

УДК 303.725.34 + 330.131.52

JEL C61, C67, O13

Н. И. Суслов, В. Ф. Бузулуцков

*Институт экономики
и организации промышленного производства СО РАН
пр. Акад. Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090, Россия*

*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, Россия*

nsus@academ.org, buzulu@ieie.nsc.ru

ОЦЕНКА МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ХОЛОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛИ ОМММ – ХОЛОД *

Анализируются макроэкономические эффекты, возникающие в результате распространения электросберегающих технологий производства искусственного холода в производственной и коммерческой сфере, которые являются альтернативными по отношению к господствующим сейчас в РФ электроемким технологиям (парокомпрессионным холодильным установкам). Эти эффекты моделируются с использованием инструментария специализированной оптимизационной межотраслевой межрегиональной модели с детализированным блоком энергетики (ОМММ-ТЭК), адаптированной для представления производства холода как отдельной отрасли в региональных межотраслевых балансах. Рассмотрена эффективность распространения сорбционных холодильных установок (СХУ) в национальном масштабе при действии фактора неопределенности их стоимости. В аналогичных региональных сценариях изучалась восприимчивость экономической среды отдельных макрорегионов к распространению СХУ. В результате сравнения региональных сценариев с позиций макроэкономической эффективности был получен спектр возможных региональных предпочтений для массового распространения СХУ, который может быть использован при принятии решений в области формирования инновационной политики на федеральном и региональном уровне.

Ключевые слова: неопределенность стоимости альтернативных технологий производства холода, макроэкономические эффекты, модель ОМММ – Холод.

Общие замечания. Постановка проблемы

Существует две основные технологии промышленного производства «холода»: электрическая (при помощи парокомпрессионных холодильных машин) и тепловая (при помощи сорбционных холодильных машин). Сорбционные холодильные установки (или машины) (СХУ) приходят на российский рынок в условиях господства компрессионных холодильных устройств (КХУ), работающих на электрической энергии. В мире уровень распространения СХУ весьма высок. Так, если конкретизировать класс сорбционных установок до уровня абсорбционных

* Статья подготовлена на основе результатов работы по интеграционному проекту СО РАН № 120 «Утилизация тепловых отходов в восточных районах России как важнейший фактор энергосбережения и роста эффективности развития экономики».

Суслов Н. И., Бузулуцков В. Ф. Оценка макроэкономических эффектов от использования альтернативных технологий производства холода с применением модели ОМММ – Холод // Мир экономики и управления. 2016. Т. 16, № 2. С. 16–33.

бромистолитиевых холодильных машин (АБХМ), то можно привести следующую экспертную оценку известного исследователя в данной области А. В. Попова: «...По данным, приведенным в обзоре Международного энергетического агентства (IEA), в 1999 г. в мире было произведено около 12 000 АБХМ средней и большой мощности (холодопроизводительностью 350...6 000 кВт), а в 2001 г. их мировое производство достигло 15 000, причем основной прирост приходится на Китай, Южную Корею и Индию. Широкое распространение АБХМ в мире объясняется их высокой экономической эффективностью, экологической чистотой, минимальным потреблением дорогостоящей электроэнергии, бесшумностью при работе, длительным сроком службы. Рабочим веществом АБХМ является вода, а абсорбентом – водный раствор бромистого лития, нетоксичного и пожаровзрывобезопасного вещества» [1].

В другой работе А. В. Попов констатирует (для класса АБХМ и абсорбционных тепловых насосов (АБТН)): «...В России специализированное серийное производство АБХМ и АБТН отсутствует, а потребление АБХМ и АБТН составляет 1 % от всего объема водоохлаждающих и водонагревающих машин. Ежегодный объем мирового рынка АБХМ и АБТН оценивается в сумме около 10 млрд долларов США. Ежегодную емкость рынка России по АБХМ и АБТН на сегодняшний день можно оценить в 50 машин общей холодильной мощностью в 100 МВт, в сумме около 20 млн долларов США. Следует отметить тенденцию роста емкости рынка АБХМ и АБТН и в России. Потенциальный рост рынка, по зарубежному опыту, должен быть в 10 раз выше, т. е. достигнуть около 200 млн долларов США и выше...» [2].

В статье разработчиков промышленных АБХМ отмечается, что они «...производились в СССР (преимущественно в России) с конца 60-х годов прошлого века. Серийно выпускались холодильные агрегаты АБХА-1000 и АБХА-2500 холодопроизводительностью соответственно 1 100 и 3 500 кВт. ...Всего до 1991 г. было изготовлено и введено в эксплуатацию на предприятиях нефтехимической, химической, резино-технической, металлургической и других отраслей промышленности около 600 машин АБХА различной холодопроизводительности. После 1991 г. АБХА практически не производились» [3].

Сформулируем выводы из приведенных суждений экспертов и специалистов, относящихся по времени примерно к 2007 г.:

- а) отсутствует массовое национальное производство АБХМ и АБТН в РФ, хотя опыт серийного производства имелся в СССР;
- б) АБХМ и АБТН в общем объеме потребления водоохлаждающих и водонагревающих машин в РФ составляют мизерную долю, т. е. массово преобладают КХУ;
- в) существует тенденция роста рынка АБХМ и АБТН в России, дается оценка потенциала роста (по стоимости) – в 10 раз и выше.

В проведенном исследовании сделана попытка рассмотреть и смоделировать с народнохозяйственных позиций восприимчивость экономической среды страны и отдельных регионов к распространению сорбционных холодильных установок при действии фактора неопределенности их стоимости. К факторам, актуализирующим распространение СХУ можно отнести, с одной стороны, особенность технологии – использование низкотемпературного тепла для производства холода, а с другой – наличие огромных резервов сбросового тепла в различных сферах экономики (коммунальной и производственной). Еще одним фактором является то, что в РФ в течение многих лет происходит рост цен на топливо и энергию (электрическую и тепловую). Специфика российских условий проявляется также и в том, что потребителю (холода), использующему КХУ на новых вводимых объектах, приходится платить высокую цену за подключение к электросетям.

ОМММ-ХОЛОД – адаптированная версия ОМММ-ТЭЖ для моделирования производства и потребления искусственного холода

Оценка производства холода в базовой модели. Цель расчетов состояла в том, чтобы смоделировать и оценить с применением функционирующего в ИЭОПП СО РАН програм-

многочисленного комплекса (ПМК) ОМММ-ТЭК¹ макроэкономические эффекты, возникающие при распространении альтернативных технологий, вырабатывающих холод. Для этого была осуществлена адаптация моделей комплекса исходя из задачи минимизации изменений в их функциональной структуре. ПМК ОМММ-ТЭК (последняя версия) состоит из двух одинаковых по структуре полудинамических (прогнозных) моделей, каждая из которых описывает «свой» период (2008–2020, 2021–2030), и статической модели базового (2007) года (базовой модели) [5. С. 52–77]. Для расчетов использовалась статическая модель и модель первого периода, ориентированная на энергосырьевой сценарий развития экономики². Адаптированная версия моделей получила название ОМММ-Холод.

Первая задача состояла в том, чтобы ввести в базовую модель производство холода (по аналогии с существующей отраслью «производство, передача и распределение пара и горячей воды») как новую номенклатурную отрасль. Поскольку одним из основных свойств ОМММ-ТЭК является одновременное моделирование стоимостных и натуральных пропорций ряда моноотраслей (отраслей ТЭК), то аналогичный подход был выбран для холода – он рассматривается одновременно как натуральный продукт, который вырабатывается альтернативными технологиями (технологическими способами, характеризующимися материалоемкостью (затратами тех или иных видов сырья, материалов, топлива и энергии), трудоемкостью и капиталоемкостью (удельной стоимостью технологии)), и как стоимостной элемент материальных затрат других отраслей народного хозяйства, характеризующий их холодоёмкость (по аналогии с теплоемкостью и электроёмкостью).

Из анализа данных Росстата и других источников следует, что прямые оценки объемов национального производства и затрат холода в литературе отсутствуют или являются ненадежными. Поэтому, опираясь на суждения экспертов, мы попытались дать приблизительную оценку объемов производства холода через оценку потребления электроэнергии холодильной техникой. В табл. 1 приведена оценка структуры потребления электроэнергии холодильной техникой, сделанная генеральным директором ООО «Технология низких температур» А. Полевым³, которая, по-видимому, основывается на распространенной в литературе оценке мирового энергопотребления холодильными установками. Так, в диссертации D. E. Demirocak, посвященной адсорбционным холодильным устройствам, использующим солнечную энергию [6. Р. 3], приводится оценка для конца 80-гг. прошлого века другого исследователя, L. Lucas, [7], согласно которой тогда приблизительно 15 % потребляемой в мире электроэнергии использовалось в процессах замораживания и воздушного кондиционирования. Утверждается, что сейчас (т. е. в 2008 г.) 15 %-й уровень уже превзойден вследствие повышения комфортности условий жизни населения и глобального потепления климата [6. Р. 4].

При сделанном нами допущении о переносе экспертной оценки структурных пропорций, показанных в табл. 1, на период базовой модели (2007 г.) были рассчитаны объемные показатели электропотребления холодильной техникой как доли от фактического национального электропотребления 2007 г. При верификации объемных показателей смущает полученная величина потребления энергии домашними холодильниками и кондиционерами – 70 млрд кВтч, которая кажется весьма завышенной. Так, по оценке Н. А. Антонова, главного эксперта ЗАО «АПБЭ», на все бытовые электроприборы в 2008 г. расходовалось значительно меньшая величина, чем только на морозильную технику по оценке А. Полевого – 59,3 млрд кВтч, в том

¹ Оптимизационная межотраслевая межрегиональная модель (ОМММ), лежащая в основе ОМММ-ТЭК, построена как система прогнозных региональных межотраслевых балансов, объединяемых производственно-транспортными связями и единым критерием оптимизации. Разработана А. Г. Гранбергом и его школой [4].

² Основные параметры прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020–2030 годов. Приложение к Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации. Проект. Москва, август, 2008. URL: economy.gov.ru/wps/wcm/connect/.../proekt...2020.doc (дата обращения 11.02.2016).

³ Полевой А. А. Холодильник будущего: магнит вместо компрессора. Интервью корреспонденту журнала «Продукт.ВУ» генерального директора ООО «Технологии низких температур», канд. техн. наук, академика МАХ Алексея Полевого. Продовольственный торгово-промышленный портал. 2013. URL: <http://www.produkt.by/Journal/item/2279> (дата обращения 11.02.2016).

Таблица 1

Оценка потребления электроэнергии холодильной техникой РФ
для базовой модели ОМММ – Холод

№	Показатель	Структура энергопотребления, % (оценка А. Полевого)	Потребление электроэнергии в 2007 г., млрд кВтч (расчет)
1	Потребление электроэнергии в РФ, всего, факт	100	1002,5
2	Потребление электроэнергии холодильной техникой, всего	15	150,4
3	Потребление электроэнергии в домашних хозяйствах, всего, факт		115,9
4	В том числе домашними холодильниками и кондиционерами	7	70,1
5	Промышленными холодильными машинами	3	30,1
6	Коммерческими холодильными машинами	5	50,1
7	Итого потреблено производственной сферой (стр. 5 + стр. 6)	8	80,2

Источники: [8. С. 419]; Полевой А. А. Холодильник будущего...

числе на кондиционирование всего 1,8 млрд кВтч [9]. Оценка Н. А. Антонова согласуется с оценками других экспертов. В работе, выполненной российскими исследователями по гранту ООН⁴, приводятся следующие данные: при росте числа холодильников, находящихся в эксплуатации у населения РФ, с 2003 по 2006 г. от 49 до 52 млн штук объем потребляемой ими электроэнергии вследствие роста энергоэффективности новой техники оставался примерно на уровне 32 млрд кВтч. В этой же работе дана оценка структуры электропотребления домашних хозяйств, в которой на долю холодильников приходится 33 % потребляемой в домашних хозяйствах электроэнергии. Для 2007 г. – это 38 млрд кВтч. Таким образом, с учетом бытовых кондиционеров (менее 2 млрд кВтч) более правдоподобной оценкой для 2007 г. является величина затрат электроэнергии бытовой холодильной техникой, не превышающая 40 млрд кВтч, а не 70 млрд кВтч, как по оценке А. Полевого.

Исходя из структурных особенностей ОМММ-ТЭК была принята следующая схема моделирования холода. Общее производство (потребление) холода, с одной стороны, и потребление электроэнергии холодильной техникой, с другой, разделяется на две части – потребление домашними хозяйствами, использующими бытовые холодильники и кондиционеры, и потребление отраслями народного хозяйства, использующими холодильные установки и системы охлаждения различной мощности. При этом было сделано следующее допущение: обобщенные технологии СХУ и КХУ конкурируют только в производственной сфере, в секторе домашних хозяйств КХУ находятся вне конкуренции. Тогда в соответствии со структурой максимизируемого критерия модели, в качестве которого выступают затраты отраслей на фактическое конечное потребление домашних хозяйств, был выбран косвенный способ моделирования затрат холода в домашних хозяйствах через: а) затраты продукта «электроэнергия», в которых

⁴ Проектный документ ПРООН. Правительство Российской Федерации. Программа развития Организации Объединенных Наций. PIMS 3550. Номер гранта в системе Atlas: 00057337. Номер проекта Atlas Project: 00070781. «Стандарты и маркировка для продвижения энергоэффективности в РФ», 2008. URL: www.undp.ru/download.php?1605/ (дата обращения 03.03.2016).

«растворены» затраты электроэнергии на бытовые холодильные приборы; б) затраты продукции отрасли «общее машиностроение», в которых (в виде товаров длительного пользования) «растворены» приобретения населением холодильников, морозильных камер и кондиционеров. Поэтому введенная в модель отрасль «холод» не тратит ничего на домашние хозяйства и, таким образом, представляющие ее технологические способы описывают сферу производства промышленного и коммерческого холода.

В табл. 2 с использованием мнений экспертов представлен расчет оценки производства промышленного и коммерческого холода для базовой модели, опирающийся на оценку энергетической составляющей из табл. 1 и средний холодильный коэффициент, характеризующий энергетическую эффективность работы холодильной машины (отношение холодопроизводительности к количеству энергии (работе), затраченной в единицу времени на осуществление холодильного цикла).

Таблица 2

Оценка производства промышленного и коммерческого холода
по энергетической составляющей в базовой модели ОМММ – Холод

1. Потреблено электроэнергии в РФ при производстве промышленного и коммерческого холода в 2007 г., млрд кВтч	80,2
2. Холодильный коэффициент	4
3. Объем произведенного в 2007 г. промышленного и коммерческого холода, млрд кВтч (стр. 1*стр. 2)	320,8
4. Среднегодовая цена электроэнергии в 2007 г., используемая в базовой модели (основная цена производства), руб./1 000 кВтч	1147,2
5. Доля энергетической составляющей в единице стоимости холода (экспертная оценка), %	85
6. Объем произведенного в 2007 г. промышленного и коммерческого холода по стоимости, млн руб. (стр. 4/стр. 2*стр. 3/(стр. 5/100))	108241,7
7. Средняя цена холода (основная цена производства) в 2007 г., руб./1 000 кВтч	337,4

Пропорции экономики, в которые вписывается сделанная нами количественная оценка холода, можно проиллюстрировать так: в решении базовой модели объем производства промышленного и коммерческого холода по стоимости в 10,7 раза меньше стоимостной оценки производства продукта «электроэнергия» и в 8,9 раза меньше стоимостной оценки продукта «тепло» (учитывается как централизованная, так и децентрализованная генерация). Если же сделанные стоимостные оценки привести к сопоставимому виду (т. е. представить электроэнергию и тепло без потребления в домашних хозяйствах), то эти соотношения соответственно составят 9,5 и 5,4 раза.

Оценка отраслевой и территориальной структуры потребления холода. В столбце 1 табл. 3 представлена оценка отраслевой структуры потребления холода. Она получена в условиях значительной информационной недостаточности на основе разнородных литературных источников и поэтому несет существенный элемент субъективизма. Она использовалась для расчета отраслевых холодоемкостей – коэффициентов удельных затрат холода (в стоимостном выражении) на единицу производимой продукции отрасли в базовой модели. В столбце 2 табл. 3 показана отраслевая структура, полученная уже по результатам решения базовой модели. Заметим, что по нашей оценке первые 4 отрасли, производящие продовольственное сырье, его перерабатывающие, хранящие и доставляющие до потребителя, используют более 60 % коммерческого и промышленного холода.

Таблица 3

Отраслевая структура потребления искусственного холода в РФ
(по основным потребителям) в базовом и последнем году прогнозного периода *

Показатели	Отраслевая структура потребления холода, %			Коэффициент эластичности, % : %
	Предварительная оценка	Решения моделей ОМММ – Холод		
		2007	2007	2020
Сельское хозяйство	10,0	10,0	8,1	3,0
Пищевая промышленность	36,0	36,1	39,7	1,6
Рыболовство и рыбоводство	8,0	7,3	6,5	2,0
Торговля	10,0	9,5	9,9	1,7
Гостиницы и рестораны	2,0	1,9	2,0	1,8
Черные металлы	5,0	5,7	5,3	1,8
Цветные металлы	3,0	3,6	3,9	1,6
Социальные услуги (медицина, образование)	1,5	1,5	1,5	1,9
Машиностроение	4,5	6,8	5,1	2,7
Химия и нефтехимия	8,0	8,0	10,1	1,5
Строительство	2,0	2,1	2,1	1,8
Транспорт (автомобильный и железнодорожный)	2,0	2,1	1,5	2,9
Производство холода (потери)	1,5	1,8	2,4	1,4
Нефтяная промышленность	1,5	0,7	0,2	1,3
Нефтеперерабатывающая промышленность	3,0	2,5	1,2	0,5
Газовая промышленность	2,0	0,4	0,5	4,6
Итого	100	100	100	2,0

* Источники: наши оценки, решения базовой и прогнозной моделей ОМММ – Холод.

В столбце 4 отраслевая структура потребления холода в 2020 г., полученная по результатам решения прогнозной модели, дополнена показателями эластичности (отношение среднегодовых темпов прироста потребления холода на 1 % прироста производства продукции данной отрасли в период 2008–2020 гг.). Если коэффициент эластичности больше единицы, то это показатель интенсификации использования процессов искусственного замораживания и охлаждения в отрасли. Чем выше его значение, тем выше уровень интенсификации. Как видно, наиболее интенсивно эти процессы развиваются в рассматриваемом периоде в таких отраслях, как сельское хозяйство, транспорт, машиностроение, газовая промышленность, рыболовство.

В столбце 1 табл. 4 представлена оценка региональной структуры производства и потребления холода в разрезе 6 макрорегионов модели. Она так же, как и оценки отраслевого потребления, получена в условиях значительной информационной недостаточности.

Таблица 4

Региональная структура потребления искусственного холода
в базовом и последнем году прогнозного периода, % *

Регион	Предвари- тельная оценка	Решения моделей ОМММ – Холод	
	2007	2007	2020
Европейская Россия	66,0	68,2	69,3
Западная Сибирь (без Тюменской области)	12,3	11,7	11,4
Восточная Сибирь	6,7	5,9	5,4
Дальний Восток	7,0	7,3	6,2
Тюменская область (с национальными автономными округами)	0,8	0,8	1,0
Урал (Уральский ФО без Тюменской области)	7,2	6,1	6,7
Итого	100	100	100

*Источники: [10], наши оценки, решения базовой и прогнозной моделей ОМММ – Холод.

Основным информационным источником для нашей предварительной оценки региональной структуры промышленного и коммерческого холода послужили данные специализированного интернет-издания работников холодильной промышленности «Холодильщик.RU» о распределении холодильных сооружений по их общей емкости по федеральным округам, взятые из [10]. Конечно, эти данные являются далеко неполными и могут заметно исказить реальную региональную структуру, поскольку охватывают охлаждаемые складские помещения (оптовой торговли, сельского хозяйства, пищевой и рыбной промышленности), но не включают использование холода в технологических процессах других отраслей.

Моделирование макроэкономических эффектов от использования альтернативных технологий производства холода

Основные посылки и показатели эффективности. В проведенных сценарных расчетах рассматривалась восприимчивость экономической среды страны и отдельных регионов к распространению сорбционных холодильных установок при действии фактора неопределенности их стоимости. Предполагается, что в ближайшей временной перспективе они будут иметь большую (усредненную) стоимость на единицу мощности по сравнению с парокомпрессионными холодильными установками (ПКХУ). Ключевыми отслеживаемыми факторами затрат, задающими альтернативность обобщенных технологий СХУ и ПКХУ, в данных расчетах выбраны уровень потребления электроэнергии и уровень относительной стоимости удельной мощности. Предполагается также, что в качестве альтернативы электрической технологии ПКХУ тепловая технология СХУ использует бросовое тепло и поэтому затраты тепловой энергии и органического топлива на его выработку минимальны и практически не затрагивают тепловых балансов регионов. Затраты на использование бросового тепла включены в удельную стоимость обобщенных технологий СХУ.

Таким образом, в сценарных расчетах сравниваются два типа технологий с разными затратными характеристиками: традиционный, господствующий в производственной сфере РФ, и новый, массовое распространение которой на начальном этапе ограничено заданным уровнем интенсивности. Само вхождение в оптимальный план оптимизационной задачи новой технологии и частичное (на величину заданной интенсивности) замещение ею существующей потребности в выработке холода в различных отраслях экономики является показателем

эффективности, рассматриваемым в рамках выбранного народно-хозяйственного сценария развития страны. Пока новые технологии при различных вариантах своей стоимости попадают в оптимальный план (замещают традиционные технологии), они являются эффективными.

Количественное выражение эффективности предлагается получать, используя макроэкономический подход. Он заключается в том, что многочисленные социально-экономические, организационные и технологические средства, механизмы и следствия, вытекающие из факта распространения новых технологий, сводятся до уровня рассмотрения нескольких основных факторов, отражающих в обобщенном виде соотношение затрат (на создание и внедрение) и результатов (социально-экономических следствий от внедрения). В качестве результирующих факторов на уровне страны анализируются приросты ВВП и приросты фактического конечного потребления домашних хозяйств. Факторами затрат, как упоминалось выше, выступают стоимости альтернативных технологий производства холода, выраженные через их удельную капиталоемкость и уровень потребления ими электроэнергии. Применение инструментария ОМММ-Холод позволяет оценить по шкале названных показателей народнохозяйственной эффективности соотношения действия затратных факторов на конец прогнозного периода (2020 г.).

Результаты сценарных расчетов. Точкой отчета является так называемый Центральный вариант (ЦВ) решения прогнозной модели ОМММ-Холод, в котором в подавляющей степени используются технологии ПКХУ и как таковые технологии СХУ не выделяются. Косвенным показателем энергетической эффективности обобщенных технологий ПКХУ в данном случае выступает коэффициент эластичности электропотребления по фактору производства холода (см. строку 4 в табл. 5), который показывает, на сколько процентов возрастает потребление электроэнергии по виду деятельности «производство промышленного и коммерческого холода» при увеличении производства холода на 1 %. Этот показатель (в масштабе экономики) отражает как совершенствование энергетической эффективности применяемых ПКХУ, так и влияние структурного фактора – доли неэлектроемких технологий СХУ в производстве холода. В решении ЦВ он оказался равен 0,79. Из табл. 5 следует, что при господстве ПКХУ с учетом повышения их энергетической эффективности и при среднегодовой динамике производства холода в 6,6 % в 2020 г. для его производства потребуется около 150 млрд кВтч электроэнергии (10,7 % всего энергопотребления в экономике).

Таблица 5

Некоторые характеристики Центрального варианта ОМММ-Холод *

Показатель	Предварительная оценка	Решения моделей ОМММ – Холод	
	2007	2007	2020
1. Потреблено электроэнергии в РФ при производстве промышленного и коммерческого холода, млрд кВтч	80,2	77,1	149,3
2. Доля потребления электроэнергии при производстве промышленного и коммерческого холода в национальном потреблении электроэнергии	8,0	7,8	10,7
3. Среднегодовой темп прироста производства промышленного и коммерческого холода в РФ (2008–2020), %		6,6	
4. Коэффициент эластичности электропотребления по фактору производства холода (2008–2020), % : %		0,79	

* Источники: данные табл. 2, решения статической и прогнозной моделей ОМММ – Холод.

Схема расчетов состоит в том, что через отслеживаемые изменения – приросты макропоказателей по отношению к Центральному варианту последовательно рассматриваются состояния экономики, возникающие при попадании в оптимальный план технологий СХУ с различной стоимостью. Условно принято, что предел возможной интенсивности распространения СХУ составляет 2 % от национальной потребности в искусственном холоде, полученной в ЦВ.

Сценарий РФ. Было проведено несколько серий расчетов. В первой серии (сценарий РФ) рассматривался прогноз о равномерном распространении альтернативных технологий СХУ во всех регионах РФ⁵. Сценарий отвечал на следующие вопросы: если во всех регионах уровень распространения СХУ в 2020 г. достигнет 2 % от региональной потребности в холоде (это примерно десятикратный рост к 2007 г., то: 1) какова будет экономия электроэнергии в масштабе страны; 2) насколько эффективными окажутся новые тепловые технологии, если они будут значительно дороже по сравнению с ПКХУ.

Расчет начинался с первого шага при допущении одинаковой стоимости единичной мощности СХУ и ПКХУ. Для последней была принята стоимость в 200 долл./кВт, часто упоминаемая в литературе экспертами. В каждом следующем расчете серии задавался пошаговый рост стоимости СХУ по отношению к неменяющейся стоимости единицы мощности ПКХУ в 1,5, 2, 2,5 (и т. д.) раза, что в абсолютном выражении означает прирост стоимости единичной мощности на 100 долларов на каждом шаге по отношению к предыдущему.

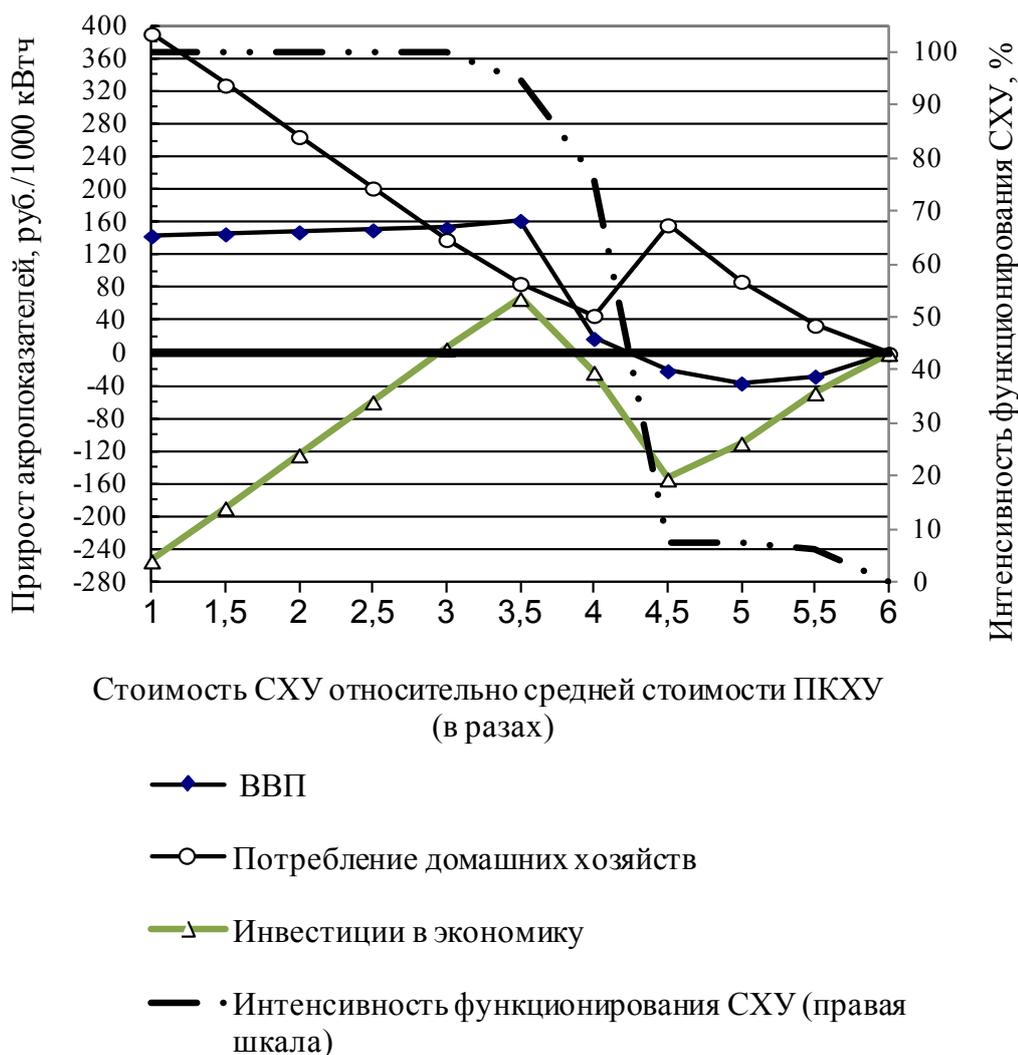


Рис. 1. Прирост макропоказателей на единицу холода, вырабатываемого на СХУ РФ

⁵ Перечень регионов модели приведен в табл. 4.

в зависимости от их относительной стоимости, в ценах 2007 г.

Из результатов расчетов, представленных на рис. 1, можно видеть, что тепловые технологии абсолютно эффективны, пока их относительная стоимость не превышает стоимости ПКХУ более чем в 3 раза. В этом диапазоне технологии используются с полной интенсивностью во всех регионах. По приростам ВВП на единицу холода, вырабатываемого на СХУ, эффект в указанном диапазоне имеет некоторую тенденцию к росту. При увеличении стоимости технологий до 3,5 раза начинает снижаться интенсивность их функционирования, хотя эффект по ВВП продолжает увеличиваться. При увеличении стоимости от 3,5 до 4 раз он резко снижается, хотя и остается еще положительным. При увеличении стоимости в 4,5 раза он становится отрицательным, а интенсивность функционирования тепловых технологий снижается до 7 %. При 6-кратном увеличении стоимости технологии выбывают из оптимального плана как неэффективные.

На рис. 1 изображены траектории основных факторов, из которых складывается (как результат алгебраической суммы) интегральный эффект по ВВП – прирост затрат на потребление домашних хозяйств и прирост инвестиций в основной капитал в экономике. Можно видеть, что в поддиапазоне относительного роста стоимости новых технологий в 1–3 раза, когда они используются с полной интенсивностью, приросты инвестиций имеют отрицательные значения. Они трактуются как общая экономия инвестиций в экономике, которая возникает по цепочкам межотраслевых и межрегиональных связей вследствие экономии электроэнергии. По результатам расчетов объем экономии электроэнергии в масштабе страны при использовании технологий с полной интенсивностью, когда за счет СХУ удовлетворяется 2 % потребности в холоде, составил 3 млрд кВтч.

В то же время другая составляющая прироста ВВП – показатель потребления домашних хозяйств, являясь критерием оптимальности задачи линейного программирования, целиком находится в плоскости положительных значений: при росте стоимости СХУ в результате исчерпания резерва эффективности приростной показатель в конечном счете становится равным нулю. Из анализа рис. 1 следует, что отрицательное значение интегрального эффекта по ВВП имеет место тогда, когда экономия инвестиций (т. е. их отрицательные приросты) превышает (по абсолютной величине) положительные значения приростов критерия оптимальности. Это происходит на участках неустойчивого функционирования новых технологий, когда их относительная стоимость превышает 4,5 раза, а интенсивность составляет менее 7,5 %.

Таким образом, на основном участке траектории удорожания (до 3 раз), когда технологии СХУ абсолютно эффективны, действует тенденция незначительного прироста ВВП при значительном изменении составляющих его факторов: чем выше затраты на создание и освоение новых технологий, тем меньше затраты на потребление домашних хозяйств (т. е. меньше уровень потребления населения) и меньше экономия инвестиций в экономике, полученная за счет энергосбережения.

Региональные сценарии. В следующих сериях сценарных расчетов рассматривается восприимчивость экономической среды отдельных макрорегионов к распространению СХУ. Актуальность таких расчетов можно трактовать следующим образом. Если существует потребность в масштабном распространении энергосберегающих технологий при их более высокой стоимости, то в каком регионе предпочтительней концентрировать ограниченные финансовые ресурсы (например, в виде дополнительной государственной поддержки на их развитие). Это будет тот регион, где будет показана более высокая макроэкономическая эффективность от их использования при параметрическом увеличении относительной стоимости технологии.

Методическая особенность региональных сценариев состоит в том, что в каждой серии расчетов распространение новых технологий осуществляется в каком-то одном регионе, но эффект в форме приростов отслеживаемых макроэкономических показателей рассматривается в масштабе всей экономики, т. е. включает результаты всех межотраслевых и межрегиональных взаимодействий материально-вещественных потоков. Сравнение эффективности новых тепловых технологий проводится между осуществляемыми последовательно региональными сценариями.

Рассмотрим более подробно два сценария, обладающих общей особенностью. В первом была смоделирована ситуация распространения СХУ в Западной Сибири на уровне 10 % от региональной потребности в искусственном холоде, тогда как в остальных регионах СХУ не распространялись. В следующей серии расчетов (как и в других региональных сценариях) такой же импульс был задан для региона Европейской России: в ней производство холода на СХУ осуществлялось на абсолютном уровне Западной Сибири, что составило 1,65 % от региональной потребности, полученной в ЦВ.

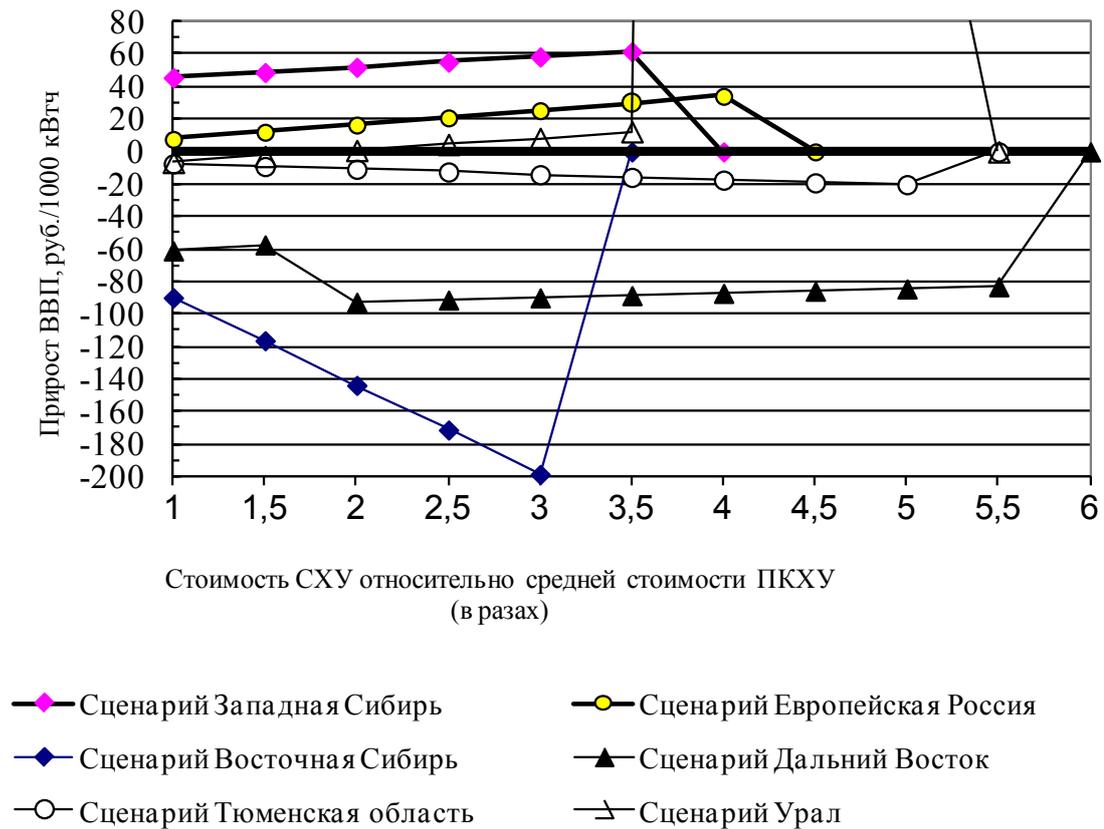


Рис. 2. Прирост ВВП на единицу холода, вырабатываемого на СХУ макрорегиона в зависимости от их относительной стоимости, в ценах 2007 г.

Из рис. 2, на котором показаны траектории ВВП, полученные во всех региональных сценариях, следует, что общей особенностью двух рассматриваемых сценариев является монотонный положительный прирост ВВП (на единицу холода, вырабатываемого на СХУ региона), сохраняющийся на всем протяжении ситуации, когда новые технологии являются эффективными (используются с полной интенсивностью). Только при увеличении стоимости в 4 раза в западносибирском сценарии и в 4,5 раза в европейском сценарии технологии сразу выбывают из оптимального плана как неэффективные.

По результатам расчетов в обоих сценариях общий объем экономии электроэнергии (в масштабе страны) составил 1,73 млрд кВтч, а в самом регионе, в сибирском сценарии – 1,36 млрд кВтч, в европейском сценарии – 1,46 млрд кВтч (см. табл. 6). На рис. 2 видно, что при одинаковом уровне распространения СХУ для региона, ввозящего электроэнергию (Западная Сибирь), приросты ВВП оказываются заметно выше, чем для региона, вывозяще-

го электроэнергию (Европейская Россия). Значит ли это, что использование технологий СХУ в Западной Сибири предпочтительнее, чем в Европейской России?

Таблица 6

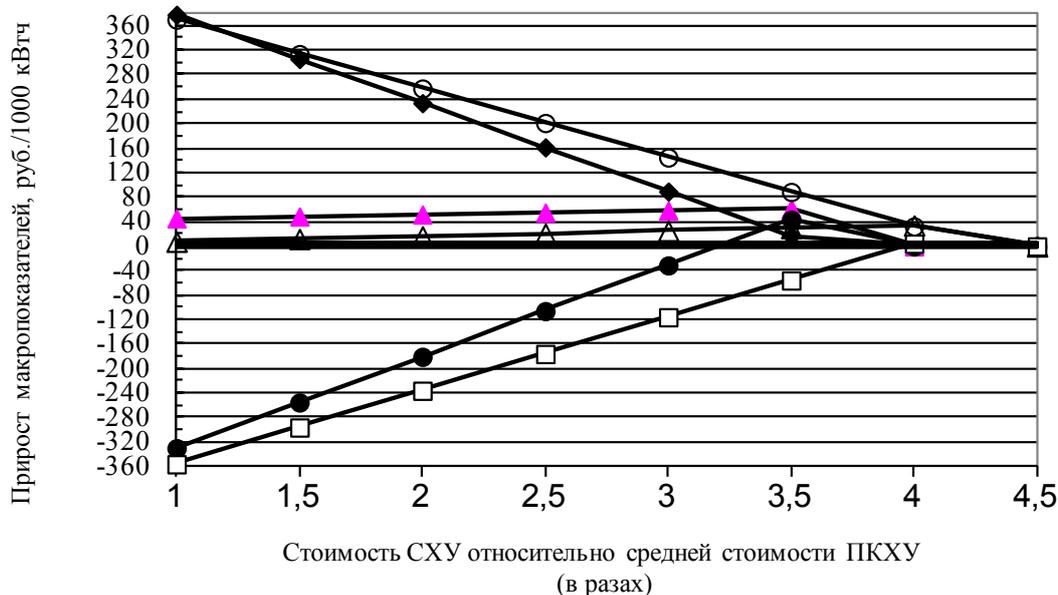
Некоторые результаты серийных расчетов по региональным сценариям для первого и последнего (порогового) шага удорожания СХУ, при которых технологии являются эффективными *

Показатель	Сценарии			
	Шаг первый		Шаг последний	
	Западная Сибирь	Европейская Россия	Западная Сибирь	Европейская Россия
1. Экономия электроэнергии в результате распространения СХУ в регионе, млрд кВтч	1,73	1,73	1,73	1,73
2. Экономия электроэнергии в регионе в результате распространения СХУ в регионе, млрд кВтч	1,68	1,46	1,68	1,48
3. Прирост ВВП на единицу холода, вырабатываемого на СХУ, руб./1000 кВтч (в ценах 2007 г.)	46	8	62	34
4. Прирост инвестиций в экономику на единицу холода, вырабатываемого на СХУ, руб./1000 кВтч (в ценах 2007 г.)	-330	-356	44	4
5. Прирост потребления домашних хозяйств на единицу холода, вырабатываемого на СХУ, руб./1000 кВтч (в ценах 2007 г.)	378	370	17	33
6. Прирост потребления первичных ТЭР на единицу холода, вырабатываемого на СХУ, тут/1000 кВтч	-0,0637	-0,0693	-0,0643	-0,0707
7. Превышение удельной стоимости СХУ относительно удельной стоимости ПКХУ, в разах	1	1	3,5	4
8. Удельная стоимость СХУ, долл./кВт	200	200	700	800

* Все показатели, кроме строк 2, 7 и 8, даются в масштабе страны.

Источник: Решения прогнозной модели ОМММ – Холод.

Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим структуру макроэкономического эффекта. Из анализа табл. 6 следует, что эффект по ВВП на первом шаге серии (расчетов) вызван экономией электроэнергии в регионе в результате распространения СХУ, что в конечном счете приводит к экономии инвестиций в масштабе всей экономики, с одной стороны, и к росту уровня благосостояния населения, с другой, как двух основных составляющих этого эффекта. По мере использования более капиталоемких технологий (в табл. 6 это показано на примере предпоследнего (порогового) шага роста стоимости СХУ, после которого они выбывают как неэффективные) экономия инвестиций сменяется их ростом, а потребление домашних хозяйств резко снижается.



- ▲ Сценарий Западная Сибирь. ВВП
- △ Сценарий Европейская Россия. ВВП
- ◆ Сценарий Западная Сибирь. Потребление домашних хозяйств
- Сценарий Западная Сибирь. Инвестиции в экономику
- Сценарий Европейская Россия. Потребление домашних хозяйств
- Сценарий Европейская Россия. Инвестиции в экономику

Рис. 3. Прирост макропоказателей на единицу холода, вырабатываемого на СХУ региона в зависимости от их относительной стоимости, в ценах 2007 г.

На рис. 3 можно видеть, что если на первом шаге приросты потребления домашних хозяйств практически совпадают в двух сценариях (см. табл. 6), то экономия инвестиций заметно выше в сценарии Европейская Россия. Поэтому алгебраическая сумма двух составляющих, формирующая общий прирост ВВП, за счет более высокого отрицательного значения инвестиций (большей величины экономии) в сценарии Европейская Россия дает меньшее положительное значение прироста ВВП. Можно также заметить, что траектории снижения приростов потребления домашних хозяйств, с одной стороны, и экономии инвестиций, с другой, являются более пологими в сценарии Европейская Россия, чем в западносибирском сценарии. Это означает, что в каждой новой точке удорожания технологий как приросты потребления домашних хозяйств, так и величины экономии инвестиций снижаются медленнее, чем в западносибирском сценарии. Поэтому по совокупности действия двух факторов в зоне неопределенности стоимости новых технологий можно сделать вывод о предпочтительности (большей эффективности) их использования в макрорегионе Европейская Россия. Использование в качестве дополнительного макроэкономического показателя прироста потребления первичных ТЭР на единицу холода, вырабатываемого на СХУ (см. строку 6 в табл. 6), отрицательное значение которого трактуется как показатель экономии первичных ТЭР, подтверждает приоритетность Европейской России, поскольку экономия электроэнергии в регионе вызывает сокращение потребления более дорогих первичных энергоресурсов, которые в значительной степени завозятся из Сибири.

О соотношении показателей макроэкономической эффективности. В предыдущем параграфе было показано, что уровень макроэкономической эффективности технологий СХУ недостаточно измерять только одним интегральным показателем (ВВП), а следует использовать несколько, в частности те, которые определяют структуру приростов интегрального показателя. Действительно, на рис. 2 можно видеть ясно выраженную «несхожесть» региональных траекторий интегрального показателя. Если две рассмотренные выше траектории целиком проходят в области положительных значений, то три другие – в сценариях Тюменская область, Дальний Восток и Восточная Сибирь – целиком находятся в области отрицательных значений. Наконец, траектория приростов ВВП в сценарии Урал начинается в области отрицательных значений, затем переходит в положительную область.

Относительно последнего сценария (Урал) следует заметить, что, когда осуществляется переход от использования технологий с полной интенсивностью при пороговом значении роста стоимости СХУ в 3,5 раза (см. рис. 2), они полностью не выходят из оптимального плана, как в остальных региональных сценариях, а продолжают еще использоваться в диапазоне роста стоимости в 3,5–5,5 раза с мизерной интенсивностью (менее десятой доли процента). Поэтому в силу непропорционального изменения абсолютных приростов удельные приросты ВВП (на единицу вырабатываемого холода СХУ) оказываются несоразмерно большими величинами и не помещаются на графике. На рис. 2 это отражено «обрывочным» представлением траектории в указанном диапазоне.

Как проранжировать степень предпочтения новых технологий в региональных сценариях при такой несхожести траекторий интегрального показателя? Самый простой выход – использовать отдельно его обе приростные составляющие, считая главным показателем фактического конечного потребления домашних хозяйств (критерий оптимизации). На рис. 4 приведены приросты этого показателя по всем региональным сценариям. При обозначении каждого из сценариев в скобках указан номер порогового шага удорожания, когда в последний раз технологии

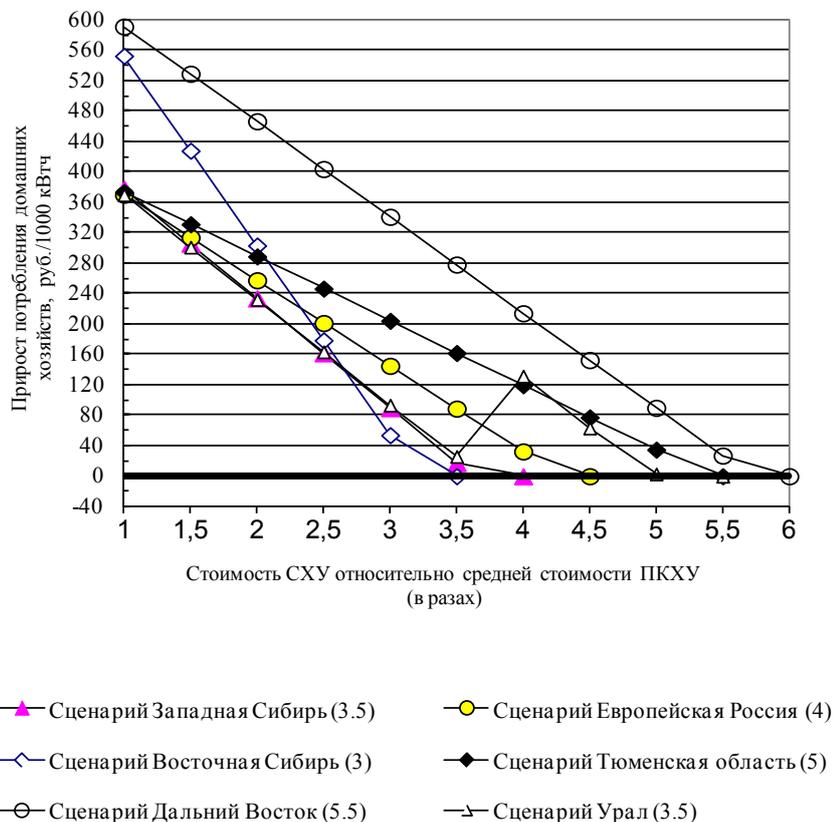


Рис. 4. Прирост потребления домашних хозяйств РФ на единицу холода, вырабатываемого на СХУ макрорегиона в зависимости от их относительной стоимости, в ценах 2007 г.

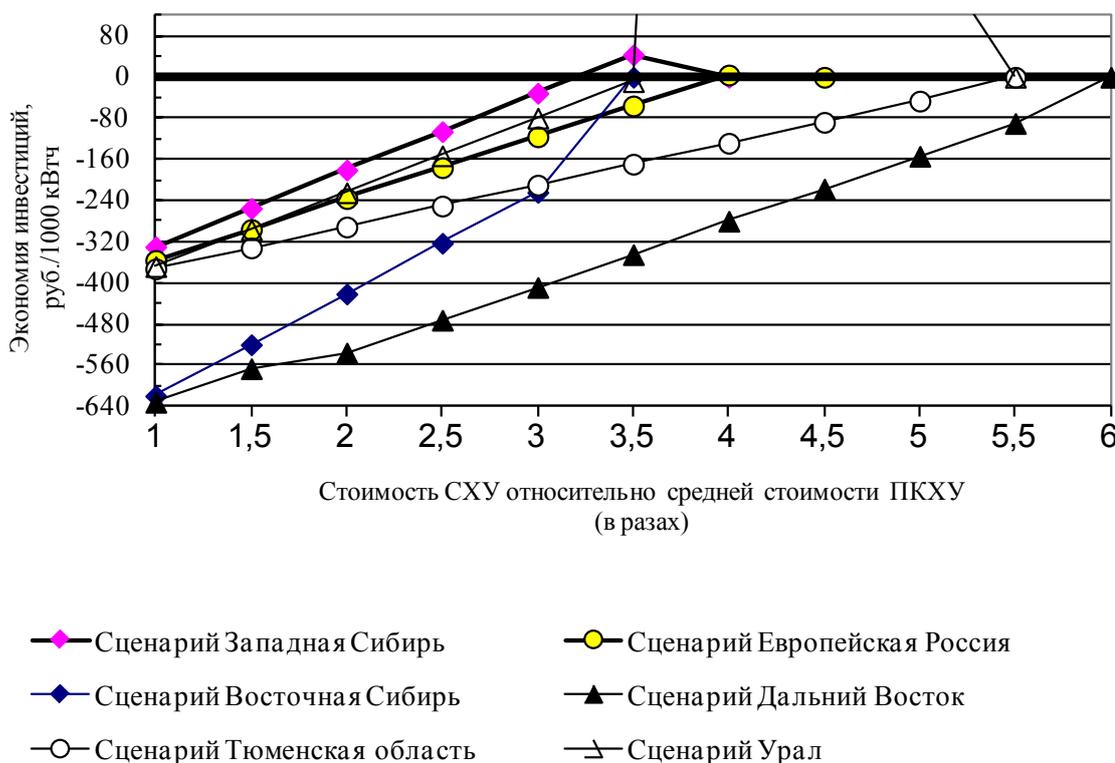


Рис. 5. Экономия инвестиций в основной капитал РФ на единицу холода, вырабатываемого на СХУ макрорегиона в зависимости от их относительной стоимости, в ценах 2007 г.

используются с полной интенсивностью. Критериальный показатель дополнен показателем экономии инвестиций, траектории которого показаны на рис. 5.

Наивысшей эффективностью характеризуется Дальний Восток: технологии СХУ выбывают из оптимального плана только при 6-кратном увеличении относительной стоимости и в каждой точке удорожания (включая и нулевую) прирост потребления домашних хозяйств выше, а экономия инвестиций больше, чем в других сценариях.

В других сценариях иерархия предпочтений, определяемая по критериальному показателю, меняется между регионами на отдельных участках увеличения относительной стоимости СХУ. Так, следующий (после максимального) уровень предпочтения имеет Восточная Сибирь (в диапазоне роста относительной стоимости СХУ от 1 до 2 раз) и Тюменская область (в диапазоне от 2 до 5,5 раза). Траектория роста относительной стоимости в сценарии Восточная Сибирь оказывается самой короткой: уже в точке «рост в 3,5 раза» технологии СХУ становятся неэффективными, а в пороговой точке «рост в 3 раза» ее уровень предпочтения становится самым низким (см. рис. 4). «Всплеск» траектории критериального показателя в сценарии Урал не является «интересным», поскольку он находится за пределами пороговой точки, где интенсивность функционирования новых технологий близка к нулю. На участке роста относительной стоимости от 1 до 2 раз после Дальнего Востока, Восточной Сибири и Тюменской области следует по уровню предпочтения Европейская Россия. На участке от 2 до 4 раз последняя является уже не четвертой, а третьей (без Урала). Наконец, последним уровнем предпочтения на участке от 1 до 2,5 раза характеризуются Западная Сибирь и Урал, траектории которых в диапазоне возрастания относительной стоимости от 1 до 3 раз практически совпадают. Напомним, что оба региона по решению ЦВ, с которым сравниваются региональные сценарии, ввозят электроэнергию. В то же время, как было отмечено, на участке от 2,5 до 3,5 раза наибо-

лее низкую эффективность показывает Восточная Сибирь, регион, наоборот, вывозящий электроэнергию. Таким образом, в результате сравнения региональных сценариев по критериальному показателю мы получили спектр возможных региональных предпочтений для массового распространения СХУ в условиях неопределенности относительной стоимости технологий. Он может быть использован при принятии решений в области формирования инновационной политики на федеральном и региональном уровне.

Анализ иерархии предпочтений по второй составляющей интегрального показателя эффективности (см. рис. 5) говорит, скорее, о высокой корреляционной связи с критериальным показателем, чем о полной идентичности с ним. Так, если вынести за скобки безусловное предпочтение Дальнего Востока по показателю экономии инвестиций во всех точках возрастания относительной стоимости СХУ (что идентично с траекторией критериального показателя), то, например, Восточная Сибирь имеет следующий по эффективности уровень предпочтения в диапазоне роста стоимости от 1 до 3 раз, тогда как по критериальному показателю только от 1 до 2 раз (см. рис. 4). Мы видим практически совпадение траекторий критериального показателя по Западной Сибири и Уралу в диапазоне от 1 до 3 раз, тогда как траектории показателя экономии инвестиций на рис. 5 в этом диапазоне явно не совпадают.

Список литературы

1. Попов А. В. Абсорбционные бромистолитиевые машины для охлаждения и нагрева воды // Энергосбережение. 2007. № 7. С. 52–55. URL: <http://www.teplosibmash.ru/articles/id/12/> (дата обращения 05.03.2016).
2. Попов А. В. Проект по направлению «Энергоэффективность и энергосбережение, в том числе вопросы разработки новых видов топлива» / Ин-т теплофизики им. Кутателадзе СО РАН. 2009. URL: nashrf.ru/fl/s/37/172/basic/584/578/ABHM_ABTN.doc (дата обращения 12.11.2014).
3. Горшков В. Г., Паздников А. Г., Мухин Д. Г. Институт теплофизики СО РАН, ООО «ОКБ Теплосибмаш», г. Новосибирск, Севастьянов Р. В., ОАО «Уфимский нефтеперерабатывающий завод». Промышленный опыт и перспективы использования отечественных абсорбционных бромистолитиевых холодильных машин и тепловых насосов нового поколения. URL: <http://www.teplosibmash.ru/articles/id/11/> (дата обращения 03.03.2016).
4. Гранберг А. Г., Суслов В. И., Суслицын С. А. Многорегиональные системы: экономико-математическое исследование. Новосибирск: Сибир. науч. изд-во, 2007. 371 с.
5. Бузулуцков В. Ф., Суслов Н. И. СОНАР-ТЭК: моделирование и анализ проблем энергетического комплекса в системе национальной экономики // Системное моделирование и анализ мезо- и микроэкономических объектов / Отв. ред. В. В. Кулешов, Н. И. Суслов. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2014. С. 40–111
6. Demirocak D. E. Thermodynamic and economic analysis of solar thermal powered absorption cooling system. A thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences of Middle East Technical University for the degree of master of science in mechanical engineering, 2008.
7. Lucas L. IIR news // International Journal of Refrigeration. 1988. Vol. 21 (2). P. 88.
8. Российский статистический ежегодник. 2012. М.: Росстат, 2012. 786 с.
9. Антонов Н. А. Управление электропотреблением в бытовом секторе // Энергосбережение. 2011. № 7. С. 45–49. URL: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5074 (дата обращения 27.01.2016).
10. Кузьмичева М. Тенденции развития холодильной промышленности в России. 24.03.2008. URL: <http://www.4p.ru/main/research/39279/> (дата обращения 03.03.2016).

N. I. Suslov, V. F. Buzulutskov

*Institute of Economics and Industrial Engineering of SB RAS
17 Acad. Lavrentiev Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation*

*Novosibirsk National Research State University
1 Pirogov Str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation*

nsus@academ.org, buzulu@ieie.nsc.ru

ASSESSMENT OF MACROECONOMIC EFFECTS FROM USING ALTERNATIVE TECHNOLOGIES FOR PRODUCTION OF COLD WITH APPLICATION OF OMMM – HOLOD MODEL

The article analyzes the macroeconomic effects arising as a result of the spread of energy saving technologies for the production of artificial cold in the industrial and commercial sector, which are an alternative to electric technologies that extremely prevail today in the RF (vapor compression refrigerating machines). These effects are simulated using multi-regional I-O model of vector optimization with a detailed representation of the energy sector (OMMM-TEK). The model is adapted for representation of production of cold as a separate branch of production in regional I-O balances. The efficiency of spread of the sorption refrigeration units (SRU) is considered on a national scale at action of a factor of uncertainty of their cost. In similar regional scenarios the receptivity of the economic environment of certain macroregions to the spread of SRU is considered. As a result of comparison of regional scenarios from the standpoint of macroeconomic efficiency the spectrum of possible regional preferences for spread of SRU was obtained. The spectrum can be used at a decision-making in the field of formation of innovative policy at the federal and regional levels.

Keywords: uncertainty of the cost of alternative technologies of production of cold, macroeconomic effects, OMMM-Holod model.

References

1. Popov A.V. Absorbcionnye bromistolitievye mashiny dlya oxlazhdeniya i nagreva vody [Lithium bromide Absorption Machines for Cooling and Heating Water]. *Energoberezhniye [Energy Saving]*, 2007, no. 7, p. 52–55. URL: <http://www.teplosibmash.ru/articles/id/12/> (date of access 05.03.2016) (in Russ.)
2. Popov A.V. Proekt po napravleniyu «Energoeffektivnost i energoberezheniye. v tom chisle voprosy razrabotki novykh vidov topliva» [The Project on «Energy Efficiency and Energy Saving, including the Development of New Fuels»]. Kutateladze Institute of Thermophysics, SB RAS. 2009. URL: nashrf.ru/f1/s/37/172/basic/584/578/ABHM_ABTN.doc (date of access 12.11.2014) (In Russ.)
3. Gorshkov V. G., Pazdnikov A. G., Mukhin D. G. Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS, LTD «OKB Teplosibmash», Novosibirsk. Sevastianov R.V., OJSC «Ufa Oil Refinery». Promyshlennyj opyt i perspektivy ispol'zovaniya otechestvennyh absorbcionnyh bromistolitievyyh holodil'nyh mashin i teplovyh nasosov novogo pokoleniya [Industrial Experience and Prospects of Use of Domestic Lithium bromide Absorption Refrigerating Machines and Heat Pumps of the New Generation]. URL: <http://www.teplosibmash.ru/articles/id/11/> (date of access 03.03.2016) (In Russ.)
4. Granberg A. G., Suslov V. I., Suspitsyn S. A. Mnogoregionalnyye sistemy: ekonomiko-matematicheskoye issledovaniye [Multiregional Systems: Economic and Mathematical Research]. Novosibirsk, Siberian scientific publishing, 2007, 371 p. (In Russ.)
5. Buzulutskov V. F., Suslov N. I. SONAR-TEK: modelirovaniye i analiz problem energeticheskogo kompleksa v sisteme natsionalnoy ekonomiki [SONAR-TEK: Modeling and Analysis of the Problems of the Energy Complex in the System of National Economy]. *Sistemnoye modelirovaniye i analiz mezo- i mikroekonomicheskikh obyektov [System Modeling and analysis of meso – and micro-*

economic objects]. V. V. Kuleshov, N. I. Suslov (Eds.). Novosibirsk, IEIE SB RAS, 2014, p. 40–111. (In Russ.)

6. Demirocak E. D. Thermodynamic and economic analysis of solar thermal powered absorption cooling system. A thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences of Middle East Technical University for the degree of master of science in mechanical engineering, 2008.

7. Lucas L. IIR news *International Journal of Refrigeration*, 1988, vol. 21 (2), p. 88.

8. Russian Statistical Yearbook. 2012. Moscow, Federal State Statistics Service, 2012, 786 p. (In Russ.)

9. Antonov N. A. Upravleniye elektropotrebleniyem v bytovom sektore [Management of electricity consumption in the residential sector]. *Energoberezheniye* [Energy Saving], 2011, no. 7, p. 52–55. URL: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5074 (date of access 27.01.2016) (In Russ.)

10. Kuzmicheva M. Tendentsii razvitiya kholodilnoy promyshlennosti v Rossii [Trends in the development of the refrigeration industry in Russia]. 24.03.2008. URL: <http://www.4p.ru/main/research/39279/> (date of access 03.03.2016) (In Russ.)