

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ «ВОПЛОЩЕННОЙ ЭНЕРГИИ»: МЕТОДОЛОГИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

А.А. Быков, Д.В. Роднянский, Н.А. Хаустович, В.Ю. Шутилин*

Рассмотрены известные подходы к исследованию производства и потребления топлива и энергии по данным таблиц «Затраты – Выпуск» с общим названием «анализ воплощенной энергии». Эти подходы объединяет перенос энергетических затрат, связанных с производством промежуточных продуктов, на себестоимость конечных продуктов, что позволяет оценить энергоемкость прямым (производственным) и косвенным (потребительским) методами. Традиционно анализ «воплощенной энергии» применяется экологами для оценки выбросов CO₂ отдельными странами и отраслями экономики. Предложен оценочный инструментарий для анализа влияния продуктов энергетического сектора на макроэкономические показатели. Его апробация проведена в нескольких расчетах по данным таблиц «Затраты – Выпуск» Республики Беларусь, а также статистики ОЭСР.

Ключевые слова: воплощенная энергия, межотраслевой баланс, таблицы «Затраты – Выпуск», энергоемкость.

JEL-классификация: C21, Q43.

Материал поступил 16.10.2019 г.

Межотраслевой баланс (МОБ), или таблицы «Затраты – Выпуск», представляет собой мощный аналитический инструментарий, который широко применяется в анализе и прогнозировании экономического развития, отраслевых пропорций в экономике, исследованиях международной торговли и глобальных цепочек стоимости. МОБ показывает объем вклада, который вносит каждый вид экономической деятельности или продукт в создание, распределение и конечное использование добавленной стоимости, а также межотраслевые связи между валовым выпуском и промежуточным потреблением каждого продукта.

Широкое распространение глобальных цепочек стоимости как ключевых субъектов мировой экономики привело к дальнейшему развитию методологии межотраслевого баланса в направлении формирова-

ния межстрановых таблиц «Затраты – Выпуск», показатели которых позволяют оценивать роль отдельных экономик и отраслей в формировании, движении и использовании добавленной стоимости в глобальных цепочках стоимости¹.

Экспериментальное моделирование по данным таблиц «Затраты – Выпуск» Республики Беларусь позволило выделить агрегированные цепочки добавленной стоимости в национальной экономике, которые формируют конечные продукты, поставляемые на экспорт и на внутренний рынок, для удовлетворения потребительского и инвестиционного спроса. Исследования показали, что некоторые продукты «абсор-

¹ World Trade Organization. 2019. Global value chain development report 2019: Technological Innovation, Supply Chain Trade, and Workers in a Globalized World. Washington: World Bank Publications.183 p.

* **Быков Алексей Александрович** (aliaksei.bykau@yandex.ru), доктор экономических наук, профессор, проректор по научной работе Белорусского государственного экономического университета (г. Минск, Беларусь);

Роднянский Дмитрий Владимирович (drodnyansky@gmail.com), кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры государственного и муниципального управления, Казанский федеральный университет (г. Казань, Россия);

Хаустович Наталья Александровна (6851220@bseu.by), кандидат экономических наук, доцент, зав. кафедрой экономики и управления Белорусского государственного экономического университета (г. Минск, Беларусь);

Шутилин Вячеслав Юрьевич (shutilin.v@tut.by), доктор экономических наук, доцент, ректор Белорусского государственного экономического университета (г. Минск, Беларусь).

бируют» добавленную стоимость, создаваемую в других отраслях, а формируемые ими агрегированные цепочки вносят значительно больший вклад в ВВП, нежели эти продукты в отдельности. Другие продукты являются преимущественно промежуточными и переносят свою стоимость на стоимость других конечных продуктов, «растворяясь» в агрегированных цепочках добавленной стоимости других отраслей. К первой группе можно отнести производство пищевых продуктов и строительство, ко второй – услуги оптовой и розничной торговли, финансовые, а также услуги отрасли энергетики (рис. 1).

Исследования глобальных цепочек стоимости, движения добавленной стоимости национального происхождения в международных торговых потоках в качестве основных объектов принимают именно продукты первой группы, стоящие «во главе» производственных цепочек и агрегирующие добавленную стоимость прочих отраслей. Такие отрасли, как оптовая и розничная торговля, транспортные и логистические услуги, переносят свою стоимость на другие продукты через торговые и транспортные наценки, которые выделяются в отдельных таблицах системы таблиц «Затраты – Выпуск». Поэтому вклад торговли и транспорта в экономику оценивается на основе данных наценок.

Для изучения роли и места энергетических отраслей в экономике страны с помо-

щью методологии МОБ, включая добычу нефти и газа, производство нефтепродуктов, электрической и тепловой энергии, требуются несколько иные подходы, чем при анализе создания и движения добавленной стоимости. Достаточно скромные показатели доли добавленной стоимости этих отраслей в экономике (см. рис. 1) не раскрывают их реальной значимости, роли топлива и энергии в производстве ВВП и результативности внешней торговли. В действительности их значимость, т. е. реальные объемы производства и потребления топлива и энергии в сравнении с общим ВВП, гораздо выше, чем добавленная стоимость энергетических продуктов, показанная на рис. 1. При анализе энергетических продуктов важен не столько размер их добавленной стоимости, сколько цены импорта и экспорта, себестоимость производства и тарифы для отечественных потребителей.

Для обоснования решений и проектов в экономике энергетики обычно осуществляются технико-экономические расчеты с использованием натуральных показателей производства и потребления топлива и энергии, измеренных в тоннах условного топлива или других энергетических единицах. Натуральные показатели обобщены в топливно-энергетическом балансе (ТЭБ), который характеризует пропорции между экспортом и импортом, добычей, преобразованием и конечным использованием топлива и энергии. При этом не существует единого источника стоимостных эквивалентов натуральных показателей топливно-энергетического баланса, что затрудняет экономический и в особенности – макроэкономический анализ технологических и структурных изменений в энергетическом секторе.

Целью данной работы является апробация инструментария для анализа энергетического сектора не в натуральном, а в денежном выражении, на основе использования данных не топливно-энергетического, а межотраслевого баланса. Представляется, что данная методология позволит обосновывать инвестиционные и текущие решения в энергетике в части их влияния на показатели добавленной стоимости, экс-

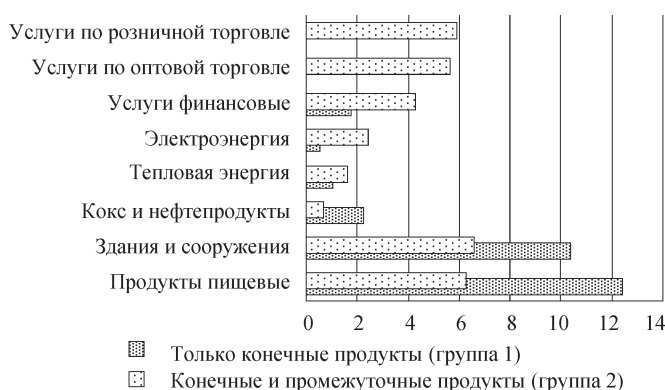


Рис. 1. Доля отдельных конечных и промежуточных продуктов в общей валовой добавленной стоимости белорусской экономики, %

Источник. (Быков, Колб, Хвалько, 2017); таблицы «Затраты – Выпуск» за 2016 г.

порта и импорта, доходов и расходов бюджета; оценивать макроэкономическую эффективность технологических и организационных изменений в сферах производства и потребления топлива и энергии.

Примерами таких решений могут служить проекты технологической модернизации генерирующих станций, введение в эксплуатацию крупных объектов, осуществляющих производство, преобразование и потребление топливно-энергетических ресурсов, решения, повышающие энергоэффективность. Комплексный макроэкономический анализ изменений в энергетическом секторе должен учитывать прямые и косвенные их последствия не только для энергосистемы страны, но и национальной экономики в целом.

В качестве общего теоретического и методологического подхода к анализу энергетического сектора по данным МОБ принята известная концепция «воплощенной энергии», упрощенная и адаптированная к применению стоимостных показателей МОБ.

Концепция «воплощенной энергии» (*embodied energy*)

Данная концепция разработана экологами для оценки эффективности оборудования, производящего, преобразующего или потребляющего энергию, а также оценки общего воздействия определенных продуктов и технологических процессов на экологию, например, посредством выброса парниковых газов при использовании ископаемого топлива. Сам термин «воплощенная энергия» представляет собой общую сумму израсходованной на производство определенного продукта энергии в течение полного технологического цикла данного продукта, включая стадии добычи полезных ископаемых, производство компонентов, сборку, транспортировку, утилизацию. Общие положения данной концепции впервые были сформулированы в первой половине XX в., а методология ее применения с возможностями количественного анализа сформировалась в 1970-е годы. Так, американский эколог и экономист Брюс Хэннон (Hannon, 1973) предложил использовать методологию межотраслевого баланса для анализа полных затрат энергии, израсходованной на производство каждого продукта в экономике.

Исследования Хэннона и других ученых получили развитие в различных сферах науки и практической деятельности. В частности, в результате сначала экспериментальных, а затем и прикладных расчетов на примере отраслей экономики была разработана британская Система кодирования для устойчивого домостроения и домовладения (UK Code for Sustainable Homes)², представляющая собой энергетические характеристики в показателях общих затрат энергии и выбросов двуоксида углерода для различных видов строительных материалов – кирпича, цемента, дерева, газосиликатных блоков, металлоконструкций и т. д.

В экономической теории довольно широкую известность приобрела «энергетическая теория стоимости», которая определяет стоимость товара или услуги стоимостью израсходованных для его производства топлива и энергии (Costanza, 2004). Выделяют прямые затраты энергии в технологическом процессе создания данного продукта, а также косвенные затраты – как энергию, израсходованную для производства сырья, материалов, комплектующих, транспортировки и хранения продукта (Brown, Herendeen, 1996).

Применение данной теории на нескольких простых примерах показывает, что общепринятое представление о реальной стоимости топлива, энергии и энергетического оборудования зачастую является неполным. Например, в технологическом процессе добычи и переработки ископаемого топлива требуется дорогостоящее оборудование, в производстве которого также расходуется топливо и энергия. С учетом инвестиционных затрат в добычу и переработку минерального топлива его стоимость, измеренная в энергетических единицах, вырастет на 14,3%. С другой стороны, любое оборудование для возобновляемой энергетики также требует энергозатрат при его производстве, что ведет к выбросу диоксида углерода. Существуют расчеты потребления энергии и выброса парниковых газов при производстве оборудования для

² Code for Sustainable Homes. Technical Guide. November 2010. London: Department for Communities and Local Government. 292 p.

возобновляемой энергетики, например, фотовольтаики³.

Еще одним интересным направлением анализа «воплощенной энергии» стал метод экологического следа (ecological footprint). В данном случае речь идет о площади продуктивных земельных и водных экосистем, необходимых для производства ресурсов, потребляемых населением, и ассимиляции отходов, которые производит население (Rees, 2000). Для оценок экологического следа также используют методологию межотраслевого баланса, которая помогает рассчитать затраты природных ресурсов, прямо или косвенно входящих в состав потребляемых населением товаров и услуг.

Концепция «воплощенной энергии» в полной мере реализована в используемом сегодня ОЭСР инструментарии, позволяющем анализировать выбросы CO₂, которые связаны не только с производством определенных товаров и услуг, но и с конечным спросом, экспортом и импортом данных продуктов. Надежная статистическая оценка объемов выбросов двуокиси углерода имеет важное значение для реализации мер противодействия изменению климата, что отражено в Киотском протоколе 1997 г. и Парижском соглашении по климату 2015 г.

Подобная статистика обычно составляется в соответствии с производственным или территориальными методами учета выбросов, при этом информация о выбросах двуокиси углерода группируется по отраслевому и территориальному признакам и обобщается Международным энергетическим агентством. Однако эти оценки не учитывают глобальные производственные цепочки, т. е. тот факт, что выбросы на территории одних стран могут быть связаны с производством конечных товаров и услуг, потребляемых в других странах (Wiebe, Yamano, 2016). С этой точки зрения причиной увеличения выбросов CO₂ в мире является не только рост использования минерального сырья в странах с низким и средним доходом, которые размещают на своей территории «грязные» и энергоемкие производства, но и растущий спрос на производимую в этих странах продукцию

со стороны экономик с высоким доходом, даже если соответствующие «грязные» производства там не размещены.

Исходными данными для анализа являются межстрановые таблицы «Затраты – Выпуск» (ICIO – inter-country input-output) ОЭСР, раздел структурный анализ / таблицы «Затраты – Выпуск» / выбросы диоксида углерода в международной торговле⁴. Исходная статистика выбросов CO₂ в разрезе стран и отраслей экономики предоставляется Международным энергетическим агентством. Объемы выбросов рассчитываются пропорционально объему ископаемого топлива, сжигаемого в технологических процессах преобразования энергии и производства того или иного продукта. Такой способ оценки выбросов на основе прямого потребления энергоресурсов в отраслях экономики назван производственным.

Потребительский метод оценки выбросов CO₂ основан на взаимосвязи коэффициентов прямых и полных затрат в методологии межотраслевого баланса. Коэффициенты прямых затрат показывают, какое количество промежуточного продукта, например, сырья или полуфабрикатов, приходится на единицу любого произведенного продукта. Совокупность коэффициентов прямых затрат по всем продуктам (отраслям) экономики образует матрицу Леонтьева МОБ. Обратная матрица Леонтьева формируется путем преобразования матрицы коэффициентов прямых затрат, ее элементы называются коэффициентами полных затрат. Каждый коэффициент полных затрат всегда будет больше соответствующего коэффициента прямых затрат по данному виду производимого и используемого продукта. Коэффициенты полных затрат характеризуют общее количество промежуточных продуктов, израсходованных при производстве каждого конечного продукта на всех стадиях технологического процесса. Конечными продуктами, согласно методологии МОБ, следует считать только те, которые поставляются на экспорт либо участвуют в удовлетворении потребительского и инвестиционного спроса на внутрен-

³ URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Embodied_energy

⁴ URL: <https://stats.oecd.org/>

нем рынке. Продукты, не относящиеся к конечным, являются промежуточными. Основная идея потребительского метода оценки выбросов сводится, таким образом, к переносу объемов выбросов, связанных с созданием промежуточных продуктов, на конечные продукты.

Разницу между производственным и потребительским методами оценки затрат ископаемого топлива на производство продуктов при пропорциональном распределении выбросов CO₂ на эти продукты иллюстрируют приведенные ниже данные (см. таблицу).

Согласно приведенным в таблице данным, около половины производимых в мире выбросов двуокси углерода (14 Гт) связаны со сжиганием минерального топлива – угля и природного газа – для выработки электрической и тепловой энергии. Оценки для отрасли энергетики, полученные потребительским методом, существенно (почти в 3 раза) ниже. Разница между выбросами в отрасли энергетики при расчете производственным и потребительским методами составляет $14 - 5,5 = 8,5$ Гт. Ее можно интерпретировать как результат преобразования минерального топлива в электрическую и тепловую энергию, которая была использована как промежуточный продукт в производстве других продуктов, интенсивно ее потребляющих. Например, энергия, воплощенная в строительстве, представляет собой энергозатраты при производстве и транспортировке стройматериалов. Оставшиеся 5,5 Гт выбросов энергетики, оцененные потребительским методом, отнесены к электрической и тепловой энергии, поставляемой конечным потребителям, в роли

которых выступают домашние хозяйства, сектор госуправления, некоммерческие организации.

Особенности применения концепции в Беларуси и СНГ

Концепции «воплощенной энергии» и энергетической теории стоимости не остались без внимания в русскоязычной научной литературе, однако их популярность здесь оказалась не столь высокой, в том числе ввиду меньшей востребованности методологии оценки выбросов CO₂, чем в западных странах. Российским экономистом А. Орловым (2008) предложена теория создания стоимости на основе энергосодержащих продуктов. Ее основная идея состоит в приведении затрат энергии, потребляемой в процессе создания благ со стороны фактора труда, а также использовании энергии оборудованием, овеществленной энергии в самом оборудовании и в прочих материальных ресурсах. Судя по описанию, данная теория во многом повторяет «энергетическую теорию стоимости» Р. Костанци, при этом результаты практического ее применения неизвестны.

В свою очередь, межотраслевые модели на основе таблиц «Затраты – Выпуск» регионов Российской Федерации использовались в сценарных расчетах и прогнозировании таких показателей, как потребность в электроэнергии и объемы грузоперевозок. На первом этапе прогнозирование осуществлялось в денежных единицах, затем прогнозы корректировались с учетом изменения тарифов, с применением экспертных оценок (Ершов, Мельникова, Суслов, 2009).

Белорусским экономистом Л.А. Сошниковой (2009) разработана методика дезагрегирования показателей межотраслевого баланса для вычленения природоохранных затрат. Полученная модифицированная структура межотраслевого баланса с учетом природоохранной деятельности применена в расчетах по данным таблиц «Затраты – Выпуск» за 2002–2006 гг., что позволи-

Выбросы CO₂, связанные с глобальным производством и потреблением некоторых продуктов

Производственный метод	CO ₂ , Гт	Потребительский метод	CO ₂ , Гт
Энергетика	14,0	Энергетика	5,5
Нефтепродукты	3,5	Строительство	4,9
Металлы	2,0	Нефтепродукты	2,9
Транспортные услуги	1,8	Госуправление	1,9
Неметаллические минералы	1,5	Пищевые продукты	1,7
Химические продукты	1,0	Транспортные услуги	1,3

Источник. (Wiebe, Yamano, 2016).

Таблица

ло рассчитать «экологически скорректированный ВВП».

Группой российских ученых (Пляскина, Мошкин, Гречина, 2017) проведена адаптация модели МОБ для оценки объемов выбросов диоксида углерода. Потребление энергетических ресурсов представлено как непосредственно в процессе экономической деятельности, так и косвенно, в форме потребления товаров и услуг, произведенных для использования в других отраслях. Энергетический вклад в полный выпуск отрасли складывается из количества энергии, израсходованной для выпуска промежуточных товаров и услуг, а также энергии, которая расходуется непосредственно в процессе производства. Расчеты выполнены на реальной экономической информации – таблицах «Затраты – Выпуск» матрицы межотраслевого баланса Российской Федерации за 2003 г. Информация представлена в разрезе 22 агрегированных отраслей, выделено 3 вида первичной энергии: продукты нефтегазовой промышленности, уголь, горючие сланцы и торф. В результате расчетов получены данные по прямым, косвенным и полным выбросам диоксида углерода в разрезе агрегированных отраслей. Методология исследования и полученные результаты, таким образом, в целом соответствуют результатам применения инструментария оценки выбросов CO₂ производственным и потребительским методами, реализованного ОЭСР.

Наиболее значимый вклад в разработку «энергетической теории стоимости» внесли биологи и экологи, экономисты же нередко подвергают ее критике. Неоклассики, в частности, критикуют «энергетическую теорию стоимости» за неспособность отразить предпочтения потребителей в отношении оцениваемого товара.

Еще одним слабым местом теории представляется ее несоответствие наблюдаемой глобальной тенденции снижения стоимости потребляемой энергии относительно ВВП. По мере снижения доли добывающих и обрабатывающих отраслей в ВВП большинства экономик мира снижается удельный расход энергии на доллар ВВП. Производство услуг в основной своей массе слабо коррелирует с затратами энергии,

и чем больше доля услуг в валовом продукте, тем меньше оснований для того, чтобы экономические показатели конвертировать в энергетические.

В странах СНГ, как отмечалось выше, научный и практический интерес к оценке выбросов CO₂ не столь высок, как в Европе или США, что во многом объясняется существенной долей минеральных ресурсов в объемах экспорта и добавленной стоимости, сравнительно невысокой плотностью населения, деиндустриализацией, наличием других нерешенных проблем в экономике, не связанных с выбросами парниковых газов.

В то же время в Беларуси, России, Казахстане и других странах региона высока значимость энергетического сектора в экономике, что формирует спрос на научные методы оценки производства, преобразования и использования энергии. Например, в Беларуси в сфере производства создается около 40% валового продукта, при этом многие отрасли заняты переработкой энергоресурсов либо характеризуются высокой энергоемкостью, поэтому рассмотренные подходы и методология для нашей экономики в настоящее время весьма важны. Актуальность анализа «воплощенной энергии» в белорусской экономике также обусловлена следующими факторами:

- Беларусь потребляет и экспортирует нефтепродукты, произведенные преимущественно из импортного сырья. Инструментарий оценки влияния условий поставки сырья на макроэкономические показатели отрасли и всей экономики окажется полезным;

- после ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС возникнут проблемы избыточных генерирующих мощностей, обеспечения спроса на энергию, решение которых должно быть рациональным не только с позиций энергосистемы страны, но и с учетом межотраслевых связей с позиций экономики в целом;

- для обеспечения финансовой стабильности важно поддерживать бездефицитный платежный баланс, состояние которого во многом определяется условиями импорта, экспорта и потребления топливно-энергетических ресурсов.

Беларусь является участником Киотского протокола и Парижского соглашения по

климату, и в стратегическом плане вклад нашей страны в глобальное устойчивое развитие через учет и сокращение выбросов парниковых газов выступает важнейшим приоритетом. При этом общие принципы, сформулированные в теории и методологии «воплощенной энергии», окажутся полезными и для решения задач экономического развития страны – модернизации энергетического сектора, рационализации потребления энергии, обеспечения бездефицитного платежного баланса и финансовой стабильности. Для решения данных задач может быть применен схожий инструментарий, используемый в оценке выбросов CO₂ и базирующийся на методологии межотраслевого баланса. Однако при решении экономических задач вместо натуральной оценки показателей МОБ (в тоннах выбросов) следует использовать их денежные, стоимостные значения.

Методология анализа «воплощенной энергии» в денежных единицах

В национальном стандарте таблиц «Затраты – Выпуск» 2019 г. экономика разделена на 83 продукта, среди которых можно выделить 6 продуктов, отнесенных к энергетическому сектору:

- 05 – Уголь каменный и уголь бурый;
- 06 – Сырая нефть и природный газ;
- 16 – Кокс и нефтепродукты;
- 31 – Электроэнергия, услуги по передаче и распределению;
- 32 – Газ (топливо газообразное) и услуги по распределению газообразного топлива по трубопроводам;
- 33 – Услуги по передаче и распределению пара, горячей воды и кондиционированного воздуха.

Первичными являются продукты 05 и 06, они потребляются отраслями 16, 31, 32, 33 для преобразования в минеральное топливо, электрическую и тепловую энергию; либо прочими отраслями неэнергетического сектора. Первичные энергоресурсы, а также топливо/энергия после переработки являются продуктами промежуточного потребления для неэнергетического сектора экономики. Этот сектор в МОБ представлен всеми продуктами, кроме шести перечисленных выше. Конечное использование топлива/энергии посредством конечного по-

требления на внутреннем рынке осуществляется в домашних хозяйствах, секторе государственного управления и некоммерческими организациями. Также конечное использование топлива/энергии на внутреннем рынке производится посредством валового накопления основного капитала.

Продукты энергетического сектора могут экспортироваться напрямую либо косвенным образом – в составе неэнергетических продуктов (например, после переработки в химические продукты). Денежные доходы от экспорта энергетических продуктов формируются на основе их экспорта в отпускных ценах, а также торговых, транспортных и налоговых наценок в экспорте.

Данные о промежуточном потреблении, конечном использовании и экспорте продуктов энергетического сектора представлены в Таблице использования товаров и услуг в отпускных ценах; данные об импорте продуктов энергетического сектора – в Таблице использования импортных товаров и услуг, столбец «Всего использовано импортных товаров и услуг».

Введем условные обозначения для показателей, обозначенных в МОБ:

- $i = 1..n$ – продукты по столбцам МОБ – произведенные продукты;
- $j = 1..n$ – продукты по строкам МОБ – использованные продукты (на конечное использование и экспорт);

N – множество неэнергетических продуктов, всего;

E – множество продуктов энергетического сектора, включая топливно-энергетические ресурсы и продукты после их преобразования – нефтепродукты, электроэнергию и т. д.;

e_{ij} – коэффициенты прямых затрат, или элементы матрицы Леонтьева;

e'_j – коэффициенты полных затрат для конечных продуктов, или элементы вектора конечных продуктов обратной матрицы Леонтьева.

Расчетные показатели:

$$OE = \sum_{i=1}^E O_i, \text{ для } i \in E, \quad (1)$$

где OE – валовой выпуск продуктов энергетического сектора, тыс. руб.;

O_i – валовой выпуск продукта i , тыс. руб.;

$$ME = \sum_{j=1}^E M_j, \text{ для } j \in E, \quad (2)$$

где ME – общий объем импорта продуктов энергетического сектора, тыс. руб.;

M_j – импорт энергетического продукта j , тыс. руб.;

$$XE = \sum_{j=1}^E X_j, \text{ для } j \in E, \quad (3)$$

где XE – общий объем прямого экспорта продуктов энергетического сектора, тыс. руб.;

X_j – прямой экспорт энергетического продукта j , тыс. руб.;

$$IE = \sum_{i=1}^{N+E} \left(O_i \cdot \sum_{j=1}^E e_{ij} \right), \text{ для } j \in E, i \in N, i \in E, \quad (4)$$

где IE – стоимость промежуточного потребления топлива и энергии для производства продуктов энергетического и неэнергетического секторов, тыс. руб.;

$$FE = \sum_{j=1}^E F_j, \text{ для } j \in E, \quad (5)$$

где FE – общий объем конечного использования продуктов энергетического сектора на внутреннем рынке, тыс. руб.;

F_j – конечное использование продукта j , включая конечное потребление и валовое накопление, тыс. руб.

Согласно базовому тождеству Системы национальных счетов, определяющему общее макроэкономическое равновесие в интерпретации В. Леонтьева, предложение товаров и услуг в экономике должно соответствовать их использованию⁵. Данное тождество справедливо как для всей совокупности продуктов в экономике, так и для каждого из продуктов, включая энергетические. Следовательно,

$$OE + ME = IE + FE + XE, \quad (6)$$

а также

$$O_i + M_j = O_i \cdot \sum_{j=1}^E e_{ij} + F_j + X_j, \quad (7)$$

для каждого $i \in E, j \in E$, при $i = j$.

Наряду с базовым (6) введем дополнительное тождество, показывающее, что стоимость топлива и энергии в промежуточном потреблении энергетического и не-

энергетического секторов экономики переносится на стоимость конечных продуктов, которые в дальнейшем поставляются на экспорт и на внутренний рынок:

$$\sum_{i=1}^{N+E} \left(O_i \cdot \sum_{j=1}^E e_{ij} \right) = \sum_{j=1}^{N+E} (F_j + X_j) \cdot e'_j + \varepsilon, \quad (8)$$

для каждого $j \in E, j \in N$,

где ε – статистические расхождения.

Преобразование коэффициентов e в e' может осуществляться двумя путями: через построение инверсионной, или обратной матрицы Леонтьева – таким образом аналогичные коэффициенты рассчитываются для оценки добавленной стоимости в экспорте с применением методики оценки «вертикальной специализации во внешней торговле» (Точицкая, 2019); либо с применением специальной рекурсивной процедуры обработки коэффициентов прямых затрат, с учетом доли отечественных товаров и услуг в промежуточном потреблении (Быков, Колб, Хвалько, 2017).

Возможности анализа «воплощенной энергии» на примерах

Какова же реальная польза от применения уравнений (6) и (8) и в чем различия между ними? Во-первых, мы можем рассчитать в стоимостном эквиваленте энергоемкость любого продукта (отрасли) в экономике – для этого нужно отнести стоимость энергетических затрат к валовому выпуску или добавленной стоимости исследуемого продукта. Во-вторых, можем косвенно оценить изменения валового выпуска, добавленной стоимости, экспорта или импорта энергоресурсов при любых технологических или структурных изменениях в производстве и потреблении топлива и энергии, изменяя коэффициенты прямых затрат. В-третьих, можем анализировать коэффициенты полных затрат для конечных продуктов.

Данный показатель представляет собой полную денежную оценку энергоемкости, и он может быть рассчитан для любой отрасли национальной экономики по данным межотраслевого баланса. Кроме того, аналогичный расчет можно провести отдельно для каждого вида топлива и энергии – сколько в стоимостном эквиваленте расхо-

⁵ United Nations. 2003. National accounts: A practical introduction. Handbook of National Accounting. Studies in Methods. Series F. No 85. NY: United Nations. 147 p.

дуются электрической и тепловой энергии, нефтепродуктов, первичных энергоресурсов, для производства каждого товара или услуги. Зная объемы потребления каждого продукта на внутреннем рынке (конечного использования) и экспорта, можно оценить, какой стоимостный эквивалент таких, например, энергоресурсов, как нефть и природный газ либо нефтепродукты, экспортируется напрямую, а какой – косвенно, в виде затрат топлива и энергии в себестоимости экспортируемых товаров и услуг – удобрений, металлов, транспортных услуг, сельхозтехники.

Пример 1: сколько стоит добыча энергоресурсов в разных странах, например, в Беларуси и в России? Для получения ответа нужно рассчитать соотношение между затратами топлива и энергии на добычу угля, нефти или газа и валовым выпуском (рис. 2). Аналогичный результат будет получен при суммировании коэффициентов прямых затрат топлива и энергии для данного вида энергоресурсов i : $\sum_{j=1}^E e_{ij}$

Как видно, проблема угля как глобального энергоресурса состоит не только в том, что он слишком «грязный», создает много вредных выбросов при сжигании, но и недостаточно эффективный в принципе для добычи. В его стоимости 25% составляют затраты на топливо и энергию, соответственно выход «чистой» энергии в денежном эквиваленте равен лишь 75% от себестоимости. Добыча нефти и газа более эффективна в данном случае: выход «чистой» энергии – 90%. Относительно низкая эф-

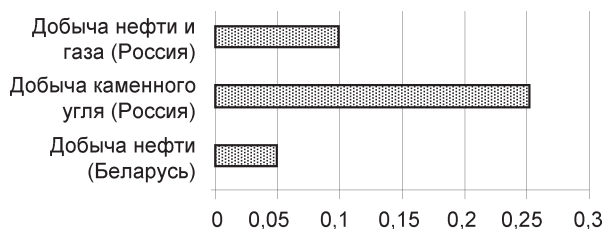


Рис. 2. Доля топлива и энергии в стоимости топлива и энергии, добываемых в России и Беларуси

Источник. Рассчитано по данным: Система таблиц «Затраты – Выпуск» за 2017 год: статистический бюллетень. 2019. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь; Таблицы ресурсов и использования товаров и услуг Российской Федерации за 2015 г. URL: <https://www.gks.ru/accounts>

фективность добычи угля объясняется не только технологией, но и относительно низкой ценой угля, которая примерно вдвое ниже нефти в расчете на 1 т. у. т.

В Беларуси добывать нефть вдвое дешевле, чем в России. Вероятно, данное обстоятельство связано с природными условиями и логистикой, поскольку основные запасы российской нефти находятся в отдаленных районах Сибири и Дальнего Востока. В то же время при высокой эффективности добычи запасы белорусской нефти ограничены.

Пример 2: альтернативный способ оценки энергоёмкости экономики в денежном измерении. Обобщающей характеристикой эффективности потребления энергии в национальной экономике является энергоёмкость ВВП. Она определяется соотношением потребляемого в экономике топлива и энергии (с учетом потерь и потребления для собственных нужд энергетического сектора), обычно в килограммах нефтяного эквивалента, и валового внутреннего продукта, в долларах США, по номинальному обменному курсу. Если рассматривать этот показатель в ретроспективе, то для большинства экономик мира характерна тенденция к его снижению. На первый взгляд, причиной являются новые технологии, позволяющие с каждым годом потреблять все меньше энергии в расчете на доллар прироста ВВП. Но на ситуацию можно посмотреть иначе: цены на товары и услуги растут, кроме того, постоянно появляются новые услуги вне сектора материального производства, что увеличивает ВВП и сокращает энергоёмкость.

Предлагается числитель данного показателя – потребление топлива и энергии – оценивать в денежном эквиваленте, в долларах США. Для этого нужно суммировать объемы промежуточного потребления всех продуктов энергетического сектора в таблице «Затраты – Выпуск», к этой сумме прибавить конечное использование топлива и энергии (конечное потребление и валовое накопление). Во избежание повторного счета из промежуточного потребления ТЭР вычитается промежуточное потребление аналогичных продуктов в производстве нефтепродуктов, электрической и тепловой энергии. Поскольку в таблицах «Затраты –

Выпуск» не приводится показатель ВВП, в знаменателе рассчитанной энергоёмкости использован показатель ВДС (рис. 3).

Как показано на рис. 3, традиционно измеряемая энергоёмкость для развитых стран (Великобритания, Германия США) в четыре раза ниже, чем для России и Казахстана. Связано это не только с технологиями, но и с климатическими условиями. Однако при пересчете в денежном эквиваленте энергоёмкость данных экономик отличается незначительно, за счет гораздо более дешевого топлива и энергии в России и Казахстане. Исключение составляют США, где энергоёмкость низка в силу как технологических, так и экономических факторов – в США топливо и энергия ненамного дороже, чем в России и Казахстане.

Пример 3: балансы топлива и энергии, рассчитанные по методологии «воплощенной энергии». Нами построены аналитические балансы для Беларуси по всем видам топлива и энергии, согласно уравнениям (6), (7) и (8). Уравнение (6) по всем шести энергетическим продуктам визуальное представлено на рис. 4. Для сопоставления объемов производимых и расходуемых в нашей стране топлива и энергии сравним приведенные показатели с ВВП, который в 2017 г. составил 105,7 млрд руб. в текущих ценах.

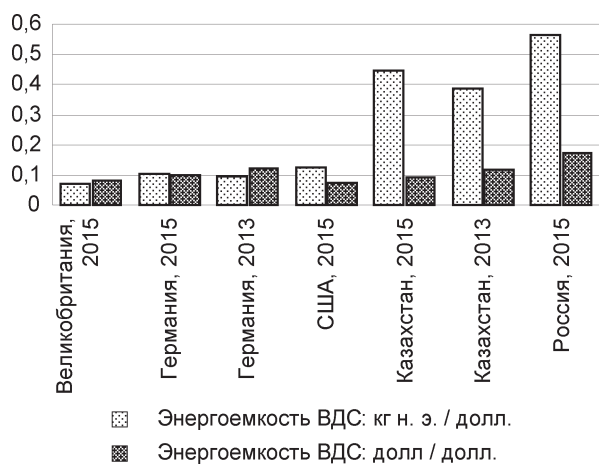


Рис. 3. Показатели энергоёмкости ВДС в «натуральной» и «денежной» формах для ряда стран

Источник. Рассчитано по данным: IEA Sankey Diagram. URL: <https://www.iea.org/sankey/#?c=World&s=Balance>; OECD Input-Output Tables 2018 edition. URL: <https://stats.oecd.org/>

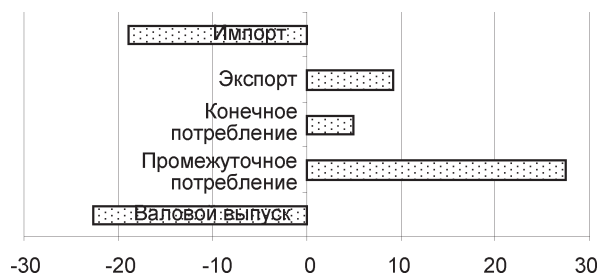


Рис. 4. Энергобаланс, построенный по методологии МОБ, млрд руб., без наценок, 2017 г.

Источник. Рассчитано по данным: Система таблиц «Затраты – Выпуск» за 2017 год: статистический бюллетень. 2019. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь. 314 с.

В концепции «воплощенной энергии», как указано выше, применяются производственный и потребительский методы анализа. Первый позволяет рассчитать потребление энергоресурсов в расчете на каждый произведенный продукт на основе коэффициентов прямых затрат; второй – на основе коэффициентов полных затрат для конечных продуктов.

Нами рассчитаны объемы потребления энергоресурсов (нижняя шкала) и относительные коэффициенты энергоёмкости продуктов (верхняя шкала) на основе производственного метода (рис. 5), а также аналогичные показатели для каждого конечного продукта на основе потребительского метода (рис. 6).

Результаты расчета показывают, что наибольший объем энергии расходуется в Беларуси на производство нефтепродуктов, которые преимущественно экспортируются. Нужно уточнить, что для энергетических продуктов на рис. 6 (нефтепродукты, электрическая и тепловая энергия) показана общая стоимость энергии, поставляемой на внутренний и внешний рынки. Для энергетических продуктов показатель энергоёмкости в данном случае характеризует отношение стоимости первичной энергии (до преобразования) к стоимости энергии после преобразования. Для нефтепродуктов этот показатель равен 0,77; в производстве электрической и тепловой энергии (услуг по передаче и распределению пара, горячей воды...) промежуточные затраты на энергию составляют 50% к стоимости отпускаемой конечным потребителям энергии.

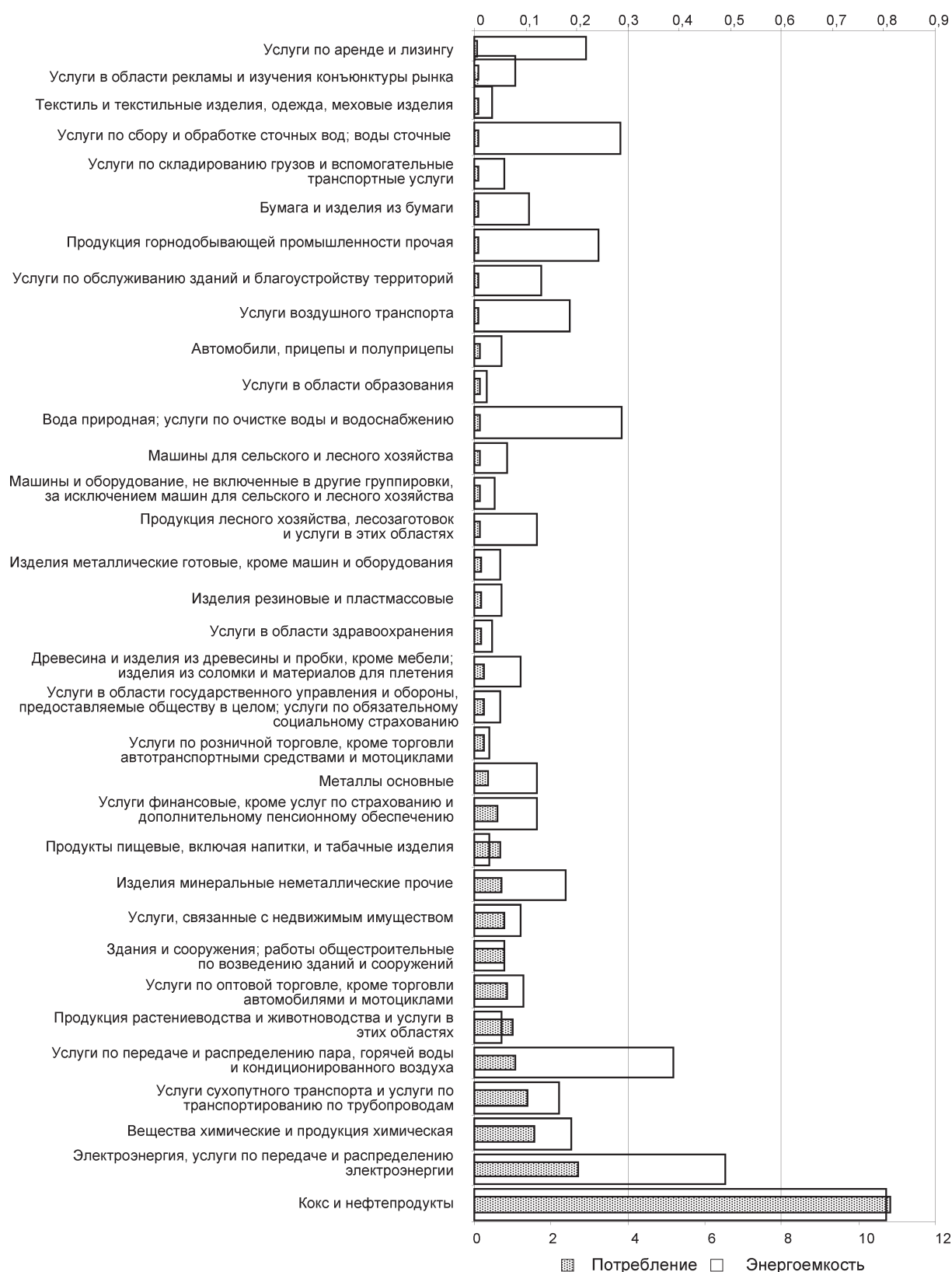


Рис. 5. Потребление топлива и энергии в отраслях белорусской экономики, расчет производственным методом, млрд руб. и отн. ед., 2017 г.

Источник. Рассчитано по данным: Система таблиц «Затраты – Выпуск» за 2017 год: статистический бюллетень. 2019. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь. 314 с.

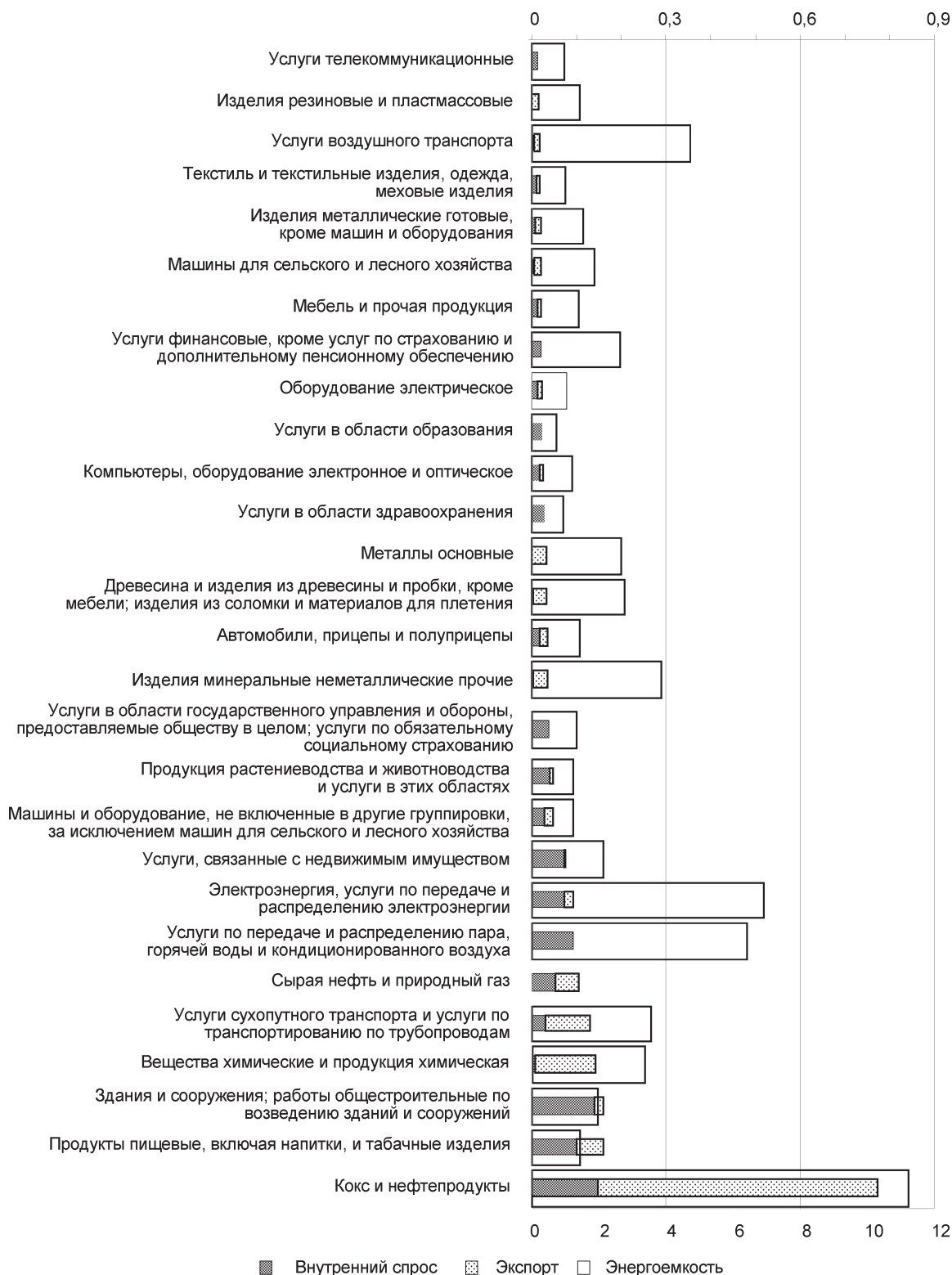


Рис. 6. Общее потребление топлива и энергии при производстве конечных продуктов в белорусской экономике, расчет потребительским методом, млрд руб. и отн. ед., 2017 г.

Источник. Рассчитано по данным: Система таблиц «Затраты – Выпуск» за 2017 год: статистический бюллетень. 2019. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь. 314 с.

Среди продуктов неэнергетического сектора высокой энергоемкостью характеризуются услуги воздушного транспорта, производство стройматериалов (неметаллических минеральных продуктов), услуги сухопутного транспорта, химическое производство. При достаточно невысокой относительной энергоемкости значимыми потребителями топлива и энергии являются отрасли пищевой промышленности и строительства ввиду больших масштабов производства и таких же больших объемов промежуточного спроса на другие продукты со стороны этих отраслей.

Например, в стоимости продуктов питания прямые затраты топлива и энергии составляют 2,8%. Однако в производстве продуктов питания используются отечественные сельхозпродукты, косвенно потребляющие не только топливо и энергию, но и удобрения, для производства которых также используются энергоресурсы. В конечном счете полная энергоемкость пищевых продуктов, потребляемых на внутреннем рынке или поставляемых на экспорт, составит, по нашим расчетам, почти 11% от их полной себестоимости.

По нашим оценкам, прямой экспорт произведенных в белорусской экономике энергетических продуктов в 2017 г. составил 9,1 млрд руб., или 15,2% от общего объема экспорта товаров и услуг (без наценок). При этом косвенный экспорт энергетических продуктов в составе неэнергетических товаров и услуг был равен еще 7,9 млрд долл., или 13,2% от общего объема экспорта. Таким образом, прямой и косвенный вклад энергетического сектора в экспортные доходы страны превысил 28%. Этот показатель никак нельзя вывести из топливно-энергетического баланса, который не учитывает цены на топливо и энергию, ни из платежного баланса, который не учитывает межотраслевые связи.

Пример 4: сколько Беларусь зарабатывает на нефтепродуктах и каким образом сокращение их экспорта может сказаться на платежном балансе страны?

По данным межотраслевого баланса, доход от экспорта нефтепродуктов 2017 г. составил 8,3 млрд руб. Дополнительно 3,4 млрд руб. дохода получено за счет налого-

вых и торговых экспортных наценок на нефтепродукты. Коэффициент полных затрат первичных энергоресурсов на производство нефтепродуктов составил 0,77. Это значит, что экспортируемые нефтепродукты содержат в своей себестоимости прямо и косвенно импортные топливно-энергетические ресурсы (нефть и природный газ) на сумму 6,4 млрд руб.

Используя уравнения (7) и (8), рассчитаем прогнозные балансы топлива и энергии в натуральном и стоимостном выражении при условии отсутствия экспорта нефтепродуктов (рис. 7). При этом спрос на нефтепродукты на внутреннем рынке остается неизменным.

При отказе от экспорта нефтепродуктов экспорт и импорт ТЭР существенно сократятся, а торговый баланс ухудшится на 5,3 млрд руб. Вклад наценок в изменение торгового баланса составит -3,4 млрд руб., вклад снижения добавленной стоимости от выпуска – -1,9 млрд руб.

По данным ТЭБ, Беларусь является нетто-импортером топливно-энергетических ресурсов, их импорт в натуральном измерении заметно превышает экспорт. Однако при измерении экспорта и импорта топлива и энергии в денежных единицах нужно учесть фак-

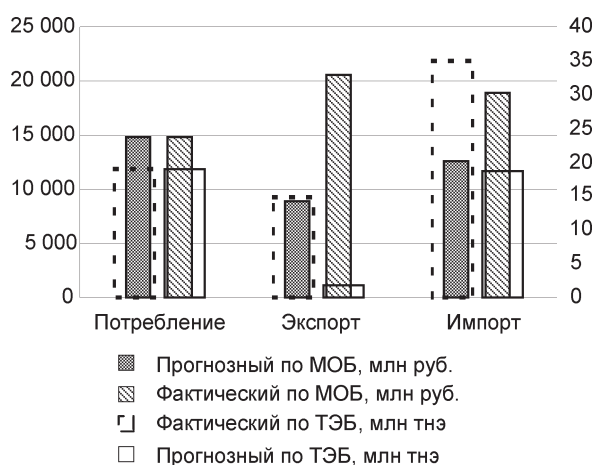


Рис. 7. Фактические и прогнозные (без экспорта нефтепродуктов) балансы топлива и энергии

Источник. Рассчитано по данным: Система таблиц «Затраты – Выпуск» за 2017 год: статистический бюллетень. 2019. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь. 314 с.; Энергетический баланс Республики Беларусь, 2017: статистический сборник. 2017. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь. 154 с.

торы, увеличивающие экспортные денежные доходы: разницу между ценой закупаемой нефти и стоимостью нефтепродуктов; наценки на экспортируемые нефтепродукты; прирост добавленной стоимости на этапе трансформации энергии; потребление энергии отраслями, экспортирующими свою продукцию (химическая, пищевая, деревообработка, стройматериалы). Если учесть эти факторы, то выходит, что белорусский баланс по топливу и энергии в денежном эквиваленте сегодня профицитный. Сохранение торгового профицита по топливу и энергии является важным условием профицита текущего счета платежного баланса и, более того, условием поддержания финансовой стабильности.

* * *

Несмотря на условность приведенных примеров, очевидна практическая применимость балансовых методов в обосновании решений, влияющих на производство и потребление топливно-энергетических ресурсов. Основное преимущество анализа «воплощенной энергии» – его системный характер, позволяющий учесть влияние изменений в энергетическом секторе на важнейшие макроэкономические показатели.

Существенным недостатком подобного анализа является несоответствие показателей МОБ показателям топливно-энергетического баланса. Например, производство и потребление нефти и природного газа в денежном эквиваленте не разделено и представляет единый продукт (вид деятельности), также в МОБ не представлены такие виды топлива, как торф, дрова, биотопливо, другие возобновляемые виды топлива и энергии.

Похожая проблема возникает при сопоставлении продуктов МОБ «Услуги сухопутного транспорта» и «Производство нефтепродуктов». Транспорт потребляет топливо как продукт промежуточного спроса, однако значительная часть произведенных нефтепродуктов реализуется в розничной торговле для удовлетворения конечного спроса населения. Возникает вопрос: как разделить в топливно-энергетическом балансе доли нефтепродуктов, потребляемых транспортным сектором и потребляемых населением? Вполне вероятно, что прямым

путем такой учет произвести невозможно, поскольку на заправочных станциях клиентов не делят на частных и корпоративных. Тот же вопрос касается потребления электрической и тепловой энергии в жилищном секторе. В денежном измерении одна часть энергозатрат относится к конечному спросу, а другая – к промежуточному, со стороны отрасли «Операции с недвижимым имуществом». В итоге достаточно сложно соотнести для каждого вида деятельности физические и денежные объемы потребления топлива и энергии.

Если бы показатели ТЭБ и МОБ были эквивалентными, сопоставимыми, объединение двух балансовых отчетов позволило бы создать мощный инструмент анализа энергетического сектора, позволяющий рассчитать себестоимость и цену каждого вида топлива и энергии на входе и выходе технологических процессов добычи, преобразования и потребления. Сегодня в мире не существует действующей аналитической системы, способной решить данную проблему. Почему бы не попробовать ее создать?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

- Быков А.А., Колб О.Д., Хвалько Т.В.** 2017. *Торговля добавленной стоимостью: источники сбалансированного экономического роста*. Минск: Мисанта. 356 с. [Bykau A.A., Kolb O.D., Khvalko T.V. 2017. *Trade in value added: Sources of balanced economic growth*. Minsk: Misanta. 356 p. (In Russ.)]
- Ершов Ю.С., Мельникова Л.В., Суслов В.И.** 2009. Практика применения оптимизационных мультирегиональных межотраслевых моделей в стратегических прогнозах российской экономики. *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Социально-экономические науки*. Т. 9. № 4. С. 9–23. [Ershov Yu.S., Mel'nikova L.V., Suslov V.I. 2009. The practice of the use of multiregional Input-Output models in strategic forecasts of Russian economy. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sotsial'no-ekonomicheskie nauki*. Vol. 9. No 4. PP. 9–23. (In Russ.)]
- Орлов А.** 2008. О реальной теории стоимости и ценности. *Общество и экономика*. № 8. Москва: Наука. С. 49–712. [Orlov A. 2008. About the real theory of cost and value. *Obshchestvo i ekonomika*. No 8. PP. 49–72. (In Russ.)]
- Пляскина Н.И., Мошкин Н.П., Гречина Е.О.** 2017. Инструментарий оценки экологической эф-

фективности энергосберегающих проектов. *Эколого-экономические проблемы развития регионов и страны (устойчивое развитие, управление, природопользование)*: материалы 14-й Международной научно-практической конференции Российского общества экологической экономики. Петрозаводск: Карельский научный центр Российской академии наук. С. 215–220. [Plyaskina N.I., Moshkin N.P., Grechina E.O. 2017. Environmental efficiency assessment toolkit for energy saving projects. *Ekologo-ekonomicheskie problemy razvitiya regionov i strany (ustoychivoe razvitie, upravlenie, prirodnopol'zovanie)*: materialy 14-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Rossiyskogo obshchestva ekologicheskoy ekonomiki. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy tsentr Rossiyskoy akademii nauk. PP. 215–220. (In Russ.)]

Сошникова Л.А. 2009. *Теория и методология построения и анализа модифицированного межотраслевого баланса (эколого-экономический аспект)*. Минск: БГЭУ. 237 с. [Soshnikova L.A. 2009. *Theory and methodology of constructing and analyzing a modified intersectoral balance (environmental-economic aspect)*. Minsk: BGEU. 237 p. (In Russ.)]

Точицкая И. 2019. Оценка добавленной стоимости в экспорте Беларуси. *Рабочий материал*

Исследовательского центра ИПМ WP/19/03. Минск: Исследовательский центр ИПМ. С. 3. [Tochitskaya I. 2019. Assessment of the value added in exports of Belarus. *Rabochiy material Issledovatel'skogo tsentra IPM WP/19/03*. Minsk: Issledovatel'skiy tsentr IPM. P. 3. (In Russ.)]

Brown M.T., Herendeen R.A. 1996. Embodied energy analysis and EMERGY analysis: A comparative view. *Ecological Economics*. Vol. 19. Iss. 3. PP. 219–235.

Costanza R. 2004. Value theory and energy. *Encyclopedia of Energy*. Vol 6. Amsterdam: Elsevier. PP. 337–346.

Hannon B. 1973. The structure of ecosystems. *Journal of theoretical biology*. Vol. 41. Iss. 3. PP. 535–546.

Rees W.E. 2000. Eco-footprint analysis: Merits and brickbats. *Ecological Economics*. Vol. 32. Iss.3. PP. 371–374.

Wiebe K.S., Yamano N. 2016. Estimating CO₂ emission embodied in final demand and trade using the OECD ICIO 2015: Methodology and results. *OECD science, technology and industry working papers*. No 5. 39 p.

In citation: *Belorusskiy Ekonomicheskiy zhurnal*. 2019. No 4. PP. 71–85.

Belarusian Economic Journal. 2019. No 4. PP. 71–85.

«EMBODIED ENERGY» ECONOMIC ANALYSIS: METHODOLOGY AND APPLICATIONS

Aliaksei Bykau¹, Dmitry Rodnyansky², Natalia Khaustovich¹, Vyacheslav Shutsilin¹

Author affiliation: ¹ Belarus State Economic University (Minsk, Belarus);

² Kazan Federal University (Kazan, Russia).

Corresponding author: Aliaksei Bykau (aliaksei.bykau@yandex.ru).

ABSTRACT. Known approaches generally named as ‘embodied energy analyses’ used in the production and consumption of fuel and energy studies and based on input-output tables statistics are considered. These approaches are combined by transferring the energy costs associated with the production of intermediate products to the cost of the final products, which allows to estimate the energy intensity by direct (production) and indirect (consumer) methods. Traditionally, the «embodied energy» analysis is used by ecologists to estimate CO₂ emissions by specific countries and sectors of economy. We have proposed evaluation tools for analyzing the impact of energy sector products on macroeconomic indicators. Tyeir testing was carried out in several calculations using the input-output statistics of the Republic of Belarus and also OECD statistics.

KEYWORDS: embodied energy, energy intensity, cross-sectional model, input-output tables.

JEL-code: C21, Q43.

Received 16.10.2019

