслей.

Полученные данные (табл. 4.4 и 4.5) позволяют, по нашему мнению, определить следующие тенденции в применении новых материалов для производства горношахтного оборудования:

- существенно увеличится разработка технологий нанесения износостойких покрытий на керамической основе и применение керамических композиционных материалов, что связано с их высокой коррозионной стойкостью и износостойкостью. Так, в России прогнозируется рост доли керамических материалов в весе конструкции с 2 до 5 % к 2025 году, а в Европе и США — с 5 до 15 %;
- в общем весе конструкции увеличится доля высокопрочных износостойких сталей с 6 до 30 % и керамических композиционных материалов (с 2 до 15 %), полученных с помощью новых методов и термического и химикотермического упрочнения;
- увеличение к 2025 г. доли новых композиционных материалов на основе полимеров (до 6 %) для изготовления корпусных деталей, не испытывающих значительных нагрузок и воздействия абразива;
- будут разработаны конструкции с возможностью быстрой замены сильно изнашивающихся агрегатов и узлов (агрегатный принцип проектирования с использованием быстросъемных технологических модулей).

Применение новых материалов требует модернизации технологических процессов изготовления деталей горношахтного оборудования. В 2025 г. в разработке новых конструкций оборудования и применении новых материалов наша страна будет незначительно уступать ведущим

Таблица 4.4

Индикаторы свойств материалов, применяемых в производстве оборудования для горно-добывающих и обрабатывающих отраслей (угольные комбайны) в 2013 г.

Марка или тип материала	Удельная прочность в/ 10^5 см	Вязкость разрушения, KIC, МПа $M^{-1/2}$	Долговечность	Технологичность	Удельная стоимость, руб./см ³	Приблизительная доля в весе конструкции, %
РОССИЯ						
Нелегированные стали и чугуны	20	14	П	Х	0,23	85
Высококачественные легированные стали	23	88	Х	У	0,45	6
Алюминиевые сплавы	15	41	Х	Х	0,21	4
Титановые сплавы	24	67	Х	У	5,8	Н. д.
Композиционные материалы и пластмассы	11	54	Х	Х	0,1	3
Керамики	8,7	2,3	О	П	0,2	2
ЕВРОПА И США						
Нелегированные стали и чугуны	20	14	П	Х	0,23	55
Высококачественные легированные стали	23	88	Х	У	0,45	30
Алюминиевые сплавы	15	41	Х	Х	0,21	4
Титановые сплавы	24	67	Х	У	5,8	1
Композиционные материалы и пластмассы	11	54	Х	Х	0,1	5
Керамики	10	11	0	П	3,0	5

Примечание. Здесь и в табл. 4.5 — уровень технологических свойств: О — отлично, Х — хорошо, У — удовлетворительно, П — плохо, Н. д. — нет данных.

зарубежным образцам, за исключением вопросов автоматизации работы оборудования, где технологическое отставание будет значительным.

Предложенный выше тип оценки текущего состояния и прогноза индикаторов свойств новых материалов на примере производства оборудо-

Таблица 4.5

Прогноз индикаторов свойств материалов, которые будут применяться в производстве оборудования для горнодобывающих и обрабатывающих отраслей (угольные комбайны) в 2025 г.

Марка или тип материала	Удельная прочность в/ 10^5 см	Вязкость разрушения, KIC, МПа $M^{-1/2}$	Долговечность	Технологичность	Удельная стоимость, руб./см ³	Прилизительная доля в весе конструкции, %
РОССИЯ						
Нелегированные стали и чугуны	20	14	П	Х	0,23	70
Высококачественные легированные стали	23	88	Х	У	0,45	15
Алюминиевые сплавы	15	41	Х	Х	0,21	4
Титановые сплавы	24	67	Х	У	5,8	Н. д.
Пластмассы и композиционные материалы на их основе	11	54	Х	Х	0,1	6
Керамики и композиционные материалы на их основе	10	10	0	П	2,0	5
ЕВРОПА И США						
Нелегированные стали и чугуны	20	14	П	Х	0,23	40
Высококачественные легированные стали	23	88	Х	У	0,45	35
Алюминиевые сплавы	15	41	Х	Х	0,21	5
Титановые сплавы	24	67	Х	У	5,8	5
Пластмассы и композиционные материалы на их основе	15	70	Х	Х	0,1	5
Керамики и композиционные материалы на их основе	15	20	0	П	4,0	15

дования для горно-добывающих и обрабатывающих отраслей, как будет показано далее, является входным параметром при разработке дорожных карт модернизации машиностроительной отрасли.

Оценка и прогноз свойств применяемых материалов позволяет в дальнейшем экспертным путем определить прогноз развития новых моделей горношахтного оборудования с использованием новых материалов и, соответственно, получить оценки необходимых затрат на модернизацию технологических процессов производства новой техники. Оценки затрат на модернизацию предприятия оборудованием применяются при разработке финансово-экономического профиля программы модернизации машиностроительного предприятия.

4.3.3. Построение технологической дорожной карты

В печати и информационных ресурсах практически не встречаются технологические карты модернизации машиностроительных производств. Наибольшее распространение получили дорожные карты по созданию торговых сетей, услуг, информационных технологий и наноиндустрии.

Основной целью данного раздела является составление проекта дорожной карты модернизации машиностроительных предприятий Сибири, который может быть использован для создания карт развития отдельных секторов машиностроения (или конкретных предприятий) с учетом специфики производства и ассортимента выпускаемой продукции. Основными потребителями таких дорожных карт могут быть:

- руководители машиностроительных предприятий и организаций;
- руководители департаментов промышленности и торговли на региональном и федеральном уровнях;
- ректоры и директора высших и средних специальных учебных заведений, обеспечивающих профессиональную подготовку специалистов в области машиностроения;
- специалисты смежных отраслей промышленности, поставляющие материалы и комплектующие для машиностроительной отрасли;
- потенциальные инвесторы, которые хотят понимать рыночную перспективность инновационного проекта.

Обоснование выбора структуры дорожной карты. Цели и аудитория дорожной карты. Одним из возможных способов представления путей развития продуктов, услуг, технологических процессов или производств являются технологические дорожные карты. В настоящее время не существует четкого устоявшегося представления о том, как должна выглядеть дорожная карта, поэтому под этим термином авторы могут представлять как простые презентации, так и сложные бизнес-планы [Андринко, 2011; Симаранов, 2009; Кузык, 2011; Джемала, 2008].

В целом в основе дорожной карты лежит набор мероприятий, которые взаимно увязаны во времени с факторами выбора и альтернативными путями развития для достижения определенных целей.

Применительно к предприятиям машиностроения понятие технологическая дорожная карта зачастую принимает буквальный смысл, так как существует необходимость увязывать между собой отдельные технологические процессы создания продукта.

С точки зрения управления дорожная карта выступает эффективным инструментом планирования, организации и контроля достижения целей. Дорожная карта позволяет сфокусировать ресурсы на критических технологиях, эффективно использовать ограниченные ресурсы в проведении научных исследований и опытно-конструкторских работ, определить наиболее важные ориентиры, необходимые для достижения поставленных целей.

Существуют различные типы дорожных карт. Наибольшее распространение получили дорожные карты продуктов, карты промышленных технологий и программные дорожные карты. Дорожные карты продуктов являются эффективным механизмом оценки рисков и затрат при создании новых продуктов, машин, устройств. Дорожные карты промышленных технологий используются для выявления потребностей современного производства в создании новых технологических процессов и сравнительного анализа различных технологий между собой. Программные дорожные карты используются государственными или частными организациями для реализации новых долгосрочных программ развития территорий или сфер деятельности.

Наиболее рациональным видом дорожной карты модернизации предприятий машиностроения, по нашему мнению, является смешанная продуктovo-технологическо-программная карта, которая должна учитьывать задачи, решаемые при выпуске нового вида машиностроительной продукции, определенные этапы, связанные с выбором и внедрением новых перспективных технологических процессов и программу действий по реализации поставленной цели. Проект дорожной карты, предлагаемый далее, может быть отнесен к отдельному новому типу карт — дорожным картам модернизации промышленных предприятий.

Общее описание предмета исследования (на примере рынка горношахтного оборудования). Выполненные ранее оценки текущего состояния и прогнозы разработки новых видов горношахтного оборудования, применения новых материалов и технологий при его изготовлении позволили оценить затраты и временной интервал, необходимые для

достижения текущего уровня ведущих зарубежных компаний по сценарию приобретения отдельных технологических линией [Бобылев, Попельюх, 2011]. Однако подобный путь модернизации не устраниет предпосылок технологического отставания. Поэтому необходимым элементом дорожной карты является прогноз эволюции продукта, выпускемого данным предприятием или отраслью, и возможное появление на рынке новых технологических процессов его изготовления.

Анализ мировых тенденций производства горношахтного оборудования свидетельствует, что наиболее важными свойствами горных машин, над совершенствованием которых в настоящее время работают ведущие зарубежные и российские компании, являются недостаточная производительность, низкая надежность и малый ресурс работы. Простое повышение производительности оборудования за счет увеличения скорости обработки и рабочих давлений приводит одновременно к снижению его надежности и долговечности. Традиционные места эксплуатации горного оборудования — шахты, рудники и разрезы обычно расположены на значительном расстоянии от крупных промышленных центров, поэтому внезапные поломки горных машин приводят к длительным простоям и значительным затратам по доставке нового оборудования или запасных частей к месту работы. В условиях подземных выработок вышедшее из строя оборудование сложно, а порой и невозможно извлечь на поверхность [Иванов и др., 1987].

Развитие машин и установок для добычи и обогащения полезных ископаемых наиболее перспективно по следующим направлениям:

- разработка конструкций оборудования с возможностью быстрой замены сильно изнашивающихся агрегатов и узлов (агрегатный принцип проектирования с использованием быстросъемных технологических модулей);
- повышение производительности оборудования за счет увеличения скорости вращения рабочих органов или силы удара за счет увеличения магистрального давления сжатого воздуха;
- разработка новых типов оборудования, использующего в качестве рабочего энергоносителя жидкие среды. Это оборудование более производительно и компактно, однако требует высокой точности изготовления и применения материалов, обеспечивающих высокую прочность деталей и герметичность узлов;
- применение новых материалов, покрытий и способов упрочнения поверхности с повышенными характеристиками износостойкости, коррозионной стойкости и усталостной прочности;

- создание роботизированных комплексов, позволяющих вести разработку полезных ископаемых в опасных условиях без участия человека;
- уменьшение стоимости оборудования за счет его меньшей материалоемкости и применения новых высокопроизводительных способов изготовления.

В настоящее время основными конкурентами российских предприятий в сегменте типового оборудования являются компании Китая, а при изготовлении сложного технологичного оборудования — компании Германии, Швеции и США. Российские машиностроительные предприятия, выпускающие горные машины, обладают неплохим потенциалом для развития (по сравнению с приборостроением или электроникой, где позиции российской промышленности существенно хуже).

Основными конкурентными преимуществами компаний Сибири по сравнению с зарубежными заводами являются близость к металлургическим предприятиям (так как оборудование является очень металлоемким), незначительные расстояния до мест эксплуатации, быстрота поставки запасных частей и традиционные связи производителей и потребителей с советских времен. Однако в целом уровень развития технологических процессов на российских предприятиях остается низким, поэтому, несмотря на явные преимущества в стоимости исходного сырья и низких транспортных затратах доля российского оборудования на рынке продолжает сокращаться.

Структура дорожной карты модернизации машиностроительного предприятия. По нашему мнению, создание дорожной карты модернизации машиностроительного предприятия целесообразно проводить, используя принцип блочного построения с постепенной детализацией. В каждом блоке объединяют мероприятия определенной направленности. Затем устанавливают взаимосвязи отдельных блоков, и составляется общая дорожная карта.

В дорожной карте модернизации на уровне отдельного машиностроительного предприятия целесообразно рассматривать следующие блоки мероприятий:

- необходимые свойства продукта и технологические способы их получения (выбор направления технологического развития);
- последовательность совершенствования инфраструктуры предприятия;
- кадровая политика предприятия;
- план развития информационных технологий;
- порядок технологического перевооружения производства.

Блок 1. Необходимые свойства продукта и технологические способы их получения (выбор направления технологического развития).

Основная задача при составлении дорожной карты машиностроительного предприятия для выбора направления технологического развития заключается в представлении в понятной форме возможных технологических способов получения необходимых свойств продукта и конечных и результатов реализации этого плана (конечной цели модернизации). Выпуск нового оборудования или оборудования с улучшенными характеристиками может преследовать различные цели: увеличение объема продаж и расширения доли компании на рынке; выход на зарубежные рынки или расширение объема экспортных поставок; повышение прибыли компаний за счет обеспечения высокого качества и производительности оборудования и перехода его в новую ценовую группу. Наиболее сложной и технологической и сбытовой задачей является формирование абсолютно нового рынка продуктов, не выпускающихся в настоящее время.

В качестве примера нового сегмента горного технологического оборудования, которое сейчас не производится, можно использовать ручные малогабаритные машины для бурения скважин малого диаметра, предназначенные для водоснабжения дачных участков и домов. Можно предположить, что при реализации соответствующего бизнес-плана такое оборудование может выпускаться большими партиями и стать таким же обычным инструментом, как перфоратор или электродрель. Последовательность составления карты направления технологического развития быть представлена следующим образом.

Этап 1. На первоначальном этапе устанавливают крайние области технологической карты. Выделяют основные свойства оборудования, которые являются наиболее важными для потенциальных потребителей в настоящий момент, и уровень свойств, который необходимо обеспечить для достижения поставленной цели.

К важнейшим потребительским свойствам промышленного горно-шахтного оборудования можно отнести его производительность, ресурс работы, надежность, экономичность, себестоимость и удобство эксплуатации и ремонта (эргonomичность).

Этап 2. Выявление движителей развития продукта.

Основными движителями совершенствования буровой техники являются постоянное усложнение условий добычи и возрастающая труднодоступность ресурсов. В настоящее время интенсивная разработка полезных ископаемых происходит в горах, в северных широтах, на дне

морей и океанов. Широкое распространение получает разработка месторождений на большой глубине залегания пластов. Поэтому стоимость оборудования в данном сегменте рынка не является основным потребительским свойством. Более важны для потенциальных покупателей производительность, ресурс работы и надежность оборудования.

При составлении дорожной карты целесообразно провести ранжирование свойств с введением коэффициентов, которые позволяют учитывать важность для потребителя того или иного свойства. Коэффициент важности K в значительной мере определяется областью применения продукта. Например, если для мобильного телефона одним из наиболее важных показателей, влияющих на конкурентную способность продукта, является цена, то для медицинских имплантатов — их надежность. Количественно коэффициент важности может быть определен следующим образом. Совокупность всех свойств продукта принимают за 100 %, затем при помощи экспертных опросов потребителей определяют долю важности каждого свойства. По нашему мнению, коэффициент важности свойств горношахтного оборудованию может быть распределен следующим образом:

Производительность — $K_{\text{п}} = 30 \%$.

Надежность — $K_{\text{н}} = 25 \%$.

Цена — $K_{\text{ц}} = 20 \%$.

Экономичность — $K_{\text{эк}} = 15 \%$.

Эргономичность — $K_{\text{эрг}} = 10 \%$.

На основе этих коэффициентов может быть рассчитан индекс изменения потребительских свойств (ИПС), на основе которого может быть выбрана наиболее рациональная технология изготовления нового оборудования. Индекс изменения потребительских свойств может быть расчитан по следующей формуле:

$$\text{ИПС} = (K \text{ Ис}),$$

где K — коэффициент важности свойства, Ис — относительное изменение свойства.

Например, внедрение технологии № 1 позволяет изготавливать оборудование, у которого в два раза выше производительность и в полтора раза надежность по сравнению с выпускаемым в настоящее время. Цена нового оборудования в 2,5 раза выше, а показатели экономичности и эргономичности остаются на прежнем уровне. Внедрение технологии № 2 в 1,5 раза повышает производительность, в 1,3 раза надежность, при этом рост стоимости оборудования произойдет в 1,3 раза.

Индекс изменения потребительских свойств оборудования (на основе указанных выше коэффициентов важности), при внедрении технологии № 1 составит:

$$\text{ИПС № 1} = 2 K_{\pi} + 1,5 K_{\nu} - 2,5 K_{\mu} + 1 K_{\text{ЭК}} + 1 K_{\text{ЭРГ}} = 2 \cdot 30 + 1,5 \cdot 25 - 2,5 \cdot 20 + 1 \cdot 15 + 1 \cdot 10 = 60 + 37,5 - 50 + 15 + 10 = 72,5 \%$$

При внедрении технологии № 2:

$$\text{ИПС № 2} = 1,5 K_{\pi} + 1,3 K_{\nu} - 1,5 K_{\mu} + 1 K_{\text{ЭК}} + 1 K_{\text{ЭРГ}} = 1,5 \cdot 30 + 1,3 \cdot 25 - 1,3 \cdot 20 = 45 + 32,5 - 26 = 76,5 \%$$

Таким образом, внедрение технологии № 2 будет предпочтительнее, так как приведет к улучшению потребительских свойств оборудования на 76,5 %. Технология № 1 позволяет улучшить показатели оборудования на 72,5 %.

Анализ работ ведущих специалистов [Смоляницкий, 2012; Репин и др., 2012; Oparin et al., 2013] показал, что в разработке новых конструкций горношахтного оборудования можно выделить следующие основные перспективные направления.

Разработка конструкций оборудования, работающих при повышенном и высоком давлении сжатого воздуха. Применение энергоносителей под высоким давлением позволяет значительно повысить производительность горношахтного оборудования.

- Применение в качестве энергоносителя жидких сред (обычно минеральных масел) под высоким давлением позволяет обеспечивать значительные усилия при малых габаритных размерах устройств. Однако использование жидких энергоносителей требует применения иных технологических подходов к проектированию и изготовлению оборудования вследствие необходимости обеспечения высокой точности изготавливаемых деталей.

- Разработка станков-автоматов или дистанционно управляемых роботов, которые могут производить подземные работы без присутствия операторов в забое (под землей). Основной эффект от внедрения подобной техники заключается в обеспечении безопасности подземных и наземных работ, так как обрушение породы или выбросы метана часто приводят к человеческим жертвам.

- Разработка конструктивных решений горношахтного оборудования по модульному типу. Быстрая замена вышедших из строя модулей позволяет в кратчайшие сроки производить ремонт и существенно уменьшить затраты, связанные с простоем оборудования. В настоящее

время этот принцип широко используется в военном деле. Например, замена двигателя в современных танках занимает 15–20 минут [Филиппов, 2004].

Этап 3. Выявление материалов, которые могут быть применены для изготовления новых перспективных образцов горношахтного оборудования с получением желаемых показателей эксплуатационных свойств.

Из основных тенденций в применении новых материалов и технологических процессов при изготовлении новых видов оборудования для добычи и переработки полезных ископаемых можно выделить:

- применение высокопрочных износостойких сталей и новых методов их термического и химикотермического упрочнения;
- применение высокочистых сталей с малым количеством вредных примесей для изготовления ответственных деталей, работающих в условиях усталостного нагружения;
- применение высокотвердых керамик для изготовления режущего инструмента;
- применение композиционных материалов на основе полимеров, алюминия и титана для изготовления корпусных деталей, не испытывающих значительных нагрузок и воздействия абразива.

Этап 4. Выявление передовых технологических процессов изготовления новых образцов оборудования.

К новым технологическим процессам, появившимся в последнее время и находящимся на стадии опытно-конструкторских работ, можно отнести:

- появление станков с ЧПУ третьего поколения и внедрение технологий обработки крупногабаритных изделий на обрабатывающих центрах с высокой скоростью резания и переход на высокоскоростную обработку закаленных сталей;
- применение новых технологий точного литья: по холодно-твердеющим смесям, под давлением, по газифицируемым моделям, вакуум-пленочного метода формовки;
- применение новых видов обработки металлов давлением: точной штамповки (штамповки в высокоточных закрытых штампах), изотермической штамповки (штамповки в нагретых штампах), гидроформовки (деформации листа созданием давления в жидкой среде), винтовой штамповки (штамповки с кручением), тиксоштамповки (деформации металлов при температурах, близких к температурам плавления);

- разработка и применение технологий нанесения на детали горного оборудования покрытий на основе высоколегированных сталей, никелевых сплавов и керамических материалов, имеющих высокую коррозионную стойкость и износостойкость;
- широкое применение новых технологий упрочнения поверхностей стальных деталей: лазерной, плазменной и электронно-лучевой обработки;
- применение новых технологических процессов сборки изделий — лазерной, плазменной, гибридной, электронно-лучевой сварки, сварочных роботов и автоматов;

Этап 5. Выявление наиболее рациональных путей изготовления образцов новой продукции.

Рациональная технология в значительной мере определяется типом выпускаемого продукта. Например, при производстве буровых станков и машин наиболее перспективные направления развития связаны с использованием оборудования, работающего на высоком давлении сжатого воздуха. Однако в качестве альтернативных направлений развития буровой техники могут быть выбраны разработка современных гидрофицированных установок или буровых роботов. В качестве наиболее перспективных материалов для производства новых образцов буровой техники, работающих на повышенном давлении, являются высокопрочные стали. Наиболее целесообразным методом производства деталей из этих материалов является технология литья с изготовлением литейных форм вакуум-пленочной формовкой. Применение этих технологий рационально по ряду причин. В частности, собственное литейное производство позволяет обеспечить высокое качество стали и возможность производства деталей различного химического состава. Технология вакуум-пленочной формовки обеспечивает высокую точность при отливке крупногабаритных изделий. Такое производство является мобильным и позволяет выпускать широкую гамму бурового оборудования. Наиболее ответственные детали малого размера целесообразно подвергать обработке давлением — точной штамповке. Вследствие того, что детали обычно имеют сложную форму, в качестве основной металлообрабатывающей технологии будет применяться обработка на 5-координатных обрабатывающих центрах. Дополнительные операции нанесения износостойких и коррозионностойких покрытий значительной толщины целесообразно осуществлять высокопроизводительным способом электродуговой металлизации. Горношахтное оборудование, как правило, является массивным, поэтому сборку изделий наиболее рационально про-

изводить с использованием методов гибридной сварки, позволяющим формировать швы большой толщины за один проход.

Расчет индекса изменения потребительских свойств позволяет определить предполагаемое изменение потребительских свойств новой техники при внедрении новых материалов и технологических процессов. При производстве нового поколения бурового оборудования, работающего на высоком давлении сжатого воздуха, потребительские свойства изменятся следующим образом. В результате модернизации предприятие будет выпускать новое оборудование, которое будет обладать производительностью, превышающей в пять раз существующие аналоги. При этом ресурс работы и надежность оборудования будут увеличены в 2 раза. Однако реализация предложенных мер приведет к росту стоимости выпуска в 1,5 раза, а затрат на эксплуатацию оборудования (в связи с повышенным расходом воздуха) в 1,2 раза. Эргономичность оборудования останется на прежнем уровне.

Таким образом, изменение потребительских свойств нового оборудования будет составлять

$$\text{ИПС} = K_{\text{п}} \cdot 5 + K_{\text{п}} \cdot 1,5 - K_{\text{п}} \cdot 1,5 - K_{\text{экс}} \cdot 1,3 + K_{\text{эрг}} \cdot 1 = \\ = 30 \cdot 5 + 25 \cdot 2 - 20 \cdot 1,5 - 15 \cdot 1,2 + 10 = 150 + 50 - 30 - 18 + 10 = 162 \text{ \%}.$$

Предлагаемые меры по техническому перевооружению предприятия и выпуску нового оборудования, рассчитанного на высокое давление, позволят на 162 % увеличить его потребительские свойства.

Другое перспективное направление производства современного бурового оборудования — выпуск оборудования, где в качестве энергоносителя будет использоваться не сжатый воздух, а жидкость. Реализация этого направления позволяет повысить производительность оборудования в 3–3,5 раза, надежность — в 2 раза и уменьшить эксплуатационные расходы на 20 % по сравнению с выпускаемым в настоящее время, однако вследствие сложности конструкции новое гидравлическое оборудование дороже в производстве в 2,5 раза. Индекс изменения потребительских свойств нового гидравлического оборудования будет равен:

$$\text{ИПС} = K_{\text{п}} \cdot 3,5 + K_{\text{п}} \cdot 2 - K_{\text{п}} \cdot 2,5 + K_{\text{экс}} \cdot 1,2 + K_{\text{эрг}} \cdot 1 = 30 \cdot 3,5 + 25 \cdot 2 - \\ - 20 \cdot 2,5 + 15 \cdot 1,2 + 10 = 105 + 50 - 50 + 18 + 10 = 133 \text{ \%}.$$

Таким образом, новое гидравлическое оборудование на треть будет превосходить по потребительским свойствам ныне выпускаемую буровую технику, однако это направление развития является менее предпочтительным (рост потребительских свойств на 133 %), чем выпуск пнев-

матического бурового оборудования, работающего на высоком давлении сжатого воздуха (рост потребительских свойств на 162 %).

Пример проекта дорожной карты выбора направления технологического развития приведен на рис. 4.11. Подробно вопросы, связанные с особенностями модернизации технологических процессов, применением нового технологического оборудования, и прогнозы развития отдельных отраслей промышленности до 2025 г. рассмотрены в рамках форсайт-проекта «Машиностроение и металлообработка» [Бобылев, Попельюх, 2011].

Мероприятия по модернизации технологических процессов могут быть описаны в следующей последовательности.

1. Выбор направления технологического развития (какие новые виды оборудования, технологии и материалы будут применяться).

2. Составление технологического задания с указанием базовых характеристик новых внедряемых процессов (производительности, точности, энергопотребления, требований безопасности и т. д.) и показателей новых материалов (прочности, трещиностойкости, удельного веса, износостойкости).

3. Выбор страны и фирмы-производителя оборудования.

4. Согласование контрактов на поставку.

5. Монтаж.

6. Запуск pilotной серии нового типа горношахтного оборудования.

Ориентировочные затраты на модернизацию технологических процессов производства нового типа горных машин, работающих на высоком давлении сжатого воздуха, могут быть оценены с учетом стоимости, количества и сроков запуска в эксплуатацию нового приобретаемого оборудования.

Блок 2. Совершенствование информационных технологий предприятия. Внедрение информационных систем в машиностроительное производство является необходимым условием его модернизации и позволяет уменьшить время выпуска нового изделия и снизить его себестоимость. Проведенный ранее анализ перспектив внедрения информационных технологий на предприятиях Сибирского федерального округа показал, что основной экономический эффект связан с сокращением сроков НИОКР и времени технической подготовки производства [Бобылев, Попельюх, 2011]. Модернизация информационных систем предприятия должна осуществляться внедрением комплексных систем: PLM-систем (Product Lifecycle Management, PLM) — передовых средств разработки изделий и подготовки производства и MES-систем (Manu-

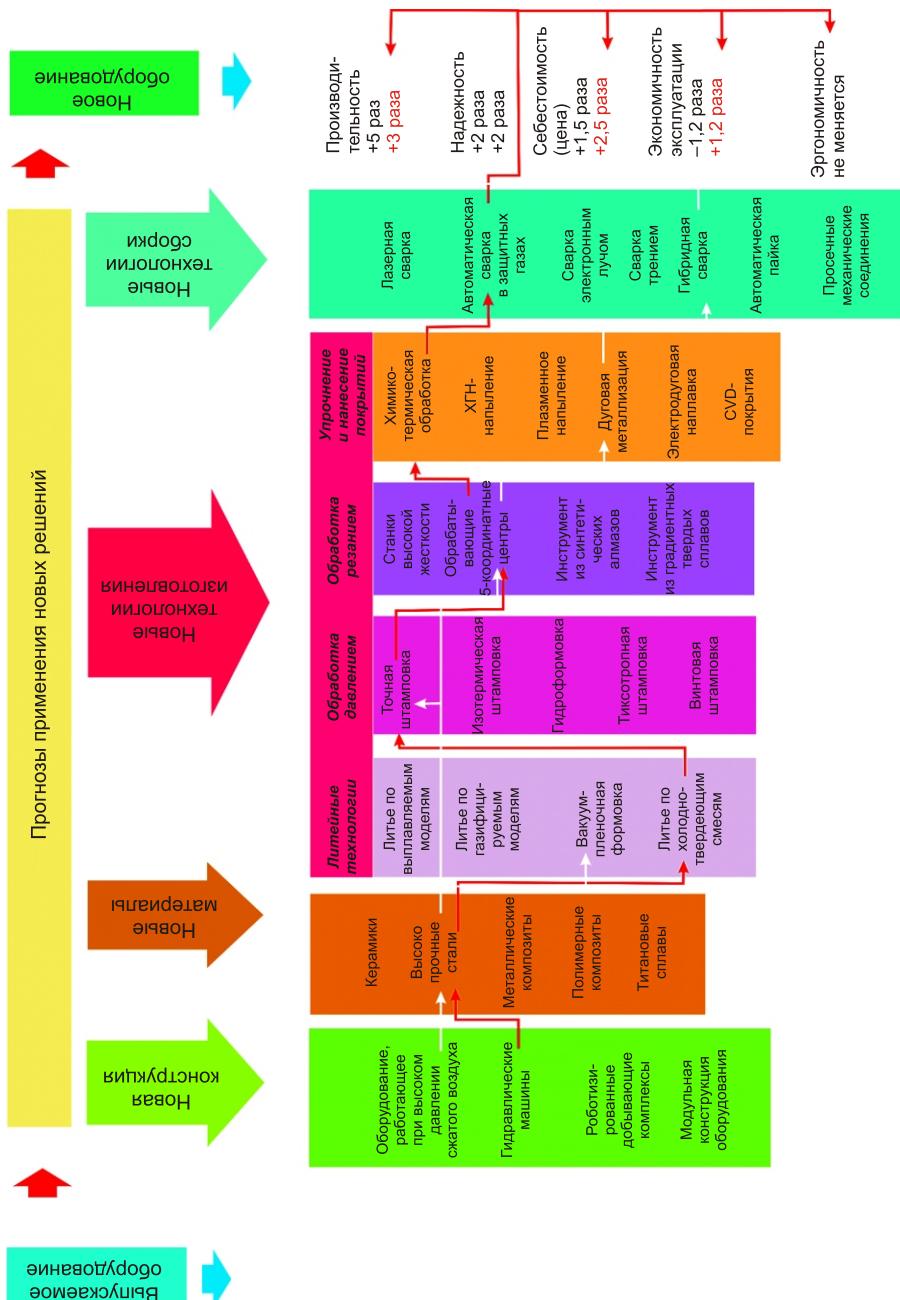


Рис. 4.11. Выбор направления технологического развития

facturing Execution System, MES) — производственных исполнительных систем синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции. Внедрение PLM и MES требует больших затрат на оборудование и программное обеспечение, а также больших временных затрат и пересмотра структуры организации управления на предприятии. Перед внедрением систем необходимо последовательно или параллельно решить ряд задач.

1. Выбор нового типа организации производства. С нашей точки зрения, наиболее предпочтительной системой организации производства горношахтного оборудования на машиностроительных предприятиях Сибири является сборка на заказ или модификации на заказ. Выбор таких систем организации производства связан с тем, что производство горношахтного оборудования является серийным и в значительной мере унифицированным, при этом система позволяет расширить ассортимент оборудования за счет различных его модификаций.

2. После выбора предпочтительного типа организации производства начинается следующий этап — составление технического задания на конфигурацию информационной системы. Учитывая применение информационных систем более высокого уровня, стоимость затрат приобретение одного программного пакета составит от 2 до 5 млн руб.

3. На основании составленного технического задания определяют последовательность закупки нового оборудования и программных продуктов.

4. Уточняется информация о необходимости обучения персонала. Для сокращения длительности внедрения как программных, так и промышленных систем целесообразно параллельное выполнение этапов модернизации.

5. Производится приобретение оборудования и компьютерных систем, прокладка сетевых коммуникаций и их объединение в единую сеть. При приобретении компьютеров следует учитывать тенденцию перехода САПР в системы для «наладонников» и устройств типа iPad.

Следует отметить, что наибольшие затраты на процессы автоматизации машиностроительных производств будут связаны не с внедрением современных информационных систем, а с приобретением современных станков с ЧПУ и промышленных роботов. Сумма инвестиций только в перевооружение металлообрабатывающих производств обойдется среднему российскому машиностроительному предприятию в сумму от 300 до 500 млн руб., что значительно превышает расходы на модерниза-

цию информационных систем. Процесс модернизации можно считать завершенным после запуска всех систем и получения первой прибыли.

Порядок внедрения современных информационных систем и оценка затрат на их внедрение показаны далее на примере дорожной карты внедрения информационных технологий (рис. 4.12).

Блок 3. Кадровая политика предприятия. Внедрение новых технологий, новых подходов к выполнению НИИОКР и технологической подготовки и сопровождения процессов и новых видов промышленного оборудования требует значительных затрат времени на подготовку и повышение квалификации персонала, работающего на предприятии. Система подготовки кадров в значительной мере определяется спецификой специальности, поэтому для разных сфер деятельности целесообразно применять различные методы подготовки и переподготовки. Условно, все специалисты, которые будут задействованы в модернизации информационной структуры в соответствии с блоками дорожной карты предприятия, приведенными выше, могут быть разделены на несколько групп:

1. Специалисты в сфере информационных технологий (системные администраторы). Привлечение этих специалистов необходимо уже на начальной стадии разработки технического задания модернизации информационной системы предприятия.

2. Специалисты-инженеры в области CAD-систем (конструкторы). При подготовке специалистов данного направления необходимо сочетать хороший уровень профессиональной инженерной подготовки со знанием прикладных пакетов CAD-программ. Наиболее рациональной системой образования или повышения квалификации является сотрудничество с высшими учебными заведениями, так как разработчики программных продуктов не смогут обеспечить качественную инженерную подготовку, при этом на рынке труда наблюдается острый дефицит инженеров-конструкторов и инженеров-технологов.

3. Специалисты-операторы станков с ЧПУ.

4. Специалисты по учету (бухгалтеры и менеджеры) и текущему сопровождению производства (мастера и технологии).

Порядок проведения мероприятий по подготовке квалифицированных кадров и приблизительные затраты показаны на примере дорожной карты внедрения кадровой политики предприятия (см. рис. 4.12).

Блок 4. Совершенствование инфраструктуры предприятия. Исторически большинство машиностроительных предприятий Сибири создавались 30–50 лет назад в виде крупных заводов, имеющих полный цикл производства машиностроительной продукции. Поэтому внедрение но-

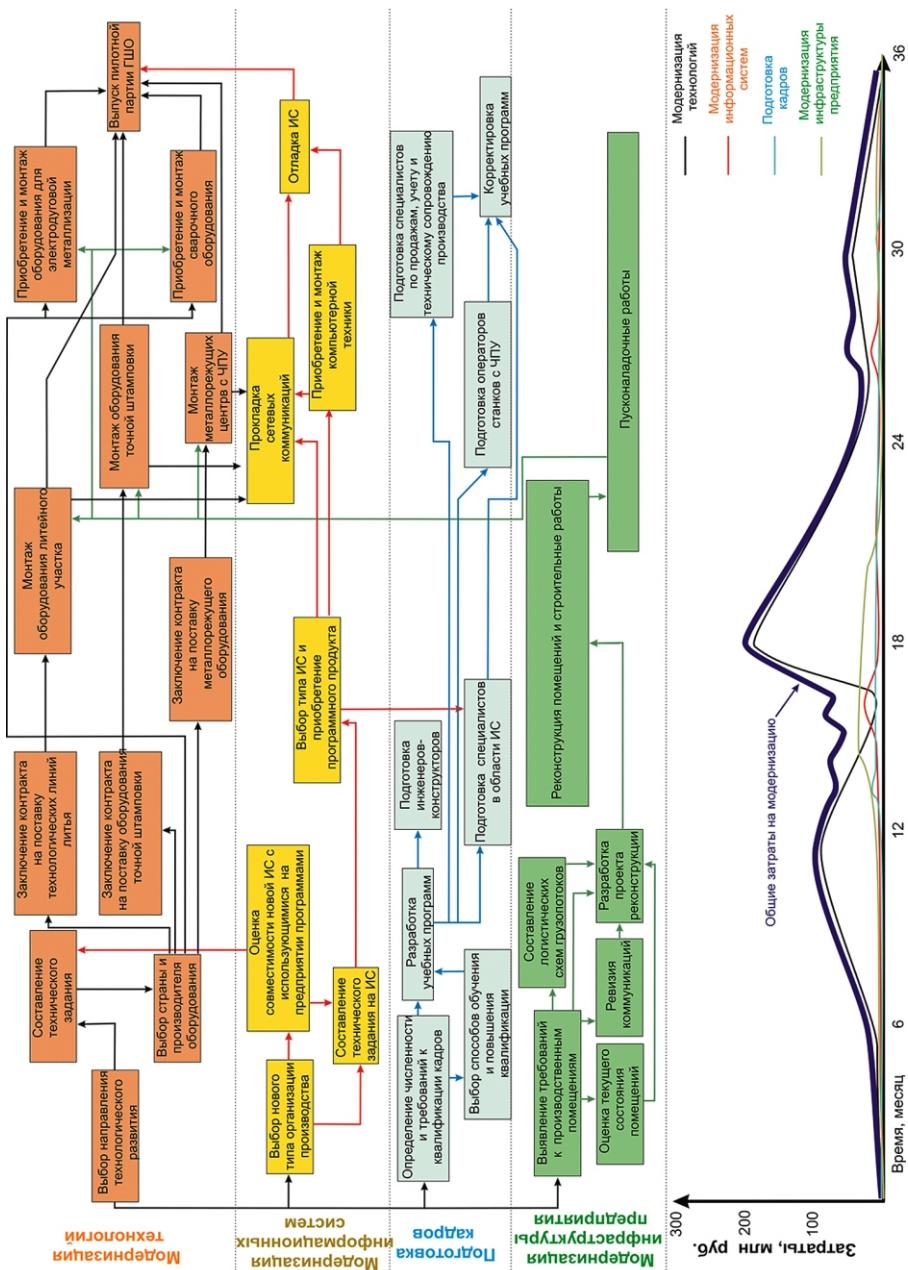


Рис. 4.12. Проект дорожной карты модернизации машиностроительного предприятия

вых технологических процессов, как правило, требует полной модернизации инфраструктуры предприятия, вплоть до строительства новых промышленных корпусов, отвечающих требованиям современных технологий. Основной целью модернизации инфраструктуры предприятия является создание замкнутых технологических цепочек оборудования с полной автоматизацией процессов. При подготовке плана модернизации инфраструктуры предприятия следует учитывать основные общие современные тенденции совершенствования производственных зданий.

1. Сокращение числа трудящихся на производстве и повышение уровня их квалификации приводит к уменьшению доли производственных площадей, занятых вспомогательными и бытовыми помещениями, при одновременном повышении требований к качеству организации рабочих мест.

2. Внедрение в производство гибких автоматизированных систем, робототехники, роторно-конвейерных линий, микропроцессорных средств, станков с числовым программным управлением и т. д. требует обеспечения стабильного теплового режима помещений, их низкой запыленности и хорошей освещенности.

3. Высокая гибкость производства предполагает возможность оперативной перестановки оборудования, поэтому подводимые коммуникации должны быть легкодоступны. Общая тенденция, наблюдаемая при организации современных производств, — прокладка коммуникаций под потолком здания в легкодоступных, быстромонтируемых кабель-каналах.

4. Целесообразно объединение различных технологических линий и складских помещений, имеющих значительную площадь, в один корпус.

5. Создание гибких универсальных промышленных систем требует применения производственных зданий с полом, рассчитанным на максимально возможные нагрузки, так как оборудование монтируется не на фундамент, а ставится непосредственно на пол.

6. Использование типовых промышленных объектов, собираемых из стандартных модулей, позволяет по-разному компоновать основные строительные конструкции, обеспечивая легкость перемещения или замены технологического оборудования и организации новых транспортных потоков.

7. Применение индивидуальных систем отопления существенно уменьшает затраты на теплоснабжение. Наиболее перспективны для использования индивидуальные газовые котельные.

8. Внедрение прогрессивных типов свайных оснований снижает объемы земляных работ, трудоемкость и сроки строительства фундаментов зданий.

9. Использование технологий с высокой степенью экологической безопасности, ориентация на безотходные производства, производства с замкнутым циклом.

10. Выявление и формулирование основных условий функционирования новых производственных процессов, при которых будут обеспечены высокий уровень качества и точности изготавливаемой продукции, безопасности и экологичности производства.

Порядок проведения мероприятий по модернизации инфраструктуры предприятия и приблизительные затраты показаны на разделе дорожной карты внедрения кадровой политики предприятия (см. рис. 4.12).

Рекомендации по организации процесса разработки технологической дорожной карты. Процесс создания технологической дорожной карты включает в себя три этапа. На первом подготовительном этапе происходит сбор необходимой информации для создания дорожной карты и формирование рабочей группы. В частности, должны быть произведены:

- оценка состояния рынка, возможных направлений технологического развития, необходимых компетенций, уровня конкурентоспособности, основных игроков и т. д.;
- привлечение экспертов из органов власти для выяснения возможных преференций (или препятствий) при реализации проекта;
- привлечение экспертов из отраслевых союзов (например, союза машиностроителей) для получения дополнительной информации об отрасли, выяснения вопросов о возможных потребителях разработки и финансировании работ;
- привлечение экспертов предприятий, занимающих ведущее положение в отрасли;
- формирование группы экспертов и рабочей группы по разработке дорожной карты. Разработка концепции дорожной карты. Формулирование целей и задач и желаемого результата разработки дорожной карты, ее временного горизонта;
- разработка проекта и план-графика работы над дорожной картой. Оценка временных и финансовых затрат на разработку карты.

На втором этапе начинается непосредственная разработка дорожной карты: в рамках этапа производят детальную проработку ряда аспектов, важнейшими из которых являются:

- конкретизация целей и задач разработки дорожной карты;
- выделение продуктов или технологий, по которым будет составляться дорожная карта;
- поиск перспективных технологических процессов, позволяющих достичь желаемых показателей свойств продукта;
- выявление основных генераторов и источников финансовых средств технологического развития;
- выявление вариантов различных технологических решений, обеспечивающих получение заданного результата;
- определение наиболее предпочтительных технологических решений в изготовлении продукта (предпочтительную дорогу) с желаемыми свойствами;
- выявление необходимости в повышении квалификации персонала при внедрении новых технологий;
- расчет требуемых финансовых средств для реализации мероприятий дорожной карты с разбивкой по временным интервалам;
- составление дорожной карты в текстовом и графическом формате на основе отчетов экспертов и рабочих групп. Обсуждение и корректировка карты на заседании экспертного совета и предоставление окончательного варианта.

Третий этап работы заключается в отслеживании результатов реализации дорожной карты и внесении в нее необходимых корректировок при существенном изменении текущей ситуации на рынке продуктов, технологий или форс-мажорных обстоятельствах.

4.3.4. Инвестиционно-финансовый профиль программы

Приводимые далее оценки инвестиционно-финансового профиля программы модернизации машиностроительного предприятия приводятся для сценария модернизации: достижение сопоставимого уровня технологического развития российских и зарубежных предприятий.

В современных условиях модернизация машиностроительного комплекса России по такому сценарию возможна несколькими способами:

1. Силами самих предприятий с привлечением производственных мощностей отечественных организаций, работающих на условиях субподряда.

2. Приобретение наиболее сложного технологического оборудования, выпускаемого зарубежными компаниями, с последующим его дополнением технологической оснасткой и средствами малой механизации силами самих предприятий.

3. Приобретение у ведущих зарубежных или российских компаний готовых технологических линий «под ключ», включая технологическую оснастку, транспортные механизмы, устройства сбора и хранения информации и программное обеспечение.

4. Приобретение полного технологического цикла изготовления продукта (например, как это было сделано на ВАЗе в СССР).

Модернизация машиностроительных производств силами самих отечественных предприятий (сценарий 1) в настоящее время представляется проблематичной, так как за последние 20–25 лет в значительной степени утрачен производственный, технологический и кадровый потенциал в отрасли. Традиционным методом модернизации производства на машиностроительных предприятиях Сибири является приобретение за рубежом отдельных единиц технологического оборудования для выполнения наиболее сложных и ответственных технологических операций (сценарий 2). Широкое распространение этого метода обусловлено не его технологическими и организационными преимуществами, а недостаточностью у предприятий свободных средств.

При реализации сценария 2 возникают значительные проблемы при встраивании отдельных единиц технологического оборудования в существующий поток и значительные затруднения в их адаптации к потребностям конкретного производства. Кроме того, применение неоригинальной технологической оснастки и инструмента в значительной мере могут снизить технологические возможности и производительность оборудования.

Реализация сценария 4 — приобретение полного технологического цикла изготовления продукта — рациональна только в условиях многосерийного или массового производства. Так как производство горношахтного оборудования в значительной мере ориентировано на нужды конкретного заказчика и обычно адаптируется под его технические требования, приобретение «под ключ» полного технологического процесса изготовления какого-либо вида оборудования значительно снижает мобильность и гибкость производства, а также требует значительных единовременных затрат.

С точки зрения оптимального сочетания показателей цены и продолжительности мероприятий по модернизации производства наиболее рационально приобретение готовых технологических линий по сценарию 3. Благодаря комплексному подходу в приобретении отдельных технологических линий сокращается время их запуска в эксплуатацию и выхода на проектную мощность, при этом показатели производитель-

ности соответствуют параметрам, заявленным в технической документации. В связи с тем, что возможна поэтапная модернизация производства, объем единовременно инвестируемых в модернизацию средств может быть существенно уменьшен.

Данные статистики и проведенный ранее анализ показателей предприятий Сибирского федерального округа свидетельствуют, что в настоящее время на типичном российском предприятии, выпускающем продукцию общего машиностроительного профиля, работают 500–1000 человек. Средняя годовая выручка от реализации продукции составляет 500–1000 млн руб. с рентабельностью производства 5–10 % [Бобылев, Попельюх, 2011]. Эти показатели взяты за основу при составлении дорожной карты модернизации машиностроительного предприятия, представленной ранее на рис. 4.12 на примере предприятия, выпускающего горношахтное оборудование.

Предприятие, производящее горношахтное оборудование, выпускает механизмы, оборудование и комплектующие для горно-добывающей и металлургической промышленности. Основные потребители — угольные разрезы и шахты (в основном Кузбасса), предприятия черной и цветной металлургии, нефтедобывающие компании Восточной и Западной Сибири.

Для оценки финансовых средств, необходимых для модернизации горношахтного машиностроения Сибири, целесообразно проводить оценку по отдельным статьям затрат на реконструкцию типичного машиностроительного предприятия.

По оценке, минимальные затраты на модернизацию отдельного предприятия общего машиностроения составляют 370–400 млн руб. (в ценах на середину 2011 г.) [Бобылев, Попельюх, 2011].

В рамках проекта «Оценка инвестиционных затрат на модернизацию отдельных направлений машиностроительной отрасли Сибири» [Попельюх, 2011] была произведена оценка по отдельным статьям затрат, необходимых на модернизацию машиностроительного предприятия по сценарию 3 «Приобретение у ведущих зарубежных или российских компаний готовых технологических линий “под ключ”, включая технологическую оснастку, транспортные механизмы, устройства сбора и хранения информации и программное обеспечение».

Как видно из рисунка 4.12, оценивались затраты на модернизацию технологических процессов, информационных систем, инфраструктуры и персонала предприятия: по каждому из элементов на каждое мероприятие и далее по группам мероприятий [Попельюх, 2011].

В качестве примера приведем оценку затрат и сроков осуществления мероприятий по внедрению информационных технологий.

Оценка затрат на внедрение информационных технологий. Большинство российских машиностроительных предприятий имеют в своей структуре информационные сети, однако вследствие значительного отставания в применении современного компьютеризированного оборудования на таких предприятиях отсутствуют комплексные информационные системы, а информационные технологии представляют собой набор не связанных между собой разнофункциональных информационных пакетов по ведению бухгалтерского учета, конструкторских программ, систем учета технической поддержки и т. д.

Внедрение комплексных информационных систем планирования ресурсов (Enterprise Resource Planning, ERP-систем), управления производством (Manufacturing Execution System, MES-систем), взаимодействия с клиентами и сторонними организациями (Product Lifecycle Management, PLM-систем) зависят от большого количества факторов (количества рабочих мест, оборудования, бизнес-модели предприятия и т. п.). При внедрении информационных систем традиционно рассчитывается уровень необходимых затрат на создание одного рабочего места.

В настоящее время средняя стоимость комплекса CAD/CAE/CAM-систем (систем конструирования, проектирования, инженерных расчетов, например комплекса T-Flex) на одно рабочее место составляет около 500 тыс. руб. Стоимость пакета MES-систем (систем технической поддержки и управления производством) составляет около 200 тыс. руб. Стоимость ERP-систем (систем бухгалтерского и складского учета, логистики, организации работы с клиентами, например 1С, составляет порядка 30 тыс. руб.). Кроме затрат на приобретение необходимы постоянные инвестиции в техническую поддержку и подписку на новые версии программ. Следует отметить, что нецелесообразно оснащать каждое рабочее место полным пакетом программ. Наиболее дорогостоящими будут рабочие места инженеров. Цена автоматизации одного рабочего места инженера на предприятии будет составлять приблизительно 700–800 тыс. руб. (без учета оснащения его современным компьютерным оборудованием). Организация одного рабочего места в производственных службах завода, бухгалтерии, коммерческом отделе обойдется приблизительно в 200–300 тыс. руб. (из-за отсутствия дорогостоящих программ расчета и проектирования). Стоимость оснащения одного рабочего места современной компьютерной техникой составляет около 50–70 тыс. руб.

Следует отметить, что большинство российских предприятий используют системы проектирования и бухучета, поэтому требуется дооснащение рабочих мест современной компьютерной техникой и приобретение полных пакетов программного обеспечения, вследствие этого реальные затраты могут быть снижены в 1,5–2 раза. Оценка затрат на внедрение современных информационных технологий на машиностроительных предприятиях Сибири дает 14–27 млн руб. (табл. 4.6).

Аналогичные оценки по другим статьям были сделаны в рамках НИР «Оценка инвестиционных затрат на модернизацию отдельных направлений машиностроительной отрасли Сибири» [Попельюх, 2011]. Мы приводим интегральные оценки затрат в табл. 4.7. Как видно из таблицы, применительно к предприятию, изготавливающему горношахтное оборудование, наибольших затрат требуют модернизация технологических процессов обработки резанием (46 % от всего объема инвестиций) и литьевые технологии (22 %).

Для обеспечения высокой точности изготовления и качества продукции требуется реконструкция части производственных помещений (8 %

Таблица 4.6

Оценка затрат на модернизацию информационных технологий машиностроительного предприятия

№	Статья затрат	Стоимость, тыс. руб.	Количество	Сумма, тыс. руб.
1	Организация одного рабочего места инженера	750–850 за место	10–20 рабочих мест	7 500–17 000
2	Организация одного рабочего места в производственных и коммерческих службах	250–300 за место	50–70 рабочих мест	12 500–21 000
3	Техническая поддержка и обновление программных продуктов	200–300 за программный продукт	4–5	0,8–1,5
4	Компьютеры и оргтехника	50–70	100	5 000–7 000
5	Сервер	200–300	4–5	1–1,5
6	Прокладка сетевых коммуникаций	100–200	1	0,1–0,2
7	Стоимость внедрения современной ИС на предприятии (с нуля) — 26,9–48,2 млн руб.			
8	Стоимость внедрения современной ИС на предприятии (с учетом имеющегося технологического задела) — 13–24 млн руб. (50 % от строки 7 данной таблицы)			

Таблица 4.7

Оценка затрат на модернизацию по сценарию приобретения готовых технологических линий «под ключ»

№	Статья затрат	Сумма инвестиций, млн руб.	Срок модернизации, месяцев
1	Заготовительное производство	10	9
2	Литейное производство	83	36
3	Кузнечно-штамповочное производство	21	24
4	Обработка резанием	170	14
5	Технологии упрочнения, нанесения защитных и износостойких покрытий	15	23
6	Сварочные технологии	10	20
7	Информационные технологии	26	22
8	Обучение специалистов	12	36
9	Реконструкция зданий и сооружений (для обеспечения требуемого качества продукции)	30	13
	Итого	377	36

от всего объема инвестиционных вложений). Затраты на модернизацию других технологических процессов составляют 3–6 % от инвестиционного портфеля. Структура затрат может меняться в зависимости от вида производимой продукции, но, несомненно, основной статьей затрат останется модернизация металлорежущих технологий.

График общих затрат на модернизацию получен как суммирование затрат по каждому из вышеприведенных направлений. Как видно из графика, пик затрат приходится на 18–20-й месяц реконструкции, это связано с приобретением оборудования для основных технологических процессов (см. рис. 4.12).

Анализ материалов проекта дорожной карты свидетельствует, что для модернизации типичного машиностроительного предприятия Сибири по сценарию 3 необходимо около трех лет. Максимальные инвестиционные затраты будут необходимы приблизительно через полтора года после начала проекта, а общая сумма инвестиций составляет около 400–500 млн руб.

Реализация мероприятий, предусмотренных дорожной картой, позволит выпускать новое горношахтное оборудование, которое по своим потребительским свойствам в 2,5 раза будет превосходить выпускаемое в настоящее время. Предложенный проект дорожной карты может быть

использован при разработке программ модернизации машиностроительных предприятий другого направления, а также применяться в качестве элемента обоснования при разработке программ модернизации отрасли в целом.

* * *

Итак, приведен опыт апробации методического подхода к формированию отраслевых программ технологической модернизации. Одним из ключевых результатов, полученных на данном этапе проекта, является, по нашему мнению, проект продуктово-технологическо-программной дорожной карты модернизации машиностроительного предприятия.

Продуктово-технологическо-программная дорожная карта является эффективным инструментом для разработки мероприятий по модернизации предприятий машиностроительной отрасли Сибири и использование данного метода позволяет составить целостную картину действий с учетом временных и финансовых показателей. В результате составления проекта дорожной карты модернизации машиностроительных предприятий Сибири были оценены основные тенденции развития производства горношахтного оборудования, проведен анализ новых технологических процессов и материалов, являющихся перспективными при производстве буровой техники, и обоснованы основные направления модернизации. Сформулированы предложения по структуре дорожной карты и организации действий по ее разработке.

Оценки, сделанные для разработки финансово-экономического профиля реализации программы модернизации, показывают, что для модернизации типичного машиностроительного предприятия Сибири по сценарию 3 необходимо около трех лет. Максимальные инвестиционные затраты будут необходимы приблизительно через полтора года после начала проекта, а общая сумма инвестиций составляет около 400–500 млн руб.

4.4. Распределенная энергетика и перспективы развития умных электрических сетей (smart grids)

Если руководствоваться классификацией инноваций, приведенных в главе 1, то к цивилизационной инновации следует отнести использование электричества для освещения и получения механической и химической энергии. Эпохальной инновацией, «технологией широкого применения» следует считать создание энергетических систем, которые от-

крыли возможности нового технологического уклада. Энергетические системы как инновации нашли применение по многим направлениям человеческой деятельности.

Базисной инновацией, входящей в состав энергетических систем, являются электрические сети, конкретизирующие эпохальную инновацию «энергетическая система». Внутри электрических сетей прошло множество улучшающих инноваций и микроинноваций.

Все эти инновации нижнего уровня (основные из которых рассмотрены далее) привели фактически к некоторой интегральной инновации, которая тоже может называться эпохальной.

«Умные сети» в электроэнергетике представляют собой один из важнейших элементов мирового инновационного процесса. «Смысл “smart grids” в том, чтобы сделать “интеллектуальными” генерацию, передачу и распределение электрической энергии, насытить электрические сети современными средствами диагностики, электронными системами управления, алгоритмами, техническими устройствами типа ограничителей токов короткого замыкания сверхпроводящих линий и многим-многим другим, что сегодня появилось в науке и технике. Грубо говоря, это соединение возможностей информационных технологий, уже привычных для нас из Интернета, с силовой электротехникой» [Фортов, 2014].

«Умные сети» обеспечивают возможность использования различных источников энергии, в том числе, таких, поступление энергии от которых не гарантировано (ветро- и гелиоэнергетика). Распределенная энергетика, в свою очередь будет влиять в перспективе не только на размещение производительных сил, но и на социально-экономические структуры, и на политическое устройство, и на формы хозяйственной жизни. Распределенная энергетика означает экономическую независимость территорий и регионов. Изменится структура государственных и межгосударственных образований. Естественно, что не сама распределенная энергетика или «умные сети» будут воздействовать на механизмы хозяйствования, они лишь создают технические возможности будущих кардинальных социально-экономических изменений. В особенности это касается российской экономики.

Единая энергетическая система России создавалась для экономических условий, принципиально отличных от нынешних. Как и в прочих отраслях экономики, ориентация шла на объемные показатели выпуска, тогда как другие показатели деятельности считались второстепенными: производительность оборудования, потери, окупаемость инвестиций

и т. д. Объясняется это наследием советской плановой системы, которая принципиально ориентировалась на объемные показатели.

«...под развитием отрасли всегда понималось увеличение энергетических мощностей, ввод новых электростанций, и общественный интерес к модернизации был направлен именно в эту плоскость, а развитие электросетевой инфраструктуры рассматривалось во вторую очередь. На этом строился пиар так и не реализованных по срокам программ РАО ЕЭС (так называемое ГОЭЛРО-2) или атомного ФЦП. Из-за поднятого грамотными промоутерами из РАО и “Росатома” шума о готовности построить десятки новых станций мало кто слышал их оппонентов-технологов. Профессионалы же говорили о необходимости первоочередной модернизации уже существующих тепловых и атомных станций за счет повышения КПД и коэффициента использования установленной мощности, предлагали обновлять и развивать сетевое хозяйство для “открытия” запертых мощностей и оптимизации перетоков мощности и снижения процента потерь в сетях» [Имамутдинов, 2010].

Именно в этом контексте и следует оценивать перспективы развития smart grids в российской энергетике. Это, прежде всего, смена приоритетов и переформулирование задач, стоящих перед отраслью. Не столько увеличение объемов производимой электроэнергии, сколько совершенствование и повышение качества и эффективности в уже существующей электроэнергетике. Именно на это и ориентированы «умные сети», или smart grids.

Интеллектуальные электрические сети представляют собой недавно открывшийся уникальный рынок для мировой экономики, емкость которого на ближайшие 10–15 лет составит 200 млрд долл. в год. Прогресс здесь ожидается не меньший, чем скачок в технологии телекоммуникаций с его Интернетом и сотовой связью.

Мир переживает кардинальные изменения в сфере, имеющей принципиальное значение для современной хозяйственной деятельности, — передаче электрической энергии. Электрические сети из пассивных устройств транспорта электроэнергии превращаются в средства получения дополнительной электрической мощности.

Термин smart grids за рубежом существует с другими терминами: Future Grid, Empowered Grid, Modern Grid, IntelliGrid и даже Wise Grid. В России в официальных документах принят термин «активно-адаптивные сети», но часто используются термины «интеллектуальные сети» и «умные сети». В отличие от европейской практики новые термины применяются не только к распределительным сетям, но и ко всем элект-

рическим сетям вообще. Это смещение сферы приложения терминов показательно. Для развитых стран smart grids представляют собой техническую основу изменения правовых и организационных отношений между участниками энергетического рынка. В российской практике стремятся обойти эту наиболее важную проблему, поскольку неравноправное положение поставщиков и потребителей электроэнергии предполагается непреодолимым и естественным.

В рамках европейского Стратегического плана энергетических технологий (Strategic Energy Technologies Plan — SET-PLAN) разрабатывается ряд программ, называемых Европейскими промышленными инициативами. Одна из них — Инициатива европейских электрических сетей (European Electricity Grid Initiative — EEGI). Она рассчитана до 2020 г., когда все электрические сети Евросоюза будут преобразованы в интеллектуальные. При этом подчеркивается, что в основе этих преобразований лежат не столько технологические, сколько системные инновации.

Федеральная комиссия по регулированию в области электроэнергетики США (FERC) разработала стратегию развития интеллектуальных сетей, в которой главным направлением определена разработка ключевых стандартов для достижения функциональной совместимости интеллектуальных систем и устройств. Она имеет два основных компонента: нормативный и технический. Нормативная компонента состоит из стандартов и технических условий. Техническая определяется функциональными возможностями устройств новой конструкции и способами настройки этих устройств.

Во многих странах работа над модернизацией сетей начинается с образцово-показательных пилотных проектов. Так, в городе Майами (штат Флорида) реализуется проект Energy Smart Miami, в котором к местной энергокомпании Florida Power & Light присоединились такие гиганты, как General Electric, Cisco Systems и Silver Spring Networks. Это пилотный проект по внедрению интеллектуальной энергосети с объемом инвестиций 200 млн долл. Крупнейшие компании мира создали объединение-альянс Smart Energy Alliance. В него вошли GE Energy (дочь General Electric), Capgemini, Cisco Systems, Hewlett-Packard, Intel, Oracle и другие. Теперь в рамках альянса возможны комплексные решения по преобразованию электрических сетей.

В Испании «умные» системы установлены на линиях с напряжениями от 13 до 110 кВ. Для сетей 380 В, идущих непосредственно к конечным потребителям, просто модернизированы диспетчерские службы, следящие за работой электросетей. Правда, и здесь требуется модерни-

зация: выделенные линии связи, эффективные системы диагностики и мониторинга и т. д. Возможно, испанский вариант окажется наиболее привлекательным для российской электроэнергетики в силу «запущенности» испанского энергохозяйства, аналогичной той, что существует в современной России.

Общепризнанный лидер технологии «умных сетей» — Дания, где реализуется масштабный проект EDISON. Именно он стимулирует вовлечение в эту проблематику крупных европейских компаний: компании IBM, Siemens и DONG Energy уже задействованы в датском проекте. Причина лидерства Дании в том, что в ее энергетике высокую долю составляют альтернативные источники, в том числе ветряные электростанции, которые дают почти 20 % всей вырабатываемой электроэнергии.

В 2013 г. общемировые объемы вложений составили 14,9 млрд долл.¹ Примерно половина инвестиций касалась smart metering, т. е. интеллектуальных приборов учета. Из этого следует, что интеллектуализация учета электроэнергии — это половина программы создания smart grids. Вторая половина инвестиций распределилась между демонстрационными проектами и средствами автоматизации распределительных сетей (distribution automation). Доли этих двух направлений в точности неизвестны, но есть предположение, что демонстрационные проекты занимают значительную долю этой половины.

Китай в 1212 г. инвестировал в smart grids 4,3 млрд долл и превратился в крупнейшего в мире инвестора в «умные сети», превзойдя по объемам инвестиций в них США². В том же году Китай обогнал США и по объемам инвестиций в возобновляемую энергетику. Это показывает, что развитие возобновляемой энергетики и smart grids представляет собой некоторый единый процесс. В Китае уже больше половины инвестиций пошло на smart metering. По плану, к 2017 г. должно быть установлено 62 млн интеллектуальных приборов учета. По состоянию на 2013 г. уже было установлено около 250 млн таких приборов. Для сравнения, основной в РФ производитель интеллектуальных приборов учета новосибирская компания «Радио и микроэлектроника» за 10 лет (2003–2013 гг.) обеспечила установку лишь 1,5 млн приборов. Общее количество интеллектуальных приборов учета, установленных в распределительных сетях РФ, по оценкам экспертов, не превышает 8 млн шт., что в 31 раз меньше, чем в КНР.

¹ Данные экспертного отчета Bloomberg New Energy Finance (BNEF).

² <http://www.smartgrid.ru/analitika/issledovaniya-kitay-vpervye-operedil-ssha-po-obemam-investiciy-v-smart-grid/>

Российская практика. По оценкам экспертов, экономический эффект от внедрения интеллектуальных сетей в электроэнергетику РФ составит 50 млрд руб. в год. Эта цифра явно занижена в силу того, что экономический эффект от внедрения «умных сетей» проявляется по многим направлениям. Занижению оценки этого эффекта способствует и то, что неясно, какой субъект рынка электроэнергии будет использовать этот эффект, превращать его в свои доходы.

Выручка сетевых и генерирующих компаний напрямую зависит от объемов продаж, стимулы к энергосбережению минимальны. Поэтому начинать нужно с разработки правил, способствующих и энергосбережению, и повышению надежности работы сетей, и улучшению качества электроэнергии. Эту проблему вполне понимают и на уровне правительства РФ, и на уровне Государственной думы, и в Федеральной сетевой компании (ФСК). Федеральный закон «Об электроэнергетике» определяет ответственность энергосбытовых организаций и поставщиков электроэнергии перед потребителями за надежность обеспечения их электрической энергией и ее качество в соответствии с техническими регламентами и иными обязательными требованиями. Но, как отмечают специалисты, этой ответственности недостаточно для формирования нормального рынка электроэнергии, получения дополнительной электрической мощности.

В связи с «умными сетями» по-новому выглядит проведенная реформа энергетики, обычно связываемая с именем А. Чубайса. В основе реформ энергетики лежал догматический принцип формирования энергетического рынка через дробление технологических цепочек: через отделение генерирующих компаний от сетевых, магистральных сетей от распределительных, сетевых компаний от сбытовых.

Этот принцип находится в явном противоречии с концепцией «умных сетей» согласно которой в единую автоматизированную систему на технологическом уровне объединяются генерирующие, сетевые, сбытовые и потребляющие структуры. Границы единой технологической цепочки выработки, передачи и потребления электроэнергии стираются, поскольку автоматические устройства работают так, что контролируют и регулируют процессы по всей цепочке безотносительно организационно-экономических границ. Все участники энергетического рынка теряют экономическую самостоятельность. По этой причине само деление собственности по технологическим этапам становится бессмысленным. Вместо внедрения конкуренции реформы в энергетике сформировали масштабный барьер инновациям в отрасли. В рамках развития «умных сетей» разделе-

ние генерации, передачи и сбыта электроэнергии тормозит реализацию автоматических реакций системы на изменения условий работы энергосистемы через эти границы, не позволяет повышать интегральную надежность и экономическую эффективность энергетики в целом.

До тех пор, пока на официальном уровне не будет зафиксировано, что реформы в энергетике были ошибочными и стали тормозом для инноваций в энергетической сфере, перспективы внедрения «умных сетей» в РФ будут невысокими, а меры, предпринимаемые на федеральном уровне, будут симуляцией реальной инновационной деятельности.

В начале 2010 г. премьер-министр РФ В.В. Путин высказался о необходимости развития «интеллектуальных» систем. Уже через два дня ФСК включило в программу развития энергосистем раздел «интеллектуальные» сети. Это направление было оформлено подпрограммой «Активно-адаптивные сети на период 2010–2012 гг.». За три года были освоены инвестиции объемом почти 520 млрд руб. Кроме того, для МРСК до 2012 г. было выделено еще 360 млрд рублей. За два с небольшим года (9 кварталов) из бюджета выплачены 880 млрд руб., или по 18,3 млрд руб. в месяц. Несмотря на исследования аналитиков, не удалось установить, кому были выделены эти средства.

Сомнения вызывают не только скорость принятия решения и неизвестный источник финансирования, но и сама цифра, сопоставимая с инвестициями в аналогичные программы США. Кроме того, ФСК отвечает в нашей стране только за магистральные сети, тогда как за распределительные сети отвечает МРСК, которой до 2012 г. выделено всего 360 млрд рублей. К тому же не ясно, входят ли в эти суммы задачи поддержания ЛЭП, обновление подстанций и т. п. Нужно еще раз подчеркнуть, что термин smart grids за рубежом относится исключительно к распределительным сетям. Получается, что в российском варианте имеет место не просто смещение термина, а прямое его замещение. «Умные сети» трактуются как внутренние дела сетевых компаний, относящиеся к компетенции ФСК, т. е. к магистральным сетям. А это означает, что «умные сети» в России и за рубежом — несколько разные сферы деятельности.

Несколько лучше обстоят дела с pilotными проектами. В 2010 г. началась разработка pilotного проекта интеллектуальной сети в Санкт-Петербурге, цель которого состоит в отработке типовых решений по одному из районов города. Предполагается, что они будут тиражироваться по всей России. Но к 2014 г. этот проект был не готов к такому тиражированию.

Модернизация электрических сетей и внедрение их интеллектуализации представляет собой непростое дело в стране, где работа электрических сетей обеспечивается разношерстным и устаревшим оборудованием, а современным требованиям не отвечают не только средства автоматики, но даже сечения проводов. Кроме того, развитие интеллектуальных сетей станет чрезвычайно важным моментом при большом числе малых энергетических установок.

Части российских электрических сетей плохо совместимы и недостаточно надежны. И если ориентироваться только на действующее законодательство и нынешние стандарты, то это выглядит нормально. Понятно, почему и стандарты, и законодательные акты разрабатывались под сильным влиянием энергетиков, которые не желали усложнять себе жизнь. Так, стандарты почти не касаются сетей напряжения 380 В, эта сфера вообще считалась малозначимой, хотя именно там и происходят основное число аварий.

По этой причине ФСК отвела первую пару лет программы модернизации сетей исключительно на нормотворчество. Это было естественным шагом, поскольку, как говорилось, «умные сети» дают основной эффект в распределительных сетях, а ФСК отвечает за магистральные сети. Уже созданы серии стандартов для устройств и систем телемеханики и на законодательном уровне в общих чертах определены требования к интеллектуальным сетям. Но прошло уже три года после начала кампании, но практических мер еще не принято. 2013 г. прошел без заметных сдвигов в создании «умных сетей». Основная техническая причина задержки продвижения «умных сетей» в российскую энергетику состоит в том, что генерирующие и сетевые компании привыкли к тому, что все потери электроэнергии, как текущие, так и от аварий, оплачиваются потребителями, что за низкое качество электроэнергии не следует штрафных санкций, и т. д.

В настоящее время не только развитие «умных сетей», но и рядовая автоматизация распределительных электрических сетей развивается с отставанием от аналогичных процессов в зарубежных энергетических системах. Можно отметить несколько причин такого отставания:

- отсутствие хороших отечественных решений (программных средств), способных работать с большими объемами информации, с сетями, насчитывающими сотни тысяч потребителей,
- закрытость существующих программных пакетов, отказ государства сделать эти программные пакеты открытыми, как это было сделано всеми развитыми странами мира,

- отсутствие прямой заинтересованности сетевых компаний, оторванных от средств, собираемых энергосбытовыми компаниями,
- дороговизна программ создания «умных сетей», если в принятии решений ориентироваться на зарубежные аналоги.

Но эти частные препядствия развитию «умных сетей» существенно менее важны, чем основной барьер технологически разделенного монополизма, о котором речь шла выше.

Характерно, что проблемы реструктурирования отношений на энергетическом рынке РФ при внедрении технологии «умных сетей» вообще не поднимаются.

Возьмем за образец программу развития «умных сетей», которая реализуется в Сингапуре. Еще до начала реализации программы в электроэнергетике Сингапура уже использовались системы автоматического управления сетями (Supervisory Control and Data Acquisition — SCADA). Эти системы включали в себя двухканальные средства получения информации о текущем состоянии сетей, т. е. то, что отсутствует в наших распределительных сетях. В 2009 г. Агентство энергетического рынка Сингапура Energy Market Authority (EMA) начало пилотный тестовый проект по созданию интеллектуальной энергосистемы, получивший название «живая лаборатория». В пилотном проекте установлено 4500 интеллектуальных приборов учета электроэнергии. Двухканальную информационную систему превратили в трехканальную: оптоволоконная связь, радио и Wi-Fi. Была построена специализированная оптоволоконная система, предназначенная только для обслуживания распределительных электрических сетей. Но главное, что рассматривается как наиболее важная информация, — возможность более полно информировать потребителей о поставляемой им электроэнергии. Система оперативно реагирует на все возможные нарушения режимов работы электрических сетей.

В системе интегрированы многочисленные альтернативные источники электроэнергии (солнечные батареи и ветряки), причем режим сводится к тому, что источник включается в сеть без предупреждения в любое время. Ключевым элементом проекта считается увеличение роли потребителя в функционировании сети вплоть до возможности оперативной смены поставщика электроэнергии. Для 400 потребителей было проведено обучение анализу информации о текущем потреблении ими электроэнергии. Сама постановка задачи развития «умных сетей» как средства усиления роли потребителя на энергетическом рынке для нашей страны выглядела бы необычной. Такая постановка противоречила бы общей установке государственной власти опоры на крупные компа-

нии с государственным участием. Производители заинтересованы в увеличении потребления электроэнергии.

В Сингапуре для будущих «умных сетей» поставлена задача сократить потребление электроэнергии на 2,4 % в среднем и на 3,9 % в пиковых нагрузках. Причем это касается не уменьшения потерь, а осознанного сокращения потребления электроэнергии самими потребителями за счет оптимизации ими режимов энергопотребления ради экономии семейных бюджетов.

Домохозяйства в Сингапуре стимулируются к уходу от потребления электроэнергии в часы пик и к установке программируемых бытовых приборов. Такие приборы интегрируются в общую систему управления сетью через компьютерные программы энергосбережения, которые поставляются как поставщиками приборов, так и сетевыми компаниями. Таким образом, опыт Сингапура учит нас тому, что необходимы инвестиции в развитие активности потребителей электроэнергии вплоть до внедрения систем обучения энергосбережению в домашнем хозяйстве.

Пилотный проект «умных сетей» Сингапура делится на два этапа. На первом этапе создается информационная инфраструктура, в которой информация может идти в двух направлениях: к потребителю и от него. На этом же этапе решается и проблема произвольно включающихся и отключающихся распределенных источников энергии, в том числе системы станций зарядки электротранспорта. Оборудование для проекта поставляли компании IBM, Accenture, Logica и Siemens.

На втором этапе пилотного проекта основное внимание будет уделяться вовлечению в процесс управления потребителей, как домохозяйств, так и коммерческих предприятий. На этом же этапе должна быть организована реальная конкуренция между продавцами электроэнергии, включая государственные структуры и девелоперские компании. Для этого должна быть обеспечена тотальная установка интеллектуальных приборов учета с возможностями дистанционного (в том числе через Интернет) считывания их показаний. К задачам второго этапа относится и сокращение потребления во время пиковых нагрузок, что дает двойную выгоду. Не только потребители экономят на том, что им поставляется полноценная электроэнергия (стандартного напряжения и частоты), но и сетевые структуры уходят от чрезмерных нагрузок и перенапряжений. К тому же открываются возможности прироста потребления без дополнительных инвестиций в сети.

Для реализации программы создан Институт энергетических исследований (ERI@N). Институт привлек к своей деятельности шесть веду-

ших университетов мира: Технологический институт Австрии, Швейцарский Эколь политехик (Лозанна), Лондонский императорский колледж, Норвежский институт науки и технологии, Кембриджский университет, Мюнхенский технический университет. Привлечение иностранных специалистов — также опыт, который нужно заимствовать.

Для контраста ведущей организацией по развитию российских «умных сетей» считается группа компаний VOLTA Engineering Group (VOLTA EG), инжиниринговая группа численностью всего 370 человек, созданная в 2011 г. по инициативе ФСК инвестиционной компанией ru-Net и тремя российскими фирмами: ЗАО «НОВИНТЕХ», ООО «ВОЛЬТА Системы Управления» и ООО «Энергософт ИК». Ею реализовано более 250 комплексных проектов во всех федеральных округах от Северо-Запада до Дальнего Востока на 150 подстанциях и 12 Центрах управления сетями ОАО ФСК ЕЭС и ОАО «Холдинг МРСК», 11 диспетчерских центрах ОАО «СО ЕЭС», филиалах ООО «Газпром Межрегионгаз», филиалах ОАО «РусГидро».

Созданная на волне интереса к «умным сетям», поднявшейся в 2010 г., VOLTA EG занимается проектированием в более широком контексте, чем собственно smart grids, в частности, защитой сетей энергоснабжения от киберугроз, а также обучением и тестированием персонала, сервисным обслуживанием и технической поддержкой. Когда ведущая организация в развитии отечественных «умных сетей» насчитывает менее 400 сотрудников и создана всего лишь в 2011 г., можно представить себе скромные масштабы этой инновационной деятельности для страны в целом. И, естественно, такая организация не ставит задачи международного сотрудничества в масштабном развитии российских «умных сетей».

Умные сети как средство снижения потерь. В сложившихся организационно-экономических условиях, когда интересы участников российского рынка электроэнергии не согласованы друг с другом и не ориентированы на улучшение функционирования, необходимо было выдвинуть цель, которая была бы понятна не только участникам энергетического рынка, сколько властным структурам и внешним наблюдателям. И такой целью стало снижение потерь при транспортировке электрической энергии.

Доля потерь в отечественной энергетике существенно выше, чем в развитых зарубежных странах. Во Франции потери в магистральных сетях составляют 2,1 %, в распределительных сетях 3,7 %. Потери в магистральных сетях Чехии и Австрии составляют всего 1,5 %, в распреде-

лительных сетях Австрии потери составляют 4,5 %, тогда как в Чехии, унаследовавшей социалистическое хозяйство Чехословакии, 7 % [Treatment, 2008].

Как видим, потери в распределительных сетях всегда выше, чем в магистральных. Тем более необоснованным выглядит определение главным получателем инвестиций на создание «умных сетей» ФСК, то есть организации, в сферу компетенции которой входят только магистральные сети. Впрочем, такому выбору есть объяснение.

Выделено три направления снижения потерь электроэнергии: снижение технических потерь; потерь, обусловленных погрешностями приборов учета, и коммерческих потерь электроэнергии. Некоторые меры приводят к одновременному снижению потерь по всем трем направлениям.

За счет сокращения потерь в электрических сетях можно сэкономить не менее чем 2,1 % электроэнергии. Такой уровень признан в Государственной программе энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период до 2020 г. Это примерно 2,8 млн т условного топлива, или около 22 млрд кВ ч электроэнергии (или 15 % электроэнергии, производимой на ГЭС). Но возможности экономии в сетях существенно больше, чем предполагается программой. Для этого нужно более строго определить масштабы потерь при передаче электроэнергии.

Пока существуют пять методов расчета потерь электроэнергии в сетях:

- 1) оперативных расчетов;
- 2) расчетных суток;
- 3) средних нагрузок;
- 4) учета числа часов наибольших потерь мощности;
- 5) оценки потерь по общей информации о нагрузках и схемах сети.

Методы не равноценны, самый точный — первый, наименее точный — пятый. Но чем точнее метод, тем выше затраты на его применение. Поскольку практика такова, что за потери платит потребитель, а расчеты, как правило, поручаются производителям, то используются наименее точные и наименее затратные методы.

При множественности методов расчета приведенная выше оценка потерь может считаться минимальной. Существуют и иные оценки, существенно более высокие. Ведущий специалист в данной теме профессор В.Э. Воротницкий [2014] доказывает, что в России потери электроэнергии по отношению к ее суммарному отпуску в сеть составляют 13,1 %. Для сравнения, в электрических сетях Минэнерго СССР в конце

1980-х годов они были равны 8,65 %, т. е. немногим больше, чем в современной Чехии¹.

Расхождения в оценках потерь связаны не только с множественностью методик, но и с тем, что Росстат не включает в статистический учет потерь сетей «Иркутскэнерго», «Татэнерго» и т. д., всего около 20 % электрических сетей страны.

Потери электроэнергии в электрических сетях можно считать удовлетворительными, если они не превышают 4–5 % от отпуска электроэнергии. Максимально допустимыми можно считать потери электроэнергии на уровне 10 %, при более высокой доле начинается повышенный физический износ сетей. То есть более высокие потери наносят вред основным фондам отрасли, который не компенсирует оплата потребителями этих потерь [Бохмат и др., 1998].

Программа интеллектуализации электрических сетей не сводится к простой экономии электроэнергии при ее транспортировке. Но поскольку в настоящее время существующая система российского бюджетного планирования в сфере энергетики ориентирована преимущественно на энергосбережение, разумно сейчас ориентироваться на этот эффект, присутствующий при интеллектуализации электрических сетей. Естественно, что должна быть проведена привязка этого народнохозяйственного эффекта к интересам отдельных субъектов (персонификация). Без этого сам народнохозяйственный эффект остается только на бумаге как абстрактная расчетная величина.

Умные сети как средство повышения качества электроэнергии. В России пока во многих сферах сохраняются советские обычаи. Применительно к электрическим сетям они выражаются в недооценке роли качества электрической энергии — согласно пришедшему к нам из плановой экономики ГОСТу 13109-97. Однако при переходе к рыночной экономике электроэнергия также становится товаром, к качеству которого имеет право предъявить свои требования потребитель. Только монопольное положение поставщика позволяет ему продавать электроэнергию сомнительного качества.

Как генерирующие, так и сетевые компании находятся в полной безопасности от рисков колебаний в потреблении электроэнергии конечными потребителями. В условиях советской плановой экономики уделялось очень мало внимания качеству электрической энергии. Этот дефект

¹ В.Э. Воротницкий — автор Методических рекомендаций по определению потерь электрической энергии в городских электрических сетях напряжением 10(6)-0,4 кВ, утвержденных Госстроем РФ 23.04.01.

сохранился до сих пор. Отсутствуют официальные методики расчета потерь от понижения качества электроэнергии. По этой причине невозможно определить уровень экономических потерь в целом по стране и влияние низкого качества на макроэкономические показатели. Один из мотивов внедрения «умных сетей» по всему миру состоит в стабилизации и повышении качества электроэнергии, в нашей стране данный мотив отсутствует.

Поначалу кажется, что ущерб возникает только у потребителей, но, как выясняется, ситуация сложнее. Помимо роста расходов на электроэнергию, обычно перекладываемых на потребителей, у всех приборов, потребляющих электроэнергию, увеличивается износ, сокращается период эксплуатации, учащаются отказы и повреждения. Двустороннее невнимание к качеству электроэнергии приводит к убыткам как потребителей, так и производителей электроэнергии.

В энергогенерирующих компаниях возрастают затраты на расходные материалы для генераторов, на ремонт поврежденных генераторов и приборов, на внутреннее энергопотребление, повышается расход топлива, масла и охлаждающей жидкости, более частыми становятся вибрации и поломки генераторов. Для всех участников рынка электроэнергии ухудшается качество изоляции, учащаются возгорания проводки и приборов

Есть одна категория потерь, которая имеет непосредственно заинтересованную сторону и является единственной, которую можно рассчитать относительно точно. Все прочие последствия оцениваются вероятностно, как увеличение рисков.

В расчетах экономической эффективности учитывается только этот компонент выгоды, получаемой в результате мероприятий по улучшению качества электроэнергии. Из этого не следует, что увеличение рисков — меньший ущерб, чем дополнительные издержки потребителей за некачественную электроэнергию. Скорее всего, именно увеличение вероятности техногенных аварий и несет наибольшие убытки как для производителей, так и для сетевых компаний, и для потребителей электроэнергии. Но будущие катастрофы не впечатляют никого из участников энергетического рынка.

Считалось, что нарушения в работе сети и понижение качества электроэнергии особенно сильны там, где есть мощные промышленные агрегаты (прокатные станы, сварочные агрегаты и электропечи), для которых характерны быстро меняющиеся нагрузки. Но сейчас такие же нарушения вносят бытовые приборы, владельцы которых в одно время вста-

ют утром и ложатся вечером, в одно время уезжают на работу и возвращаются с нее. Все это повышает требования к качеству электроэнергии.

Качество электроэнергии при ее передаче ухудшается вследствие трех причин: низкой устойчивости передачи, нестабильности напряжения и резонансных явлений. А кроме этого качество электроэнергии понижают еще гармоники высоких частот, искажение синусоиды, скачки реактивной мощности, фликкер-эффекты и многое другое. Остановимся только на стабильном напряжении, ради которого потребителям электроэнергии приходится нести затраты на приобретение стабилизаторов напряжения и источников бесперебойного питания.

При 10%-м долговременном повышении напряжения срок службы ламп накаливания уменьшается втрое. Еще быстрее выходят из строя светодиоды. При снижении напряжения на 10 % световой поток снижается на 30 %, т. е. лампочка в 60 Вт начинает светить как лампочка в 40 Вт. Энергосберегающие лампы при снижении напряжения на 15 % начинают мерцать. Это — лишь частный пример того, что при низком качестве электроэнергии технический прогресс в энергетике невозможен.

В электродвигателе переменного тока при нестандартном уровне напряжения появляется вращающееся магнитное поле, притормаживающее роторы. При работе падение напряжения на 15 % это уменьшает крутящий момент электродвигателя на 20 %. Как следствие, двигатель сильно разогревается, поскольку увеличивается ток через его обмотки, срок службы двигателя уменьшается.

При этом отклонение напряжения в 10 % допускается действующим ГОСТом. ГОСТ таков по той причине, что он учитывает исключительно ситуации включения или отключения мощных промышленных потребителей электроэнергии. Разработчики стандарта вряд ли могли предположить, что напряжение может резко упасть после показа по телевидению популярного сериала или футбольного матча, когда десятки или сотни тысяч горожан включают электрические чайники. Такое падение напряжения сокращает срок службы не только чайников, но и всего электрооборудования по всей сети.

В существенно большей мере отрицательно влияет на сохранность сетей и приборов краткий (менее тысячной доли секунды) скачок напряжения, который незаметен для стандартных приборов учета и контроля. Такой скачок на сети 220 В может превышать 2 кВ. Мгновенные скачки напряжения происходят при отключениях, подключениях и переключениях, срабатывании автоматов защиты, при работе сварочных аппаратов. Они вызывают аварии, в частности, может перегореть нулевой про-

вод или замкнуться на землю фазовый. В результате на корпусах незаземленных приборов появляется электрический потенциал, что приводит к несчастным случаям и пожарам. Импульсные скачки напряжения наиболее опасны для электроники. Иными словами, приборы ничего не заметили, но авария произошла или компьютеры сгорели. Сеть с некачественной электроэнергией тормозит компьютеризацию и внедрение электронных устройств.

Наряду с внутренними сетевыми источниками импульсных нарушений подачи электроэнергии существуют и внешние. Так, импульс может быть получен от воздействия атмосферного электричества в результате удара молнии в воздушную ЛЭП. Броски напряжения могут привести к полному прекращению транспорта электроэнергии.

Именно в этой части повышения качества электроэнергии оказалась включенной Российской академия наук. Объединенный институт высоких температур (директор — академик В.Е. Фортов) разработал «Способ моделирования разряда молнии», который необходим для «разработки адекватных, надежных и современных систем защиты электроэнергетического оборудования сетей 110–750 кВ». Именно это изобретение академик Фортов предложил как одно из основных при обсуждении путей развития российской энергетики. Для решения задач повышения качества электроэнергии необходимы сотни таких способов и тысячи вариантов устройств эти способы реализующих.

Все эти способы и устройства так или иначе связаны с силовой электроникой. Будучи чувствительной к качеству электроэнергии, силовая электроника при ее эксплуатации способствует его ухудшению. Одновременно именно силовая электроника является основным средством повышения качества электроэнергии.

Автоматическое включение резерва. Две крупнейших техногенных аварии в нашей стране (Чернобыль и Саяно-Шушенская ГЭС) произошли вследствие отсутствия возможности автоматического включения резерва (АВР). Это — плата за отставание в продвижении к «умным сетям». По этой причине оценка эффективности АВР должна учитывать риск техногенных аварий разных масштабов, включая самые значительные.

В отличие от зарубежной практики, когда любой потребитель может потребовать возмещения ущерба, понесенного им вследствие аварийного отключения, в нашей стране потребители разделены на категории.

Так, рассчитывать на возмещение ущерба могут только потребители первой категории, для которых перерыв электроснабжения может повлечь за собой:

- опасность для жизни людей,
- значительный ущерб предприятию,
- повреждение дорогостоящего основного оборудования,
- массовый брак продукции,
- расстройство сложного технологического процесса,
- нарушение функционирования особо важных элементов производственного цикла.

Только в этих случаях потребители первой категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых, взаимно резервирующих источников питания, а перерыв электроснабжения может быть допущен «лишь на время автоматического восстановления питания». Это неравноправие потребителей представляет собой рудимент советской системы хозяйствования, когда при полном господстве государственной собственности на средства производства категория потребителя электрической энергии определялась централизованно, исходя из соображений народнохозяйственной целесообразности.

Как и в случае с народнохозяйственным эффектом, народнохозяйственная целесообразность не вписывается в современные рыночные отношения. Она является элементом коррупционности, поскольку процедура определения того субъекта, интересы которого наиболее близки к этой целесообразности, законодательно не регламентирована.

Но если отвлечься от проблемы категорийности потребителей, которая тормозит развитие «умных сетей» в РФ, можно отметить те характеристики систем АВР внутри smart grids, которые отличают от устройств обычной автоматики. В умных сетях АВР должно срабатывать в прогнозном режиме, т. е. до того, как наступит или станет неизбежной аварийная ситуация. Новые АВР должны дифференцировать долговременное снижение напряжения от просадок напряжения, возникающих при запуске электродвигателей и других кратковременных нагрузках. При этом регулирование порога срабатывания должно осуществляться автоматически. Средства автоматического включения резерва должны сами выбирать приоритеты вводов, т. е. оценивать, какое включение лучше всего стабилизирует работу сети и повышает равномерность распределения нагрузки. АВР «умных сетей» должны помнить предыдущие отключения и включения с тем, чтобы иметь базу для сравнения их со складывающейся неблагоприятной или предаварийной ситуацией. Можно сказать, что в таких системах должны быть предусмотрены устройства, аналогичные «черным ящикам» в авиации, в которых хранится информация, необходимая для анализа и выводов на будущее.

Нечто аналогичное в существующих энергосистемах уже есть, но отсутствует адекватный математический аппарат анализа, который бы работал в автоматическом режиме.

Хранение энергии. В длительном теоретическом споре относительно того, представляет ли собой электроэнергия оказание услуги или товар, можно поставить точку. Если электроэнергию можно сохранять, то она, несомненно, является товаром.

Система хранения электроэнергии представляет собой неотъемлемый элемент «умной сети». Существует два варианта резерва — резервные источники энергии и накопители энергии (источники бесперебойного питания). Первый вариант считается наиболее приемлемым и распространенным, второй — более современным и перспективным. В нашей стране рубежом (несостоявшегося) перехода от первого варианта ко второму было энергообеспечение Олимпиады 2014 г. в Сочи. Все олимпийские объекты были отнесены к потребителям первой категории, для которых нормативно необходим резервный источник питания. Первоначально предполагалось, что будет сделан отечественный накопитель (бесперебойный источник питания), когда это не удалось, переориентировались на накопители зарубежного производства. Когда и этот вариант не прошел, решили установить несколько мощных импортных дизельных электростанций. Таким образом, была упущена возможность сделать прорыв в создании «умных сетей» за счет средств, направленных на проведение Олимпиады. Вместе с тем, за рубежом именно в годы российской подготовки к Олимпиаде произошел скачок в технологиях накопления электроэнергии. Наша страна упустила этот этап не только в связи с олимпиадой.

В данном аспекте можно отметить более прогрессивное отношение к проблеме Российской академии наук, которая именно в это время подвергалась болезненным реформам, инициированным сверху стороной, которая была (во всяком случае по данной проблеме) отстающей.

РАН подключилась в первую очередь именно к частной проблеме отключений и хранения информации в тематике «умных сетей». В Институте высоких температур РАН разработали взрывные размыкатели, которые в несколько микросекунд разрывают килоамперные токи. РАН решает еще одну близкую проблему: при попадании молнии в линию электропередач очень высоки аварийные потери — перенапряжения, короткие замыкания, ложное срабатывание автоматики и т. д. В том же институте разработан взрывомагнитный генератор, имитирующий удар

молнии в линию электропередач, в котором энергия взрывчатого вещества преобразуется в импульс электрического тока. Генератор возможно доставлять на реальные ЛЭП или подстанции для испытаний. Чтобы реализовать возможность такой доставки, нужно желание энергетических компаний сотрудничать с Российской академией наук.

Еще одна разработка академических институтов — технология дистанционного измерения высоких напряжений. До сих пор это делается с помощью специальных крупногабаритных трансформаторов. Ученые предложили использовать при измерениях оптоволоконные сети, с помощью которых возможно измерить изменение плоскости поляризации фарадеевского вращения, что напрямую связано с силой тока. Измерительное устройство в этом варианте становится портативным.

Сибирское отделение РАН оказалось вовлеченным в эту часть программы развития «умных сетей» благодаря сотрудничеству с корпорацией «Роснано». Одним из самых амбициозных проектов ОАО «Роснано» называли строительство в Новосибирской области завода «Лиотех» по выпуску литий-ионных аккумуляторов (ЛИА), которое знаменовало собой появление в РФ новой высокотехнологичной отрасли и обеспечивало доступ на молодой и чрезвычайно перспективный мировой рынок ЛИА.

Литий-ионными называют аккумуляторные батареи, катоды которых изготовлены из различных соединений лития. Первые образцы были изготовлены еще в 1970-х гг., но лишь в 1991 г., после того как технология была усовершенствована, фирма Sony начала коммерческое производство ЛИА, изготовленных на основе кобальтата лития (LiCoO_2) и кокса. В конце 1990—начале 2000-х гг. появились батареи на основе других солей лития: LiNiO_2 , LiMnO_2 , LiMn_2O_4 , LiFePO_4 , были созданы аккумуляторы с полимерным электролитом. Новые модификации ЛИА с улучшенными характеристиками, основанные на новых химических и конструктивных составляющих, появляются в среднем каждые полгода. В настоящее время ЛИА являются наиболее распространенными аккумуляторами в портативной электронике, но перспективы роста их потребления связаны в первую очередь с развитием рынка электро- и гибридных автомобилей и растущими потребностями в стационарных аккумуляторных батареях большой емкости.

Новосибирский завод «Лиотех» по производству литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) большой емкости должен был стать крупнейшим в мире. Установленная мощность производства к моменту его запуска в 2011 г. планировалась на уровне 300 млн ампер-часов в год, а в 2012 г.

должна была достичь 400 млн ампер-часов. Финансирование проекта осуществляли ГК «Роснано» и китайская Thunder Sky Group, на тот момент — один из мировых лидеров в производстве ЛИА большой емкости, то есть не для транспорта, а как раз для «умных сетей».

В качестве катодного сырья для новосибирского предприятия был выбран наноструктурированный литий-железо-фосфат (LiFePO_4), позволяющий достигать «наилучших характеристик аккумуляторов при их промышленном производстве»¹.

Официально завод был введен в строй в начале декабря 2011 г., серийное производство продукции началось через три месяца. К 2015 г. объем продаж батарей должен был превысить 35 млрд руб. в год.

На старте и в течение двух лет 80 % выпуска предполагалось экспортirовать в Китай. У Thunder Sky было подписано соглашение с FAW (один из крупнейших в Китае производителей автомобилей) по совместному созданию электробусов, большую заинтересованность в продукции высказывала компания-производитель автобусов из китайского Чанчуня.

Thunder Sky не рассчитывала, что в Китае так резко увеличится внутренний спрос на литий-железо-фосфат (с момента подписания договора до запуска завода прошло 4 года), и ей пришлось собирать сырье по всему миру. Российский партнер не захотел мириться с трудностями роста. Китайскую компанию сначала оштрафовали на 10 % акций — за нарушение дисциплины поставок, а потом вынудили выйти из проекта. Покинув проект, китайский партнер оставил его без сырья и без рынка сбыта. Первый год продукция «Лиотех» реализовывалась по цене почти в 2 раза ниже себестоимости

О стратегической ориентации ООО «Лиотех» на удовлетворение потребностей энергетического рынка учредители публично заявили только в конце 2013 г. Оценив бесперспективность попыток обосноваться на рынке электротранспорта, ОАО «Роснано» в конце 2013 г. приступило к переориентации на большую энергетику, т. е. фактически на «умные сети». Именно на этом и настаивали изначально руководители институтов СО РАН.

Предполагается, что теперь ООО «Лиотех» будет выпускать системы накопления энергии (СНЭ) на базе аккумуляторных батарей, ориентированные на энергетические компании. Для целей реализации стратегии принято решение о выделении проекту дополнительного финанси-

¹ В настоящее время передовой технологией считается литий-кремниевая.

рования в размере 447 млн рублей. ОАО «Русгидро» уже официально объявило о своем намерении внедрять «сетевые накопители энергии различной мощности на базе литий-ионных аккумуляторов» на своих объектах в изолированных энергосистемах Дальнего Востока и арктических территорий — на основании генерального соглашения с ОАО «Роснано» о стратегическом партнерстве.

По оценкам литиевые технологии начнут вытеснять свинцовые аккумуляторы из сегмента источников бесперебойного питания (ИБП) большой мощности (например, для энергообеспечения крупных потребителей, весьма чувствительных к надежности энергоснабжения: центров обработки данных, опасных объектов, обогатительных производств и т. д.). Появление литиевых технологий само по себе придает дополнительный импульс развитию этого сегмента, поскольку литиевые аккумуляторы предполагают большее в 5–7 раз количество циклов использования.

Но у новосибирского предприятия отсутствуют надежные источники сырья — катодной массы, а фактический отказ от научно-технического сопровождения со стороны СО РАН гарантирует неуспех на быстро развивающемся рынке высокотехнологичной продукции. «Росатому» или (от его имени) НЗХК необходимо оформить взаимоотношения с ООО «Катодные материалы», которому переданы оборудование и патент на производство литий-железо-фосфата. Эту технологию создавал Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, но с учеными за разработку не расплатились. Крупнейшие мировые компании, работающие в сфере литиевых технологий, каждые полгода объявляют об улучшении характеристик своей продукции. Поэтому технология, созданная в конце 2000-х гг., уже устарела.

История с «Лиотех» приводит к выводу, что какую бы рыночную лексику ни использовали руководители госкорпораций, они не приспособлены для рыночной экономики. «Роснано» этим особо не выделяется. История «Лиотеха» достаточно рядовая. Уже когда заключалось соглашение с китайской компанией, была очевидна непростая ситуация на мировом рынке литий-ионных батарей. Можно было увидеть, что их использование — слишком дорогая плата за отсутствие проводов в троллейбусном движении. Неустойчиво вели себя акции американских компаний, производящих литий-ионные батареи. Когда был запущен завод под Новосибирском, половина этих компаний обанкротилась, поскольку на рынок вышли конкуренты с более эффективными технологиями и продуктами. А если конкуренты вышли, когда завод уже работал, это

означает, что была волна патентов на их инновации перед банкротствами и выходом новых игроков на рынок литий-ионных батарей¹.

История «Лиотеха» заставляет по-новому взглянуть на специфически российскую проблему реализации программы создания «умных сетей». Определение ФСК как головной организации в данной программе имеет не только тот недостаток, что компетенция ФСК не распространяется на распределительные сети, основную область реализации программы. Не меньшим недостатком является и то, что государственная структура неповоротлива и будет ориентироваться на устаревшие технологии, как это и произошло в сцепке «Роснано» — «Лиотех». В августе 2014 г. было сообщено об остановке деятельности завода.

Причина двух неудачных попыток проникнуть на рынок силовой электроники состоит в том, что средства хранения энергии в сетях — лишь элемент решения более общей задачи. Наряду с развитием средств хранения шел прогресс в приборах, которые обеспечивают управление качеством электроэнергии. От пассивных фильтров в связке с тиристорными (или диодными) преобразователями произошел переход к системам FACTS (15–20 лет тому назад), в которых управление по току заменено на управление по напряжению на базе силовых триодов. Современные системы FACTS способны регулировать долю реактивной мощности в сети без конденсаторных батарей. Сейчас идет переход от систем FACTS к системам UPFC, позволяющим увеличить подачу электроэнергии сверх проектных мощностей существующих линий электропередачи за счет повышения качества электроэнергии. Пока систем UPFC в мире единицы, но за ними будущее.

Для контраста можно привести прогноз на 2030 г. из доклада восьми крупнейших отечественных специалистов по электроэнергетике: «Широко будут использоваться управляемые устройства (управляемые шунтирующие реакторы, тиристорные статические компенсаторы, продольная емкостная компенсация, объединенные регуляторы перетока мощности, фазоповоротные устройства, СТАТКОМы; устройства асинхронной связи — передачи и вставки постоянного тока, электромеханические преобразователи; накопители электрической энергии) и новые высокоэффективные системы управления электрическими сетями» [Волков и др., 2010]. Из этого следует, что до 2030 г. российские электрические сети предлагается развивать на базе тех технических устройств, какие

¹ Справедливо заметил Ф. Достоевский: «Чиновник уважает свой выбор». Зачем нужен мониторинг курсов акций и новых патентов, если сам А. Чубайс уже принял решение: «Заводу быть».

были известны уже 30 лет тому назад. Такая стратегия обрекает российскую энергетику на отставание в перспективе ближайших 15 лет.

Одна из причин невнимания к «умным сетям» со стороны академических институтов состоит в том, что их исследования по развитию транзита электроэнергии с востока РФ «выявили относительно высокую стоимость увеличения пропускной способности электрических связей, соизмеримую со стоимостью строительства электростанций». По этой причине предлагается строить новые магистральные линии электропередачи напряжением 220 и 500 кВ. При этом требуется как-то решать проблемы, ранее (в условиях централизованной плановой экономики) отсутствовавшие. К их числу относятся изменившееся земельное право. Чтобы проложить новую линию электропередачи через земли, находящиеся в чьей-то собственности, нужно будет либо понести расходы на приобретение земельных участков, либо согласиться на произвольно устанавливаемые сервитутные платежи. И это в корне изменяет ситуацию выбора «увеличивать пропускную способность существующих сетей» или «строить новые сети». Важная причина развития «умных сетей» в развитых зарубежных странах состоит в том, что с учетом действующего там земельного права невыгодно строить новые линии электропередач. По той же причине в Европе не распространены распределительные газопроводы, поскольку прокладка их затрагивает имущественные интересы множества юридических и физических лиц.

Этот недоучет изменившихся условий хозяйствования можно проследить и по другой мысли того же доклада: «При переходе к рыночным отношениям надежность становится экономической категорией, определяемой ценой, которую потребители согласны платить за заявленный уровень надежности. Это требует уточнения нормативных критериев балансовой и режимной надежности в сторону ужесточения этих критериев, в частности, повышения вероятности бездефицитной работы энергосистем — до величины порядка 0,9997 к концу рассматриваемого периода» [Там же. С. 8].

Автоматическая компенсация реактивной мощности. Для электрической сети в целом требуется равенство генерации и потребления активной и реактивной мощности. Основным нормативным показателем поддержания баланса активной мощности в каждый момент времени является частота переменного тока, которая служит общесистемным критерием. А основным нормативным показателем поддержания баланса реактивной мощности в каждый момент времени является уровень напряжения — местный критерий, который для каждого узла нагрузки

и каждой ступени номинального напряжения существенно различается. Поэтому в отличие от баланса активной мощности необходимо обеспечить баланс и резерв реактивной мощности не только в целом в энергосистеме, но и в узлах нагрузки.

С другой стороны, при рыночных отношениях существенно выросла стоимость строительства новых высоковольтных линий. В этих условиях актуальным становится максимальное использование в режимах с повышенной пропускной способностью действующих и вновь сооружаемых линий электропередачи за счет применения различных устройств управляемой компенсации реактивной мощности.

Полная мощность, определяющая расчетные токи и напряжения сети, состоит из передаваемой в нагрузку активной составляющей и неактивных составляющих мощности (реактивной, искажения и асимметрии), которые отрицательно влияют на режимы работы электрической сети и показатели качества электроэнергии. В частности, реактивный ток дополнительно загружает высоковольтные линии и трансформаторы, приводит к увеличению потерь активной и реактивной мощности, влияет на уровни напряжения у потребителя. Присутствие реактивной энергии в электрической сети приводит к возрастанию линейных токов, из-за чего происходят частые перепады напряжения в распределительных линиях и дополнительные потери мощности.

Основная цель компенсаторов реактивной мощности состоит в оптимизации работы электросети за счет снижения энергопотребления и увеличения доступной мощности. Эти устройства позволяют, в частности, на 5–10 % уменьшить выбросы CO₂, компенсировать провалы напряжения и снизить вероятность аварий, не допускать преждевременного старения электротехнического оборудования и порчи его компонентов.

Переход к «умным сетям» в этой части состоит в том, что в обычных сетях компенсаторы представляют собой батареи конденсаторов, а в smart grids они заменяются или дополняются приборами силовой электроники. Это дополнительное оборудование (дроссели, контроллеры, контакторы и пр.), как правило, относится к ноу-хау крупных компаний.

Примером эффективности может служить установка 70 конденсаторных батарей с антирезонансными дросселями производства германской компании Schneider Electric в мадридском аэропорту, в результате которой получено 10 % экономии потребления и сокращение затрат на электроэнергию на 18 %.

Реактивная мощность — лишь часть потерь электроэнергии в сетях. Потери появляются при колебаниях частоты и напряжения, при измене-

нии формы колебаний тока и напряжения (несинусоидальности). Но из прочих можно особо выделить несбалансированность нагрузки по фазам. В «умных сетях» этот недостаток устраняется автоматически.

Поддержание синусоидальности напряжения. Несинусоидальностью напряжения называется искажение синусоидальной формы кривой напряжения в сетях переменного тока. Любой потребитель с нелинейной вольт-амперной характеристикой потребляет ток, форма кривой которого отличается от синусоидальной: офисная и бытовая техника, трансформаторы, синхронные двигатели, сварочные установки, статические преобразователи, дуговые и индукционные печи, газоразрядные осветительные приборы и так далее. Любые полупроводниковые преобразователи (выпрямители и пр.) потребляют ток трапециевидной формы, выхватывающие из синусоиды прямоугольные элементы. Короче, практически все потребители имеют нелинейную вольт-амперную характеристику. Исключение составляли только уходящие в прошлое лампы накаливания. Пришедшие на их смену светодиоды и прочие энергосберегающие светильные приборы поставили электрические сети перед необходимостью «поумнеть» даже в сегменте электрического освещения.

Проистекающее от потребителей искажение синусоидальной формы кривой напряжения влияет на работу электрооборудования: выходят из строя компьютеры, неправильно срабатывают устройства управления и защиты, повышается риск пробоя кабелей и конденсаторов, более частыми становятся короткие замыкания на землю.

Возрастают суммарные потери электрической мощности в трансформаторах и электрических машинах. При искажении синусоидальной формы всего на 10 % потери в сетях промышленных предприятий и железнодорожного транспорта могут достигать 15 %. Искажается учет электроэнергии индукционными счетчиками из-за того, что искаженная синусоида тормозит вращение диска. Это приводит к занижению объема потребленной электроэнергии и, соответственно, к убыткам поставщиков. По этой причине интеллектуальные приборы учета электроэнергии, являющиеся неотъемлемым элементом «умных сетей», в обязательном порядке имеют подсистему анализа отклонений напряжения от синусоидальной формы.

Автоматическая балансировка фаз. Для трехфазных симметричных нагрузок необходим контроль перекоса фаз. В случае мощных однофазных нагрузок контроль перекоса фаз будет вызывать частое срабатывание АВР. Такое частое срабатывание — одна из специфических проблем российской энергетики. Происходит оно вследствие того, что,

как правило, отсутствуют математические (электронные) модели распределительных сетей. Поэтому, если причина аварии не очевидна, она устраняется методом проб и ошибок.

Модернизация электрических сетей РФ и внедрение технологии «умных» сетей не сводятся к общей экономии электроэнергии. Это позволяет экономить ее в тех точках, где такая экономия действительно необходима, — максимально близко к потребителям. Устройства автоматики повышают пропускную способность и устойчивость сетей, что особенно важно для сильно загруженных энергосистем. Становится возможным экономить на инвестициях в строительство новых линий электропередачи.

Итак, помимо сбережения энергии, автоматизация и интеллектуализация электрических сетей обеспечивает двухсекторную экономию инвестиций — в генерирующие мощности и сами электрические сети, а также позволяет экономить на фонде заработной платы за счет сокращения обслуживающего персонала.

Объединение электрических сетей в единую энергосистему экономически выгодно не только из-за совместного использования резервов, но и потому, что становится возможной торговля электроэнергией между разными сетями. Однако недостаток такого подхода — легкое распространение аварийных ситуаций из части объединенной сети в другую. Решить эту проблему позволяют «межсетевой экран», высоковольтные ЛЭП, работающие на постоянном токе (HVDC). Соединение HVDC может полностью контролировать передачу энергии, но не подвержено перегрузкам и не допускает распространения токовых бросков.

Модернизация сетей приводит к большей устойчивости энергоснабжения, сокращению числа аварий и нештатных режимов. Для повышения устойчивости энергосистем используются вставки постоянного тока (ВПТ). При помощи ВПТ возможно связать энергосистемы с разной частотой, при этом сохраняется возможность передачи мощности между этими энергосистемами. ВПТ применяется для объединения любых энергосистем, где требуется регулирование реактивной мощности в широком диапазоне, в том числе и по межсистемным связям, мощность которых мала по сравнению с мощностью энергосистем, которые они связывают. Вставки постоянного тока повышают «интеллектуальный уровень» распределительных электрических сетей тем, что они облегчают работу средств интеллектуальной автоматики, которая отвечает за работу только участка сети, отделенного от других с помощью ВПТ.

Интеллектуальные измерения. Для развития «умных сетей» требуется не обычные электрические счетчики, а интеллектуальные приборы учета, которые представляют собой достаточно сложные измерительные и вычислительные устройства. В Европе ежегодно в рамках программы развития «умных сетей» поставлена задача заменять не менее 30 млн счетчиков на интеллектуальные приборы учета. В результате к 2020 г. почти 70 % электрических счетчиков в Европе (90 % в Западной Европе) будут заменены. Новое поколение приборов учета измеряет до 10 параметров действующей электрической сети, помимо потребленной электроэнергии: напряжение, реактивную мощность, отклонение переменного тока от синусоидальной формы, отклонение от стандартной частоты и т. п. Эти приборы учета оснащены средствами дистанционного считывания или выходом в Интернет, защищены от внешнего вмешательства, способны сохранять накопленную информацию не только внутри себя, но и в соседних приборах учета. Самым крупным отечественным производителем таких приборов учета в РФ является компания «Радио и микроэлектроника» (Новосибирск), благодаря которой в России установлены 1,5 млн интеллектуальных приборов учета.

Без новых приборов учета невозможно вовлечение потребителей в активное участие на рынке электроэнергии. Массовая установка «умных» приборов учета приводит к привыканию потребителей к тому, что они располагают очень подробной информацией о поставках им электроэнергии.

В Евросоюзе интеллектуальные приборы учета вписывались ранее в так называемую «стратегию 20–20–20». Единая экологическая стратегия до 2020 года 20–20–20 выдвинула цель сократить уровень выбросов углекислого газа в атмосферу на 20 % (по сравнению с уровнем 1999 г.), увеличить долю энергии из возобновляемых источников до 20 % и сократить общие энергозатраты на 20 %.

Это — одна из многих стратегических программ Евросоюза. Ее предваряла так называемая Лиссабонская стратегия, в которой зафиксировано намерение сделать Европейский Союз самой конкурентоспособной экономикой мира и к 2010 г. достичь полной занятости. Хотя эта задача не была выполнена, это показывает принципиальные отличия нашего подхода к проблеме «умных сетей» от принятого в Европе.

В зарубежной концепции определяется общая энергетическая стратегия, затем составляется список приоритетных задач. В российской постановке реализация стратегии 20–20–20 обойдется Евросоюзу пример-

но в 1 трлн евро до 2020 года. При этом налицо парадоксальные для нашего менталитета последствия: расходы на энергию каждой семьи могут сократиться на 1000 евро в год. Если в нашей российской постановке, инвестиционные средства должны вернуться инвестору, то в рассматриваемой нами европейской постановке средства вкладывает государство, а выгоды получают домохозяйства.

* * *

Распределенная энергетика невозможна без наличия «умных сетей», которые создают возможности включения в энергосистему солнечных и ветровых электростанций, а также любых иных источников негарантированного получения электроэнергии.

Россия в создании «умных сетей» существенно отстает не только от развитых стран, но и от КНР и других развивающихся стран.

Существуют системные преграды развитию «умных сетей», прежде всего, неравноправное положение поставщика и потребителя на рынке электроэнергии.

Технические инновации, какие требуется внедрять, очевидны, но экономические предпосылки такого внедрения отсутствуют, поскольку поставщики электроэнергии имеют возможность продавать электроэнергию невысокого качества и заставить потребителей платить за те потери, которые связаны с устаревшей технической базой и неэффективными методами хозяйствования.