

<https://doi.org/10.3176/hum.soc.sci.1971.4.01>

К. ТЕННО

К ПРОБЛЕМЕ ОПТИМИЗАЦИИ ТОПЛИВНО-ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА И ЭНЕРГЕТИКИ В ПРИБАЛТИЙСКОМ ЭКОНОМИЧЕСКОМ РАЙОНЕ

В Институте экономики Академии наук Эстонской ССР в течение ряда лет проводились исследования в области перспективного планирования химического производства и энергетики Прибалтийского экономического района путем постановки и решения серии экономико-математических задач. Результаты этих работ, полученные на разных этапах исследования, освещались в печати [1, 2, 3]. Данная статья кратко обобщает содержание и излагает дополнительные результаты этих исследований.

Методические принципы названной серии работ заключаются в комплексном подходе к проблемам оптимизации химических и топливно-химических производств. Рассматриваемая система в общем случае не ограничена пределами Прибалтийского экономического района, а является открытой по отношению к возможности снабжения его привозным сырьем, топливом и конечной продукцией. В качестве конечной продукции выступают химические продукты (полимерные материалы, азотные удобрения и т. д.), топлива, электро- и теплоэнергия, потребляемые в народном хозяйстве Прибалтийского экономического района за пределами рассматриваемого комплекса производств (производственной системы).

Для реализации комплексного подхода разработана модель межотраслевой задачи производственно-транспортного типа с многопродуктовыми технологиями и обратными связями. На ней проведено множество вариантных расчетов, заключающихся в исследовании реакции системы на изменение разных ее параметров. Разработана методика экономико-математического анализа рассматриваемой системы.

Подвергаемый оптимизации многоотраслевой промышленный комплекс включает четыре типа производств: топливо-добывающие (сланцевые шахты и карьеры), топливо-перерабатывающие (нефте- и сланцеперерабатывающие предприятия), химические (производства пластмасс, удобрений, волокон и т. д.) и электростанции. Эти производства представлены в задачах множеством технологических способов так, чтобы продукция одного служила сырьем для другого. Модель имеет на входе не воспроизводимые в системе факторы (экзогенные), на выходе — конечную продукцию.

Критерием оптимальности принят минимум годовых приведенных затрат (текущие плюс капитальные за год окупаемости) на добычу и транспорт к месту переработки топливно-химического сырья, его переработку до получения конечной продукции и доставку последней потребителям.

Математически задача сформулирована как многоотраслевая производственно-транспортная с дискретными переменными [2].

Обозначения:

j — индекс технологического способа, $j \in J = \{1, 2, \dots, n\}$;

i — индекс продукта или не воспроизводимого в данной системе ресурса,

$$i \in I = \{1, 2, \dots, m\};$$

l — число пунктов потребления конечной продукции или сосредоточения исходного сырья;

j, r — индексы отправителя или получателя груза,

$$j \in J = \{1, 2, \dots, n\},$$

$$r \in R = \{1, 2, \dots, n, n+1, \dots, n+l\}, R \supset J;$$

x_j — искомая интенсивность использования j -го технологического способа;

x_{irj} — искомый объем перевозок i -го ресурса или промежуточного продукта из r -го пункта поставки в пункт размещения j -го технологического способа;

x_{ijr} — искомый объем перевозок i -го продукта j -го технологического способа в r -й пункт производственного или конечного потребления;

δ_{irj} и δ_{ijr} — транспортные расходы на перевозку i -го ресурса или продукта из r -го пункта поставки в j -й пункт потребления или из j -го пункта поставки в r -й пункт потребления;

a_j — затраты на экзогенные факторы и ресурсы при использовании j -го технологического способа с единичной интенсивностью;

c_{ij} — выпуск i -го продукта при единичной интенсивности использования j -го технологического способа;

a_{ij} — соответственно расход i -го ресурса;

b_{ir} — конечная потребность в i -м продукте ($b_{ir} \geq 0$) или ограничение расхода i -го ресурса ($b_{ir} < 0$) в пункте r ,

$$r \in \{n+1, \dots, n+l\};$$

J_s — множество индексов взаимозаменяемых технологических способов;

$J_s \in J = \{1, 2, \dots, n\}$, s — индекс соответствующей группы этих способов.

Требуется найти план, при котором достигается минимума целевая функция

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{r \in R} \delta_{ijr} x_{ijr} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{r \in R} \delta_{irj} x_{irj} + \sum_{j \in J} a_j x_j \quad (1)$$

и выполняются условия

$$\sum_{r \in R} x_{ijr} - \sum_{r \in R} x_{irj} = (c_{ij} - a_{ij}) x_j; \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ijr} - \sum_{j \in J} x_{irj} \geq b_{ir}, r \in \{n+1, \dots, n+l\}; \quad (3)$$

$$x_j \in \{0, 1, 2, \dots\}; \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} x_j \leq 1. \quad (5)$$

Условие (2) выражает баланс поступления и расхода каждого продукта в каждом из технологических способов. По условию (3) потребление каждого продукта как конечного не должно быть меньше спроса на этот продукт и расход каждого экзогенного ресурса не должен превышать заданный лимит на него. Условием (4) соблюдается требование целочисленности плана.¹ Ограничение (5) вводится в тех случаях, когда технологический способ может быть представлен в плане не более чем одним вариантом из множества разновидностей.

Ввиду отсутствия эффективных точных методов решения трехиндексной многоотраслевой производственно-транспортной задачи модель обычно сводится к двухиндексной, т. е. к общей модели производственного планирования.

В данном случае сведение задачи (1)—(5) к двухиндексной с понижением ее размерности достигнуто тем, что затраты на транспорт всех ресурсов и продуктов складывались с производственными. Производственная матрица при этом сводилась к размерности $m \times n$, b_{ir} к b_i , а условия (2) и (3) — к условию

$$\sum_{j \in J} (c_{ij} - a_{ij}) x_j \geq b_i. \quad (6)$$

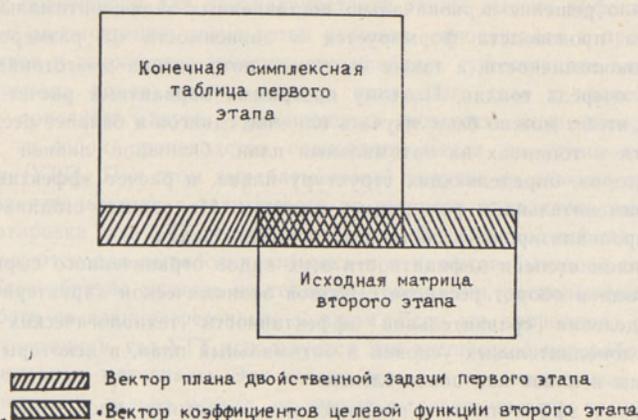
Соблюдение требования целочисленности плана в данной серии задач достигалось тем, что условие целочисленности ставилось для некоторых неизвестных, а задания по выпуску продукции выбирались равными или кратными по отношению к мощностям их производства.

Суммы производственных и транспортных затрат служили коэффициентами целевой функции, которая приняла вид

$$\sum_{j \in J} p_j x_j = \min. \quad (7)$$

Расчеты на описанной модели проведены с варьированием технологической матрицы. Сначала была разработана матрица размером 80×114 . Результаты решения по этой матрице дали возможность сократить и частично агрегировать ее до размера 51×64 и 56×57 .

Впоследствии возникла необходимость исследовать более узкий отраслевой комплекс — производство полимерных материалов, исходя из результатов оптимизации рассмотренного многоотраслевого комплекса. Эта задача поставлена и решена как второй этап исследования, причем увязка этапов достигнута с помощью двойственных оценок производственных факторов [4]. Разработанная методика поэтапного решения даст возможность разбиения больших межотраслевых комплексов на взаимосвязанные отраслевые и облегчает тем самым решение больших задач сложной структуры. На рисунке схематически изображена связь этапов посредством двойственных оценок.



Как отмечалось, в общем случае система не ограничивается пределами Прибалтийского экономического района, она открыта по отношению к ввозу сырья, топлива и конечной продукции, а на втором этапе также полупродуктов. В качестве района,

¹ Поскольку на объектах разной мощности затраты на единицу продукции различны, за единицу использования технологического способа принималась годовая производственная мощность рассматриваемого объекта (агрегата, установки и т. д.). Поэтому интенсивности использования технологических способов должны быть целыми числами или легко к ним приводимыми.

поставляющего нефть и конкурирующего в отношении производства нефтехимических продуктов, принято Поволжье — основной район нефтеснабжения Европейской части СССР, в том числе Прибалтики. Однако целый ряд задач решен без привоза в Прибалтику конечных продуктов. Эти задачи рассчитаны на тот случай, если в Поволжье не хватает сырья, мощностей или каких-либо других ресурсов для обеспечения Прибалтики необходимыми нефтехимическими продуктами.

На каждой стадии работы исходная информация задач по мере возможности обновлялась и дополнялась. После опубликования результатов [2, 3] скорректированы капитальные вложения соответственно новым ценам строительных материалов, строительномонтажных работ и оборудования. Также скорректированы технологические способы нефтепереработки, добычи сланца и его переработки в соответствии с новыми проектными материалами институтов «Ленгипрогаз» и «Теплоэлектропроект».

Ограничения переменных всей серии задач делятся на три группы. К первой относятся ресурсы топливно-химического сырья для Прибалтийского экономического района. Вторая, самая большая группа, включает потребность Прибалтики в конечных продуктах рассматриваемой системы (без внутрисистемного оборота). Третью группу составляют ограничения мощности. Эти ограничения необходимо ввести для существующих производств, входящих в задачу без дополнительных капитальных вложений, и для взаимозаменяемых технологических способов — ограничения типа (5).

Ресурсы природного газа приняты по данным института «Гипроспецгаз». Ресурсы нефти определены типовой мощностью нефтеперерабатывающего завода, строительство которого планируется в Литовской ССР. Топливно-сырьевые ресурсы сланца, торфа и каменного угля в задачах не ограничены.

Лимиты по выпуску конечной продукции ориентированы на перспективную потребность Прибалтийского экономического района в рассматриваемых продуктах. Если эта потребность меньше мощности типовой установки, лимит установлен на уровне типовой мощности.

В потребность электроэнергии входит, кроме конечной потребности района, электроэнергия, производимая в Прибалтике для нужд соседних районов, а показатели потребности в светлых топливах и топочном мазуте включают и экспортируемое через прибалтийские порты топливо.

Как показало решение первоначально поставленных задач, оптимальный план данного комплекса производств формируется в зависимости от размеров имеющихся ресурсов и их экономичности, а также конечного потребления многотоннажной продукции, в первую очередь топлив. Поэтому программа вариантных расчетов задавалась таким образом, чтобы можно было изучать влияние сдвигов в балансе ресурсов и конечной потребности в топливах на оптимальный план. Основной линией анализа стало выявление факторов, определяющих структуру плана, и расчет эффективности планов, полученных применительно к различным условиям. На разных стадиях исследования рассчитано и проанализировано более ста вариантов задач.

Варьированием степени дефицитности всех видов ограниченного сырья выявлялась очередность ввода в оборот ресурсов с разной экономической характеристикой.

Для определения сравнительной эффективности технологических способов, не вошедших без дополнительных условий в оптимальный план, в некоторых задачах они были закреплены в плане как обязательные.

Сравнительная эффективность производства отдельных продуктов или их групп подсчитана соизмерением затрат (значений целевой функции) соответствующих планов с отнесением разницы в затратах на те продукты, которые вырабатывались в каждом плане при разных условиях. Основные результаты, характерные для всех стадий исследования, будут изложены ниже.

При возможности поставок нефтехимических продуктов из Поволжья переработка нефти в Прибалтике должна ориентироваться на выработку максимального количества топлив, а нефтехимические продукты целесообразно привозить из Поволжья. К последним в первую очередь относятся продукты органического синтеза и полимерные материалы. Поэтапное решение показало, что наибольшие районные различия в затратах

образуются на стадиях переработки исходного сырья и производства мономеров. На конечных же стадиях производства полимерных материалов потери прибалтийского варианта в приведенных затратах незначительны по сравнению с привозными продуктами. Так, если в Поволжье весь технологический комплекс переработки нефти и последующее производство мономеров и полимерных материалов на 9—17% экономичнее соответствующего комплекса в Прибалтике, то производство полимерных материалов (полистирола, сополимеров, синтетических волокон и т. д.) из привозных полупродуктов в Прибалтике лишь на 2—3% дороже поволжского варианта. Более того, некоторые полимерные продукты дешевле производить в Прибалтике из привозных полупродуктов (поливинилацетатная эмульсия, фенол-формальдегидные смолы и пресспорошки и т. д.).

Преимущество Поволжья перед Прибалтикой для развития органического синтеза на базе нефтепереработки связано с более благоприятными условиями энергетической базы: по данным разных авторов, приведенные затраты на замыкающее топливо в Прибалтике на 15—26% выше соответствующих затрат в Поволжье. В связи с этим в Прибалтике целесообразно производить в первую очередь не энергоемкую продукцию.

Установлено также, что производство углеводородных мономеров и полимерных материалов из продуктов термической переработки сланца не обеспечивает производства полимеров, способных конкурировать с доставляемыми из Поволжья нефтехимическими продуктами. Однако в системе, ограниченной пределами Прибалтийского экономического района, нефте- и сланцехимический варианты производства полимерных продуктов по экономическим показателям примерно равны и выбор одного из них непосредственно связан с балансом топливных ресурсов в рассматриваемой системе. Поэтому на всех стадиях исследования много внимания уделялось соответствующим вариантным расчетам.

Что касается переработки сланца не термическими методами, т. е. окислением керогена с производством дикарбоновых кислот (ДКК), то этот метод переработки сланца при данных исходных показателях (показатели разработаны Институтом химии Академии наук ЭССР) высоко эффективен и имеет существенное экономическое преимущество перед нефтехимическими методами производства. Имея в виду тот факт, что качество получаемой смеси ДКК позволяет заменять ею дорогостоящую себациновую кислоту для выработки пластификаторов, производство ДКК из керогена можно признать перспективным направлением развития сланцехимии. Использование сланцехимических ДКК в производстве полиэфиров для пенополиуретанов также высоко эффективно.

Переходя к рассмотрению результатов решения, относящихся к производству топливных продуктов и энергетике, отметим, что наиболее существенное влияние на изменение оптимального плана имеют ресурсы природного газа и потребление мазута. Потребность в топочном мазуте, превышающая мощность нефтеперерабатывающего завода, влечет за собой производство сланцевого масла на установках с твердым теплоносителем (УТТ). При этом вырабатываемый попутно со сланцевым маслом углеводородный газ используется в зависимости от ресурсов природного газа в Эстонской ССР (транспортировка газа УТТ не предусмотрена). Если природный газ дефицитен, его ресурсы используются для выработки аммиака и в качестве бытового газа. Газ УТТ в этом случае целесообразно сжигать на теплоэлектростанции, расположенной в непосредственной близости со сланцеперегонным заводом. Если же природного газа хватает и для теплоэлектростанции, газ УТТ используется для химической переработки в олефины и далее в полимерные материалы. Это значит, что в последнем случае УТТ входит в план не как поставщик только мазута, но вместе с газохимическим комплексом. Резкое увеличение ресурсов природного газа для Эстонской ССР уже в ближайшей перспективе вполне реально и в новых условиях обеспеченности республики природным газом использование сланцевого газа в энергетике становится нецелесообразным.

Анализ результатов решения показывает, что формирование плана использования сланца тесно связано с тем, как складывается топливный баланс электроэнергетики рассматриваемой системы. Естественно, что структура производства электро- и теплоэнергии формируется в зависимости от размера имеющихся топливных ресурсов и их экономичности, а также от потребления топлив в качестве товарных продуктов. Известно также, что электростанции, работающие на жидком и газообразном топливе, менее

капиталоемки по сравнению с электростанциями, работающими на твердом топливе. Однако для более отдаленного перспективного периода учитывается рост дефицитности мазута, в связи с чем нефтяной мазут большей частью или полностью используется для удовлетворения внешней потребности системы. Поэтому удельный вес мазута в топливном балансе электростанций непосредственно зависит от конкурентоспособности сланцевого мазута с твердыми топливами. По существу оценка конкурентоспособности сланцевого мазута означает выявление эффективности энерготехнологического использования сланца (под энерготехнологией понимается термическая переработка твердого топлива с последующим сжиганием на электростанции полученной продукции). Нуждается также в решении вопрос о том, использовать ли на энергоблоках второй очереди Эстонской ГРЭС натуральный сланец или создать энерготехнологический комплекс с предварительной переработкой сланца на УТТ.

Соответствующие расчеты показали, что сжигание на электростанции натурального сланца или энерготехнологическая схема производства электроэнергии при данных технико-экономических показателях УТТ практически равноценны. Однако этот результат получен при весьма оптимистичных технологических и экономических характеристиках УТТ. В этой связи следует отметить, что с целью выявить условия и границы экономической эффективности переработки сланца в УТТ был поставлен машинный эксперимент с варьированием технико-экономических показателей УТТ и внешних факторов системы. Этими расчетами установлено, что мазут и газ УТТ в качестве топлива для электростанций конкурентоспособны с натуральным сланцем лишь при выполнении ряда жестких требований по технико-экономическим показателям агрегатов и внешним условиям системы. Например, процесс перехода потенциального тепла сланца в полезные продукты должен обеспечить энергетический коэффициент полезного действия установки не менее чем 86%. Поэтому окончательный выбор топлива для второй очереди Эстонской ГРЭС зависит исключительно от перспектив освоения установок с твердым теплоносителем большой мощности и выявления их реальных экономических характеристик.

В целом для формирования структуры производства электро- и теплоэнергии характерно, что в условиях ближайшего перспективного периода наибольшее количество электроэнергии производится на базе сланца. Аналогичную роль в производстве теплоэнергии играет каменный уголь (согласно условиям задачи каменноугольные электростанции расположены в Латвии и Литве). В условиях более отдаленной перспективы заметно возрастает роль природного газа в производстве энергии, особенно для выработки теплоэнергии. Мазут занимает весьма скромное место в топливном балансе энергетики Прибалтики. Однако следует иметь в виду, что в случае использования мазута мелкими потребителями (в малых и средних котельных установках) взамен твердого топлива, экономия будет выше, чем при соответствующей замене на электростанциях [2].

Резюмируя итоги проделанных работ, можно отметить, что разработанная модель и методика экономико-математического анализа позволяют исследовать широкий круг межотраслевых проблем производственного планирования, в частности в области топливно-химической промышленности. Достоинством разработанной методики следует признать также возможность оптимизации достаточно широкого межотраслевого комплекса посредством разбиения на взаимосвязанные отраслевые комплексы и решения общей задачи поэтапно. Поэтапная постановка и решение позволили выявить эффективность не только всей технологической цепочки получения рассматриваемых конечных продуктов, но и отдельных промежуточных стадий производства.

Что касается результатов по содержанию проделанных исследований, то с точки зрения оптимального плана переработка нефти в Прибалтике должна преимущественно давать топливные продукты. Сланец целесообразно использовать как топливо на крупных электростанциях в Эстонской ССР, причем выбор между сжиганием твердого топлива или энерготехнологической схемой зависит в первую очередь от реальных показателей УТТ.

Производство из сланцевого сырья продуктов органического синтеза для полимерных материалов не обеспечивает получения полимеров, конкурентоспособных с достав-

ляемыми из Поволжья соответствующими продуктами. Вместе с тем в пределах Прибалтики использование для химической переработки сланцевого или нефтяного сырья имеет почти равную эффективность и выбор того или другого варианта производства зависит исключительно от баланса топливных продуктов в системе. Так, в условиях дефицита жидкого котельного топлива предпочтительнее сланцехимический вариант, т. е. комплексное использование продукции УТТ.

В Прибалтике целесообразно развивать производство некоторых полимерных материалов из привозных полупродуктов. Поскольку на конечных стадиях производства полимерных материалов прибалтийский вариант теряет в затратах по сравнению с привозными продуктами незначительно, создается известная свобода размещения производства полимерных продуктов для собственной потребности Прибалтики. Однако для принятия конкретных плановых решений по размещению этих производств следует учитывать такие не рассмотренные в данной серии работ факторы, как мощности строительных организаций, ограничения по рабочей силе, водные ресурсы.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Каганович, М. Рейснер, Об одной задаче целочисленного программирования. Изв. АН ЭССР, сер. обществ. наук, XV, 1965, № 2.
2. И. Каганович, К. Тенно, Оптимизация топливно-сырьевого баланса химических производств и энергетики в Прибалтике. Таллин, 1968.
3. Н. Барабанер, И. Каганович, М. Рейснер, К. Тенно, К. Хабиخت, Оптимизация комплекса топливно-энерго-химических производств в Прибалтике. В кн.: Экономико-математические исследования народного хозяйства Эстонской ССР. Таллин, 1968.
4. К. Тенно, Оптимизация производства полимерных материалов для Прибалтийского экономического района. Автореф. дисс. канд. эконом. н. Таллин, 1969.

*Институт экономики
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию
23/IV 1970

K. TENNO

KÜTUSE- JA KEEMIA TÖÖSTUSE NING ENERGIATÖÖMISE OPTIMISEERIMISEST BALTI MAJANDUSRAJONIS

Resüme

Käsitletakse ENSV TA Majanduse Instituudis viimastel aastatel valminud uurimistöid, millede eesmärgiks oli optimeerida mitut paljutooteliste tehnoloogiatega tööstusharu hõlmavaid tootmissüsteeme. Püstitatakse ülesanne ja antakse matemaatiline mudel kui diskreetsete tundmatutega tootmis-transpordiulesanne. Ülesannete koostamist ja lahendamist vaadeldakse selle mudeli alusel nii ühe- kui ka mitmeetapilisena, s. t. osadekaupa. Viimasel juhul kasutatakse osade seostamiseks esialgse ülesande lahendamisel saadud duaalhinnanguid. Analüüsitakse vaadeldava tootmissüsteemi sisemiste ja välimiste tingimuste korduvalt muutmisel saadud tulemusi ning tehakse antud tööstusharude kompleksi optimaalse plaani kohta vastavad järeldused.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Majanduse Instituut*

Toimetusse saabunud
23. IV 1970

K. TENNO

ON OPTIMIZING THE FUEL-AND-CHEMICAL INDUSTRY AND THE PRODUCTION OF ELECTRIC POWER IN THE BALTIC ECONOMIC REGION

Summary

The author discusses the research work, carried out in recent years by the Institute of Economics (Academy of Sciences of the ESSR), on multi-products technologies aimed at the optimization of production systems covering several branches of industry. Further, the problem is presented, and an integer model of the production-transport type. The construction of problems is considered on the basis of the above model, as well as their solution, either by single-stage or multi-stage methods, i.e. in parts. In the latter case, the dual appreciations obtained at the solution of the primary problem are utilized. The results received under the condition of repeated changes of the interior and exterior factors of the given production system are analyzed, and corresponding conclusions concerning the optimum plan of the complex of industrial branches are drawn.

Academy of Sciences of the Estonian SSR,
Institute of Economics

Received
April 23, 1970