

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

О.И. Никонов, д-р физ.-мат. наук, проф.,
Б.П. Дьяконов, канд. пед. наук, доц.
В.О. Никонов, канд. экон. наук
Уральский государственный технический
университет-УПИ, г. Екатеринбург

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ ПРОЦЕССОВ ПОСРЕДСТВОМ УПРАВЛЕНИЯ ПОРТФЕЛЬНЫМ РИСКОМ (НА ПРИМЕРЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ)¹

В статье представлена методология обеспечения устойчивости системы процессов посредством управления портфельным риском. В основе методологии лежит экономико-математическая модель формирования эффективных технологических портфелей. В статье представлены результаты применения методологии при формировании эффективных портфелей генерации электрической энергии. Описываются модели формирования эффективных технологических портфелей. Определяется эффективный портфель технологий.

1. Введение. Управление риском для обеспечения устойчивости системы процессов: общий подход.

Любой бизнес может быть представлен в виде системы взаимосвязанных процессов, устойчивость которой является необходимым фактором обеспечения конкурентоспособности организации. Уровень устойчивости бизнеса зависит от того, насколько подвержены процессы влиянию различных рисков, поскольку именно риски, когда они реализуются, выводят бизнес из состояния «равновесия» и приводят к убыткам, к незапланированному увеличению издержек и к упущенной выгоде.

В статье рассматривается методология построения системы процессов, обладающей при заданном уровне NPV минимальным уровнем риска, и,

¹ Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 06-01-00483а и Российского гуманитарного научного фонда, проект № 08-02-00315а.

таким образом, при прочих равных, более высоким уровнем устойчивости. Представленная методология основана на современной теории портфельных инвестиций, процессного менеджмента и риск менеджмента. Работа опирается на подходы и методы^{2,3}, а также на исследование, проведенное в международном институте прикладного системного анализа (IIASA), и продолжает исследования^{4,5,6}.

Несмотря на то, что теория порт-

² Brealey R.A. Principles of Corporate Finance / R.A. Brealey, S.C. Myers. New York etc.: McGraw-Hill, 2001.

³ Elton E.J. Modern Portfolio Theory and Investment decisions / E.J. Elton, M.J. Gruber // Amer. Econ. Rev. 1970. № 60.

⁴ Nakicenovic N., Riahi K. An Assessment of Technological Change Across Selected Energy Scenarios. PR-02-005, May 2002. IIASA Peprint Research Report.

⁵ Keywan R. et al. Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization, Technological Forecasting & Social Change (2006).

⁶ Risk Management. A Practical Guide. Risk Metrics Group. Режим доступа: www.riskmetrics.com.

фельных инвестиций, как и любая другая теория, не может предложить инвесторам инструменты, применение которых позволит «зарабатывать, не думая», подходы современной теории портфельных инвестиций изменили принципиальную концепцию инвестиций в ценные бумаги. Вместо того, чтобы анализировать доходность каждой ценной бумаги, торгуемой на рынке, и вкладывать в «лучшие из них» (обладающие наибольшей доходностью), новый подход предполагал анализ соотношения «риск-доходность» каждого актива, определение характера взаимовлияния активов в портфеле, а также внимание акцентировалось на целесообразности принятия решений на основе характеристик всей совокупности ценных бумаг в портфеле. При этом предполагался анализ не только общей доходности портфеля ценных бумаг, но и риска, которым обладает тот или иной портфель при заданном уровне доходности.

Как и портфель ценных бумаг, система процессов организации обладает следующими свойствами:

1. Каждый процесс в системе характеризуется показателями результативности (доходностью, NPV за определенный промежуток времени) и определенным уровнем риска, при этом показатель результативности (доходность) является случайной величиной, и риск процесса может быть представлен как стандартное отклонение доходности.
2. Собственника бизнеса и менеджмент организации интересуют не столько показатели каждого процесса в отдельности, сколько характеристики (доходность и риск) всей системы процессов.
3. Характеристики системы процессов определяются как характеристиками каждого процесса, так и

характером взаимодействия этих процессов (процессы при совместной реализации могут оказывать влияние на уровень риска друг друга).

Задача, рассматриваемая в работе, заключается в том, чтобы создать систему процессов, которая будет обладать свойством оптимальности по Парето в координатах «доходность-риск», а значит, обладать наибольшей устойчивостью при заданной доходности.

2. Постановка задачи: формирование эффективных технологических портфелей генерации электроэнергии.

Методология формирования оптимальных систем процессов представлена в статье на макроэкономическом примере: как задача построения эффективного портфеля технологий генерации электрической энергии на глобальном уровне с целью обеспечения устойчивого развития энергетической системы.

Статья опирается на результаты исследования «Построение эффективных портфелей технологий генерации электроэнергии в условиях неопределенности», проведенного в Международном институте прикладного системного анализа (IIASA), на основе данных и прогнозов, представленных в Global Energy Assessment, на исследования, проводимые Международным советом по изменению климата (IPCC – International Panel on Climate Change). Цель исследования – предоставить лицам, принимающим решения относительно использования тех или иных технологий на микро- или макроуровне, инструмент принятия решений для оптимизации инвестиций в различные технологии в условиях неопределенности.

Методология может быть использована для ответа на следующие вопросы применительно к различным технологиям (необязательно к технологиям генерации электроэнергии):

- Каким образом можно оценить риск технологического портфеля?
- Каким образом изменятся портфели технологий при различных предположениях относительно случайных параметров?
- Какие технологические портфели являются Парето оптимальными в координатах «риск-доходность»?

Это вопросы, ответы на которые необходимы для принятия решений во всех отраслях экономики как на макро-, так и на микроуровне.

3. Построение эффективных технологических портфелей генерации электроэнергии.

Формализация случайных величин: различные подходы к прогнозированию «смотреть назад» или «смотреть вперед»? В качестве основного параметра, характеризующего технологию генерации электроэнергии, целесообразно взять NPV (чистый приведенный доход) за определенный промежуток времени. Случайный характер этого параметра определяется его зависимостью от множества неопределенных факторов:

- спроса на электроэнергию;
- цен на электроэнергию на рынке;
- издержек – затрат на сырье, необходимое для той или иной технологии (уголь, нефть, газ и т. д.);
- налога на выбросы углерода.

Применение классической модели формирования эффективных портфелей ценных бумаг подразумевает использование статистических данных о характеристиках объектов портфеля (в простейшем случае – акций). В рамках настоящего исследования был развит другой подход получения информации о поведении случайных величин.

Если сбор исторической информации для оценки случайных параметров может быть назван подходом «смотреть назад», то подход, примененный в рам-

ках исследования, может быть назван «смотреть вперед»: когда случайные величины формализуются на основе сгенерированных сценариев развития событий в будущем.

Этот подход был успешно реализован при проведении *Global Energy Assessment* и описывается в документе «Оценка изменений технологий в избранных энергетических сценариях»³. В основе подхода лежит идея о том, что будущее непредсказуемо и оценки случайных параметров не могут быть получены на основе исторической информации. Для формализации неопределенности, оценки случайных величин, генерируется набор различных сценариев будущего развития событий, причем сценарии генерируются с различными входными данными. Сценарии содержат множество возможных случаев – ситуаций, которые могут реализоваться в будущем. В каждом сценарии мы имеем различные значения случайных параметров, характеризующих технологи (издержки, уровни использования каждой технологии, эффективность технологий и т. п.). Таким образом, на основе набора сценариев могут быть получены частоты случайных величин.

Описанный подход («смотреть вперед») представляется более адекватным, поскольку здесь мы можем получить всеобъемлющий перечень возможных вариантов развития событий. Использование только исторических данных для построения портфелей подразумевает предположение «нормально плохого дня, среднего дня»⁵ и может оказаться недостаточным, поскольку в статистике не учитывается множество вещей, которые могут быть учтены при генерации сценариев развития событий.

Подход с генерацией сценариев представляется значительно более широким, поскольку «нормальное», усредненное развитие событий может

рассматриваться только лишь как один из возможных сценариев. Если же мы получим портфель технологий, который эффективен по всем сценариям, то шансов, что это на самом деле искомый портфель технологий, будет больше, чем в случае, если портфель формировался только на основе исторических данных.

Характеристики технологий генерации электроэнергии были взяты из «энергетических сценариев», сгенерированных в рамках работ, проводимых под эгидой Intergovernmental Panel on Climate Change. Сценарии^{3,4} содержат большое множество различных вариантов будущего, и соответственно из сценариев были получены распределения цен на электроэнергию, цен на сырье, издержек и других параметров, от которых зависят результаты функционирования технологий.

Для получения распределений случайных параметров, характеризующих технологии генерации электроэнергии, была использована информация из 34 сценариев^{3,4}. Не вдаваясь в детали, отметим, что сценарии формализуют различные концепции развития человечества: в каких-то сценариях подразумевается, что человечество будет заботиться об окружающей среде и соответственно будет стремиться использовать соответствующие технологии, в других сценариях делаются иные предположения, что, в свою очередь обуславливает другой набор технологий в портфеле. На основе этих предположений по каждому из сценариев на 2020, 2030 и т. д. до 2100 г. делаются предположения относительно потребления электроэнергии, ее стоимости, долей каждой из технологий в общем объеме и т. д.

В рамках настоящего исследования в качестве базового портфеля технологий был использован сценарий В2 для 2020 г.^{3,4}.

4. Описание модели формирования эффективных технологических портфелей. Определение эффективного портфеля технологий.

Технологический портфель определяется вектором $y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, где y_i – доля i -ой технологии в общем производстве электроэнергии.

Эффективный технологический портфель – это портфель, который является Парето оптимальным в координатах «NPV-риск». Это означает, что портфель обладает свойством неулучшаемости по этим характеристикам; не существует другого портфеля, у которого при том же значении NPV меньше риск.

Спецификация модели. Спецификация модели может быть определена следующим образом:

- задан набор технологий, которые используются для производства электрической энергии, при этом для каждой технологии задана доля в общем производстве в тот или иной год;
- каждая технология имеет показатель NPV, который может быть посчитан (базовое значение NPV считается для сценария В2 в 2020 г.);
- чистый приведенный доход технологии зависит от рисков параметров, которые были определены выше: это издержки, цена электроэнергии, налог на выброс углерода;
- неопределенность параметров влияет на NPV каждой технологии, таким образом, обуславливает случайность NPV технологии и девиацию NPV. Стандартное отклонение NPV рассматривается как риск технологии;
- портфель технологий также обладает NPV- параметром, который может быть определен и зависит как от значений NPV отдельно взя-

тых технологий, входящих в состав портфеля, так и от взаимовлияния технологий в портфеле. Таким образом, портфель технологий также обладает определенным риском;

- выходные данные модели – множество портфелей, которые являются эффективными – Парето оптимальными в координатах «риск-доходность».

Входные данные модели. Из сценариев^{3,4} были получены распределения следующих случайных параметров:

1. Предложение электричества.
2. Доли каждой технологии в общем производстве электроэнергии.
3. Распределение цен на электричество.

При этом каждая технология формализуется при помощи следующих параметров:

Параметр	Значение
y_i	Доля <i>i-ой</i> технологии в заданный год в общем производстве электроэнергии
LC_i	Levelized costs - параметр, характеризующий издержки, связанные с применением <i>i-ой</i> технологии
I_i	Стоимость единицы сырья (нефти, газа, угля), входных ресурсов для применения технологии
CE_i	Выбросы углерода на единицу производства электроэнергии при помощи <i>i-ой</i> технологии

Для того чтобы определить NPV технологии, также потребуются следующие данные:

- 1) S – предложение электричества;
- 2) f_i – эффективность использования сырья;
- 3) E – стоимость электроэнергии;
- 4) CP – цена углерода.

Для того чтобы определить базовый портфель, достаточно посмотреть доли каждой технологии генерации электроэнергии в общем производстве электроэнергии в сценарии B2 в 2020 г.⁷ Цены на электроэнергию взяты из базы, где они представлены по каждому сценарию. Издержки, связанные с использованием технологий, представлены в системе MESSAGE (разработка IIASA), так же как и параметры, характеризующие эффективность использования сырья и стоимость углерода.

Определение NPV технологии. NPV *i-й* технологии определяется по следующей формуле:

$$NPV_i = \frac{y_i \cdot S \cdot E}{(1+r)^t} - \frac{y_i \cdot S \cdot 1/f_i \cdot I_i}{(1+r)^t} - \frac{y_i \cdot S \cdot LC_i}{(1+r)^t} - \frac{y_i \cdot S \cdot CE_i \cdot CP}{(1+r)^t} \quad (1)$$

$$NPV_i = y_i \cdot S \cdot \left[\frac{E}{(1+r)^t} - \frac{1/f_i \cdot I_i}{(1+r)^t} - \frac{LC_i}{(1+r)^t} - \frac{CE_i \cdot CP}{(1+r)^t} \right] \quad (2)$$

Следовательно, NPV на единицу продукции определяется как:

$$r_i = \frac{NPV_i}{y_i \cdot S} = \left[\frac{E}{(1+r)^t} - \frac{1/f_i \cdot I_i}{(1+r)^t} - \frac{LC_i}{(1+r)^t} - \frac{CE_i \cdot CP}{(1+r)^t} \right] \quad (3)$$

Базовым значением NPV технологии будем считать NPV технологии, посчитанное для базового сценария.

Определение риска технологии. Риск технологии может быть определен аналогично тому, как в теории портфельных инвестиций определяется риск ценной бумаги: величиной среднеква-

⁷ Эта информация может быть получена в базе данных «Green Gas Initiative». Режим доступа: <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/ggi/GgiDb>.

днатического отклонения NPV, которое обуславливается влиянием неопределенных факторов.

В рассматриваемой модели случайными факторами, влияющими на показатель NPV технологии, являются LC_i , I_i , E , CP . Каждый из этих параметров характеризуется случайной величиной (которая, в свою очередь, определяется распределением, построенным на основе данных по сценариям). Предполагается, что эти случайные величины являются независимыми.

Поскольку NPV – это случайная величина, математическое ожидание $M_i[NPV]$ может быть использовано в качестве основной характеристики технологии. Тогда риск технологии может быть представлен как стандартное отклонение – $\sigma_i[NPV]$.

Описание базового портфеля. В сценариях рассматриваются 20 видов технологий генерации электроэнергии, в основе которых лежат различные ресурсы (причем названия технологий соответствуют принятым в работах^{3,4}: {CoalStdu}, {CoalStda}, {CoalAdv} – уголь, {Oil} – нефть, {GasStd}, {GasCC}, {Gas Reinj} – газ, {BioSTC}, {Bio_GTC} – биотопливо, {Waste} – отходы, {Nuc_LC} {Nuc_HC} – атомная энергия, Hydro – гидроэлектростанции, {SolarTh} {SolarPV}, {PV-ons} – солнечная энергия, {Wind} – ветер, {Geothrm} – геотермальная, {H2FC} – водород. В статье мы не будем подробно описывать различия между технологиями, они приведены в документе 'Оценка изменений технологий в избранных энергетических сценариях'³.

Как отмечалось ранее, в качестве базового технологического портфеля был выбран портфель сценария B2 для 2020 г. Структура базового портфеля, то есть доля каждой технологии в общем объеме производства по сценарию B2 для 2020 г., показана на рис. 1.

Наибольшие доли в базовом портфеле имеют технологии {Nuc_LC} (атомные электростанции), {Gas Stda} и {Gas Adv} (различные технологии, где в качестве сырья используется газ). Три технологии не включены в портфель: Waste (переработка отходов), {Bio_GTC} (технология, основанная на биотопливе), {Gas Reinj} (одна из технологий, в качестве сырья для которой используется газ). Для каждой из технологий может быть определено значение NPV на единицу продукции (доллары на ГигаДжоули). NPV портфеля технологий составило \$ 223 млрд (рис. 2).

5. Добавление неопределенности и определение рядов NPV технологий.

После того, как была определена структура начального портфеля и основные характеристики технологий, в модель были добавлены случайные факторы, графики значений которых в различных сценариях приведены на рис. 3 и 4.

В целях реализации первого этапа исследования и проверки адекватности модели цены на углерод не были взяты в расчет. Значения NPV для каждой технологии определялось для всех возможных комбинаций исходных данных по формулам (1), (2). В результате для каждой технологии был получен ряд значений NPV, причем каждое значение показателя характеризует какое-либо из возможных сочетаний случайных факторов («стоимость ресурсов из первого сценария, издержки – из второго», «стоимость ресурсов из первого сценария, издержки – из третьего» и т. д.). К примеру, для технологии {Coal Stdu} ряд значений NPV выглядит так, как представлен на рис. 5.

Аналогичный расчет был проведен для каждой технологии, и, таким образом, были получены ряды значений NPV по всем технологиям. Эти данные яв-

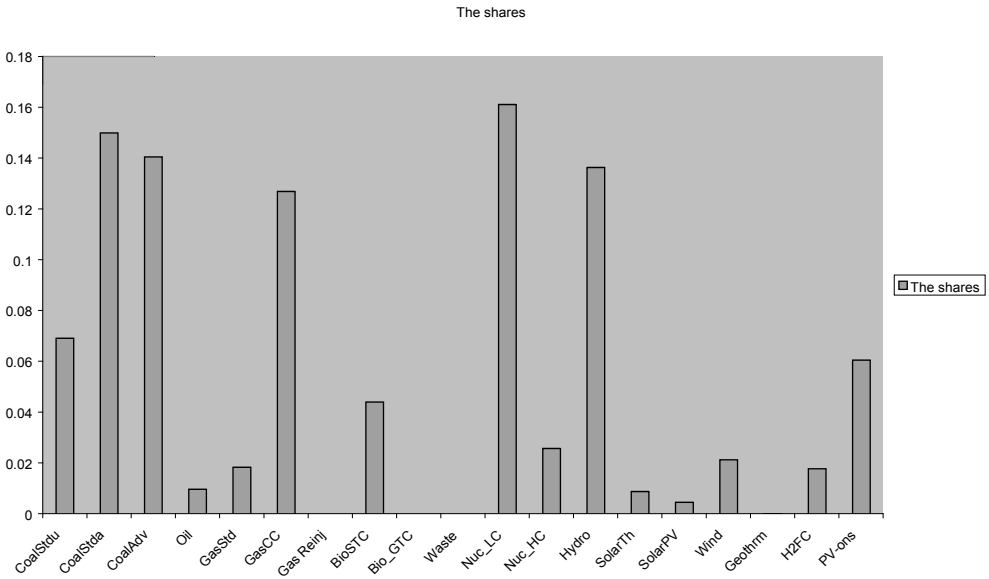


Рис. 1. Структура базового портфеля (доли каждой технологии)

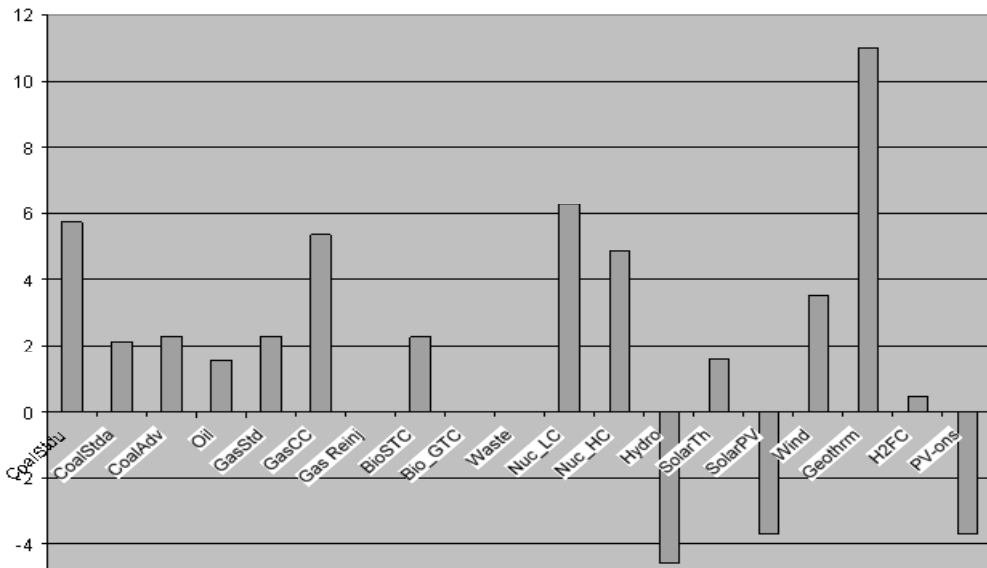


Рис. 2. Значения NPV на единицу продукции

ляются входными в модель построения эффективных портфелей технологий.

6. Построение эффективных портфелей технологий.

Для построения эффективных портфелей технологий было использовано программное обеспечение, изначально разработанное для формирования эффективных портфелей ценных бу-

маг (приложение к книге Elton/Gruber «Modern Portfolio Theory and Investment Analysis»²).

Значения $M[NPV]$ и риска технологий представлены на рис. 6.

На рис. 6 для каждой технологии приведено три ряда: NPV на единицу продукции, стандартное отклонение NPV (реальный риск технологии) и скорректированный риск технологии.

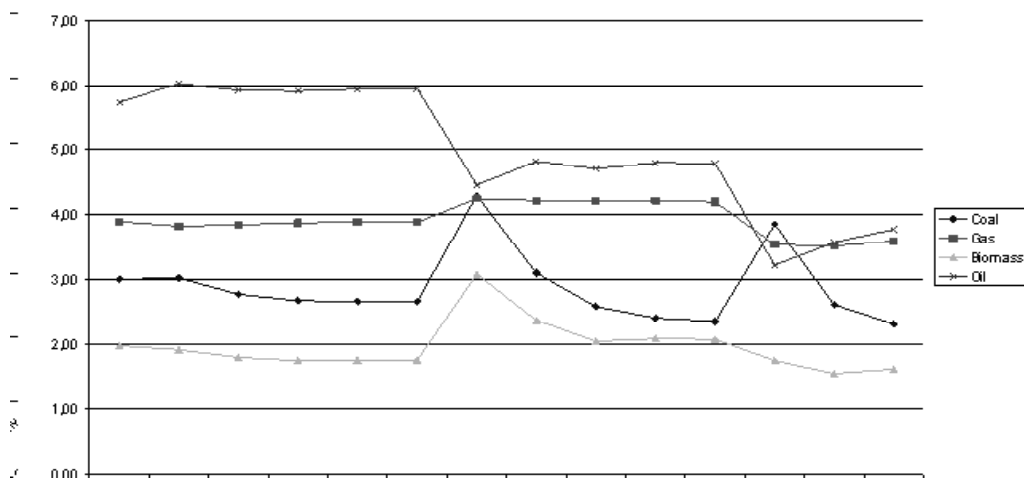


Рис. 3. Распределение цен на ресурсы (уголь, газ, биотопливо, нефть)

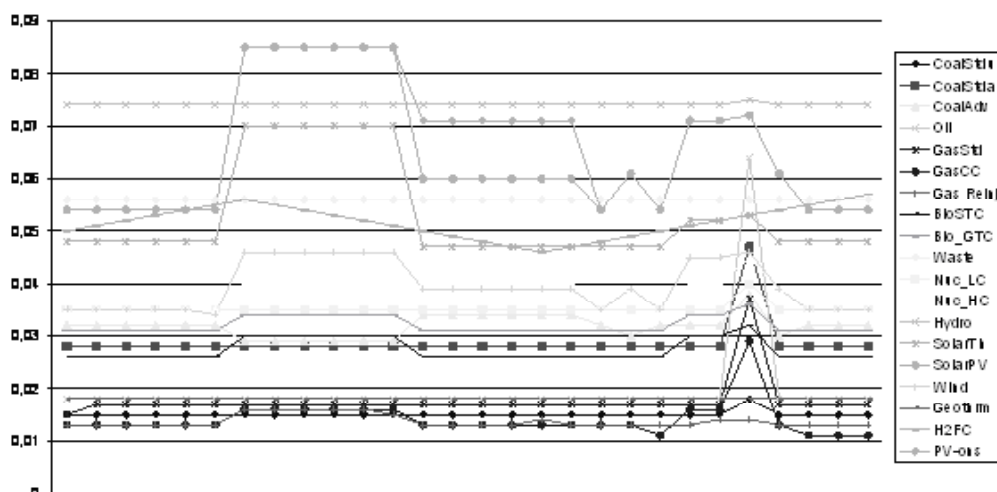


Рис. 4. Распределение издержек по различным сценариям по каждой технологии

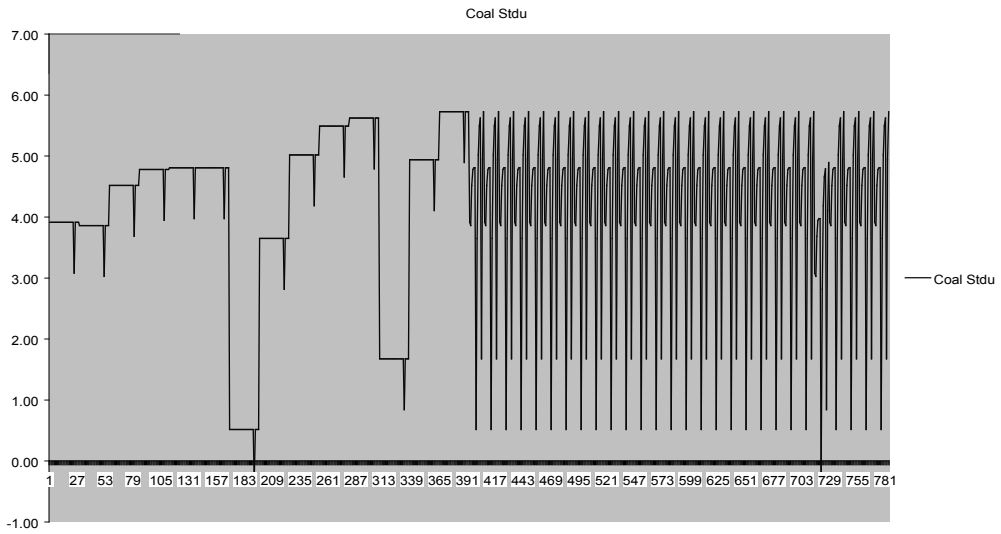


Рис. 5. Ряд значений NPV для технологии Coal Stdu

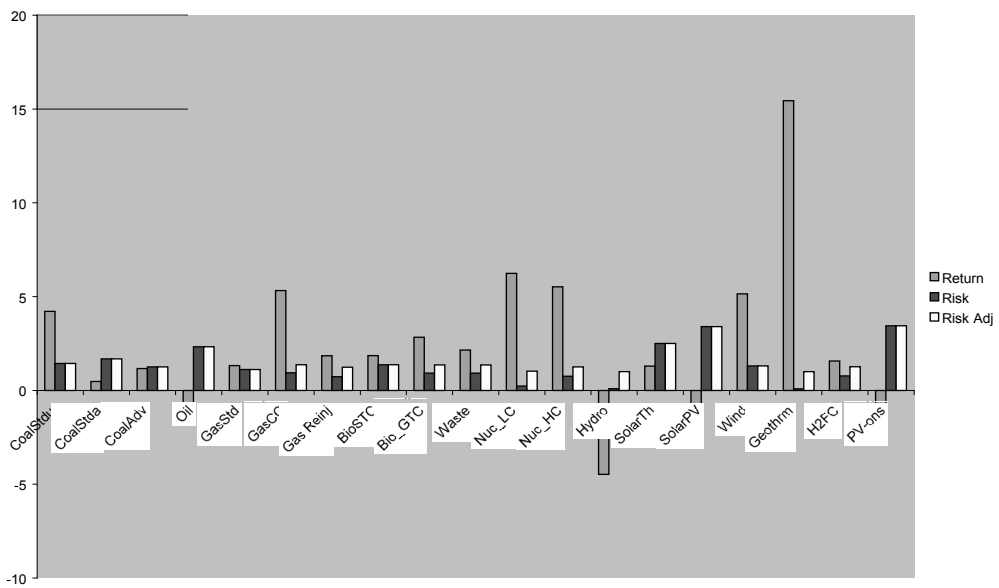


Рис. 6. NPV технологий, риски технологий и скорректированные риски технологий в базовом портфеле

Идея «скорректированного» риска очень проста – для технологий с практически постоянным значением NPV (как, например, в случае с {Nuc LC}) был добавлен «шум» для имитации случайности.

На основе этих данных были получены множества эффективных портфелей технологий (расчет корреляции между NPV технологий и все остальные вычис-

ления были реализованы в программном продукте).

Из всего множества портфелей, каждый из которых, безусловно, заслуживает того, чтобы быть проанализированным, рассмотрим тот, который обладаем наименьшим уровнем риска и соответственно наименьшим значением NPV.

Портфель с наименьшим значением NPV и риска (4.083, 0.399) – назовем его

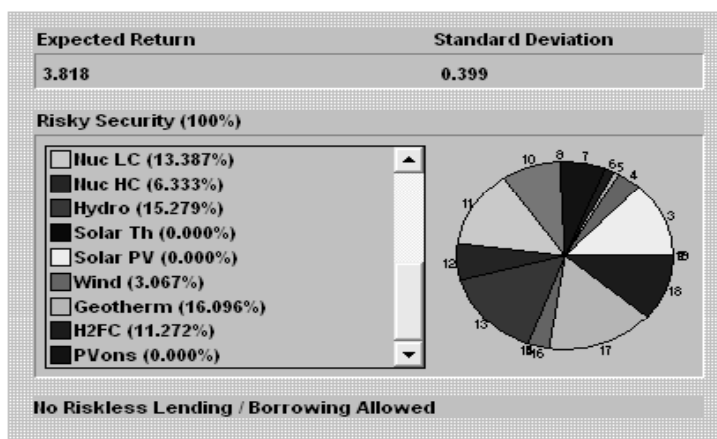


Рис. 7. Структура эффективного портфеля с минимальным уровнем риска и NPV

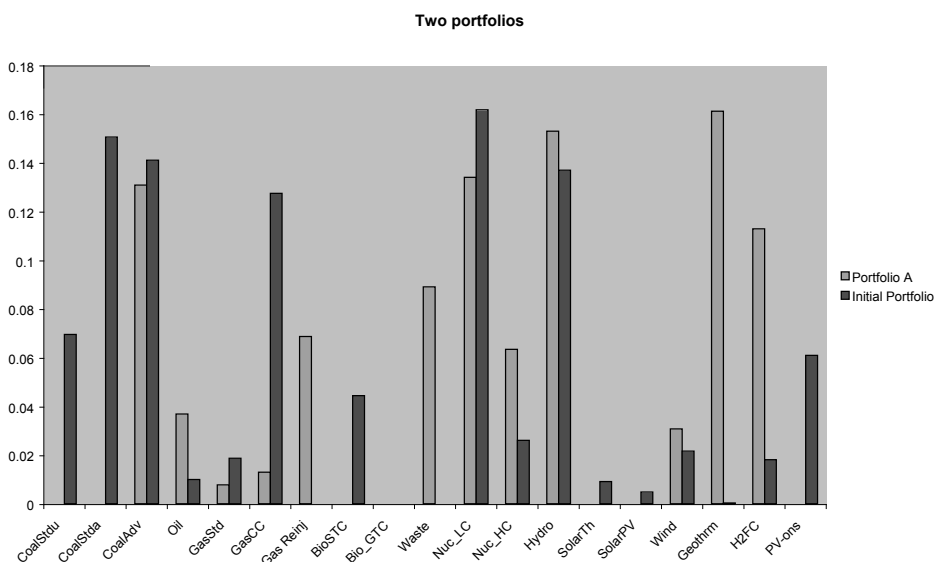


Рис. 8. Два портфеля: начальный портфель и портфель A

«портфель А», имеет следующую структуру (рис. 7).

На рис. 8 ниже приведено сравнение структур портфелей (базового и портфеля «А») в долях технологий.

NPV полученного портфеля составило \$384.03 млрд, что больше, чем у базового портфеля (\$224 млрд). Мы видим, что структура эффективного портфеля отличается от структуры базового портфеля – технологии {Geotherm} and {H2FC} имеют значительные доли в портфеле. При этом полученный портфель обладаем наименьшим уровнем риска.

Выводы:

1. Идеи и концепции современной теории портфельных инвестиций могут быть использованы при по-

строении эффективных технологических портфелей.

2. Результаты, представленные в работе, – это результаты первого шага разработки методологии обеспечения устойчивости систем процессов на основе управления риском. Основным результатом первого шага можно считать логическую и техническую апробацию подхода, который может быть использован во всех отраслях экономики.
3. Как исследование эффективных портфелей технологий генерации электрической энергии, так и исследование структур других технологических портфелей целесообразно и будет продолжено авторами в дальнейшем.