

УДК 33 / 519.865: 678

DOI:10.38028/ESI.2023.29.1.011

## Выработка подходов для моделирования и прогнозирования рынка пластиков с учетом формирования «циркулярной экономики»

Капустин Никита Олегович

Институт энергетических исследований РАН, Россия, Москва, *nikita.kapustin@eriras.ru*

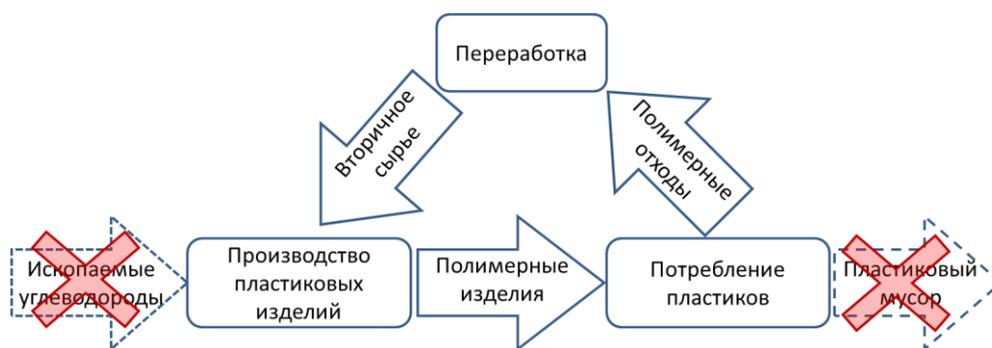
**Аннотация.** Проблема борьбы с пластиковым загрязнением в последние годы вышла на первый план повестки по защите окружающей среды во многих странах мира. Ответом на нее должно стать создание «циркулярной экономики пластиков», которая предполагает коренное изменение производственных цепочек отрасли с переходом с ископаемого углеводородного сырья на переработку и повторное использование полимерных изделий и упоминается в программных документах Евросоюза, США, Канады и многих других стран. В настоящей работе исследуются варианты развития «циркулярности» пластиковой отрасли, методологические подходы по прогнозированию рынка пластиков и спроса на традиционные и новые виды сырья для производства полимеров в условиях отраслевых изменений. Предложена схема модельного комплекса по анализу и прогнозированию функционирования мировой пластиковой отрасли, обладающая широкой функциональностью и пригодная для проведения разнообразного спектра исследований пластиковой отрасли.

**Ключевые слова:** пластиковая отрасль, моделирование, прогнозирование, циркулярная экономика

**Цитирование:** Капустин Н.О. Выработка подходов для моделирования и прогнозирования рынка пластиков с учетом формирования «циркулярной экономики» / Н.О. Капустин // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2023. – № 1(29). – С. 123-134. – DOI:10.38028/ESI.2023.29.1.011.

**Введение.** Проблема борьбы с пластиковым загрязнением в последние годы вышла на первый план повестки по защите окружающей среды во многих странах мира. Для этого существуют веские основания: по общепринятым оценкам, уже около 6 млрд. тонн пластиковых отходов накопились в окружающей среде к 2015 году и темпы загрязнения только нарастают [1].

К 2022 году сложился широкий международный общественный консенсус, поддерживаемый государственными органами, представителями бизнеса и экспертного сообщества, о необходимости борьбы с пластиковым загрязнением для купирования его негативного влияния на биосферу и жизненную среду человечества. Ответом на эту проблему должно стать создание так называемой «циркулярной экономики пластиков» – концептуальной структуры рынка, полностью замкнутой на себе, использующей в качестве сырья для новых пластиковых товаров продукты переработки отработанных полимерных изделий (рис. 1).



**Рис. 1.** Теоретическая схема по переходу к «циркулярности» пластикового рынка

Подобная конфигурация, в теории, должна решить сразу три проблемы пластиковой отрасли в контексте экологической повестки: проблему утилизации полимерных отходов; проблему зависимости отрасли от ископаемого углеводородного сырья; проблему снижения углеродного следа за жизненный цикл полимеров [2]. «Циркуляризация» пластиковой отрасли уже стала официальной целью государственных политик Евросоюза [3], Японии [4], Ко-

реи [5], Канады [6]. Специализированные НКО разрабатывают схемы трансформации рынков стран, еще не имеющих официальных планов, например, для США [7]. Собственные концепции «циркуляризации» формулируют и крупные компании, причем как со стороны производителей [8], так и потребителей [9]. Таким образом, «циркуляризация» становится всё более важным фактором развития рынка пластиков, причем на всех звеньях цепи: уже действующие и планируемые инициативы и законы затрагивают и формирование спроса, и требования к производству, и вопросы утилизации отходов.

Стоит отметить, что «циркуляризация» значима не только в контексте самого рынка пластиков, но и потенциально может оказать влияние на мировые рынки нефти и, соответственно, энергоносителей в целом. Так, нефтехимический сектор является вторым по объемам в структуре спроса нефтяного рынка с долей около 10% и, по оценкам МЭА, уже в обозримом будущем может остаться единственным сектором потребления с перспективами к росту [10]. Учитывая, что около 90% выпуска нефтехимической отрасли приходится на пластики [11], то именно развитие рынка пластиков является практически определяющим для нефтехимической отрасли и, соответственно, играет важную роль для нефтяного рынка в целом.

Таким образом, анализ и прогнозирование рынка синтетических полимеров и пластиков, с учетом современных тенденций по «циркуляризации», являются важными задачами как с точки зрения понимания самого этого рынка, который, согласно стратегическим документам, является одним из приоритетных для Российской Федерации [12], так и в его связи с топливно-энергетическим комплексом, который является ключевым для отечественной экономики.

Целями настоящей работы являются: обзор распространенных подходов к прогнозированию рынка пластиков в современной мировой науке с выделением их основных преимуществ и недостатков; анализ изменений на мировом рынке пластиков, обусловленных «циркуляризацией», ставящих новые условия и задачи для его моделирования и прогнозирования; разработка инструментария для моделирования и прогнозирования мирового рынка пластиков с учетом выводов из проведенного анализа.

**1. Обзор современных подходов к моделированию и прогнозированию пластикового рынка.** В мировой практике можно выделить два широко распространенных подхода к прогнозированию рынка пластиков.

Первый рассматривает рынок пластиков (в составе рынка нефтехимической продукции или отдельно) через призму объемов потребления сырья для синтеза продукции. Прогнозирование строится на базе эконометрического моделирования динамики перспективного спроса на сырье (этана; сжиженных углеводородных газов (СУГ); нефти; биосырья) со стороны нефтехимической отрасли. Затем, если в исследовании стоит такая задача, из спроса на сырье, через конверсионные коэффициенты, калькулируется производство, и, соответственно, спрос на пластики.

Данный подход в первую очередь характерен для исследований энергетики с широким масштабом охвата, таких, как работы ОПЕК [13], МЭА [14], аналитических отделов энергетических компаний [15, 16], где рынок пластиков в первую очередь рассматривается, как сегмент, генерирующий спрос на углеводороды, однако иногда используется и в специализированных исследованиях [17].

К основным преимуществам данного варианта прогнозирования можно отнести относительную простоту расчетных алгоритмов и доступность статистических ретроспективных данных – объемы потребления сырья в секторе нефтехимии публикуются как централизованно, на наднациональном уровне (например, World Energy Statistics Мирового Энергетиче-

ского Агентства [18]), так и энергетическими агентствами и государственными регуляторами большинства стран мира.

Ключевым недостатком подхода является невозможность с его помощью хоть сколько-нибудь точно оценить развитие спроса на рынке пластиков даже в масштабах макрорегионов. В то время как совокупные глобальные объемы потребления сырья для синтеза пластиков являются четким индикатором глобального же спроса на пластики в условиях сбалансированного рынка, на уровне стран и регионов данный показатель зависит, в первую очередь, от производственных мощностей, которые могут удовлетворять спрос в любой точке мира и совершенно не коррелировать с фактическим потреблением в данной стране или регионе. Данный фактор ограничивает применимость подхода только самыми общими (глобального масштаба) или, наоборот, узкоспециализированными (связанными с производственными мощностями и потреблением сырья) исследованиями пластикового рынка.

Повышение внимания к вопросам полимерного загрязнения в последние годы привело к увеличению количества масштабных исследований, посвященных конкретно рынку пластиков. В таких работах ключевым параметром для анализа и прогнозирования рынка становится конечный спрос на пластики, от объемов которого калькулируются такие показатели, как: объемы пластикового загрязнения, спроса на сырье, выбросы парниковых газов и т.п. В теории, именно прогнозирование «от спроса» является более корректным с точки зрения научного исследования рынков. Основной же проблемой практической реализации данного подхода, в полную противоположность с предыдущим, является разрозненность ретроспективных данных, поскольку в настоящее время учет потребления пластиков ведется лишь ограниченным кругом стран, причем по значительно различающимся методикам. В связи с этим, практически все современные глобальные исследования пластикового рынка безальтернативно ссылаются на одну работу (ряды данных в которой ограничены 2015 годом) [1] без критической оценки данных и перекрестной верификации с альтернативными источниками просто по причине отсутствия или труднодоступности таковых. Использование ограниченных данных авторы исследований зачастую дополняют применением чрезмерно упрощенных (прямая экстраполяция ретроспективных годовых темпов прироста спроса, без их привязки к каким-либо экономическим или демографическим параметрам, например, [19; 20]) или, наоборот, переусложненных (дробление спроса на отдельные подвиды полимеров с их раздельным прогнозированием [21]) алгоритмов расчётов. Это приводит к появлению результатов, имеющих логику в рамках конкретной работы, но выглядящих парадоксально, при рассмотрении в контексте других исследований. Так, в приведенных выше работах, прогнозируются колоссальные темпы прироста спроса на пластики до уровней более 1-1,5 млрд. тонн в год к 2050-2060 годам с текущих 400 млн.т, что значительно превышает самые оптимистичные сценарии прогнозов мировой энергетики и нефтяной отрасли.

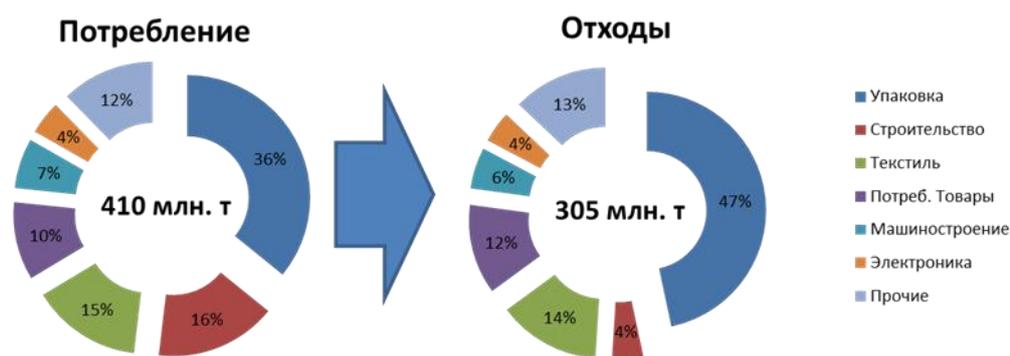
Общей же проблемой современного прогнозирования пластикового рынка является поверхностный подход к моделированию именно процессов его трансформации и «циркуляризации». Так, анализируя все вышеприведенные долгосрочные прогнозы, можно отметить, что развитие «циркулярной экономики пластиков», в большинстве случаев, не рассматривается как таковое, а служит экзогенным фактором. Как правило, уровень «циркулярности» выражается неким сценарно задаваемым коэффициентом (причем, иногда, даже напрямую не указываемым), без четкой расшифровки его значения или объяснения его динамики. Особенно это характерно для наиболее амбициозных «углеродно-нейтральных» сценариев, где почти безальтернативно практикуется детерминированный подход – задается некое условие, например, по обязательному сокращению потребления ископаемого сырья или выбросов до predetermined значения. В итоге развитие «циркулярной экономики» «подгоняется» для соответствия этим показателям, без учета не только экономической целесообразности, но,

подчас, и теоретической реализуемости. Причем, такие допущения характерны не только для крупных мультисекторных исследований, где недостаток детализации может быть объяснен масштабом, но и для специализированных на нефтегазохимической отрасли.

Таким образом, можно констатировать недостаточную системную проработку темы в мировой науке, что обуславливает необходимость создания более совершенного модельно-аналитического инструментария с устранением несовершенств существующих аналогов.

**2. Формирование концептуальной схемы «циркулярности пластиков» и формулирование задач для построения моделей.** Для построения актуальных математических моделей развития мировой полимерной промышленности в контексте декларируемого движения к «циркулярности», авторами был проведен анализ элементов цепочки «циркулярного» пластикового рынка, для выявления основных узких мест, фокусов и требований к построению модельного комплекса и формирования реалистичной схемы «циркулярности» пластиков, которая и будет описана на языке математической модели.

В первую очередь, необходимо обратить внимание на тот факт, что существует стабильный разрыв между объемами потребления полимерной продукции и объемами производимых пластиковых отходов. Ежегодное потребление пластиков значительно превышает объемы формируемых пластиковых отходов, кроме того, существует заметная разница в секторальных структурах потребления пластиков и генерации отходов (рис. 2) [22].



**Рис. 2.** Объемы и секторальная разбивка годового потребления пластиковых продуктов и производимых полимерных отходов

Данный фактор трудно переоценить при моделировании «циркулярного» рынка пластиков, поскольку в его парадигме пластиковые отходы становятся источником сырья и важной частью рынка. Таким образом, одной из задач моделирования рынка становится калькуляция не только спроса и производства, но и генерации отходов и их дальнейшей переработки.

Сами по себе, пластиковые отходы нельзя рассматривать в качестве единого гомогенного потока, поскольку различные типы полимеров требуют применения заведомо различных подходов по переработке:

- относительно легко перерабатываемые пластиковые отходы (пластиковые бутылки, крышки, плотная упаковка, домашняя утварь и т.п.), которые могут «рециркулироваться» в новые пластиковые продукты через традиционный процесс «механической» переработки;
- сложноперерабатываемые пластиковые отходы, не подходящие для «механической» переработки, но которые возможно конвертировать до базовых мономеров перспективными процессами «химической» переработки (пиролиз, деполимеризация и т.п.);
- наконец, часть полимерных отходов в принципе не пригодна для переработки. Попадать в эту категорию пластики могут по широкому спектру причин: деградация физико-

химических свойств полимеров в ходе эксплуатации; недоступность релевантных технологий переработки или изначальная непригодность для переработки. Данная категория подлежит утилизации в той или иной форме, будь то энергетическое сжигание, компостирование или иные формы захоронения. В любом случае, данный поток отходов выпадает из цикла переработки.

В этом контексте ключевую значимость приобретает отрасль сбора, сортировки и утилизации полимерных отходов, развитие и деятельность которой необходимо отдельно подробно рассматривать при моделировании рынка.

«Циркуляризация» пластикового рынка, по мере своего развития, может повлечь значительное изменение сырьевой корзины производственных мощностей, где до сих пор доминировали нефтепродукты. Сосуществование на рынке нескольких взаимозаменяемых видов сырья, со значительно различающимися производственными цепочками (жидкое сырье из нефтяной отрасли; этан из газовой; вторичное сырье от отрасли переработки), создает требование по включению в расчеты инструментария для моделирования сырьевой конкуренции, на которую будут влиять рыночные (себестоимость сырья, производственные и логистические возможности), и нерыночные факторы (экологические политики, государственные стандарты и проч.), которые могут как ускорять, так и тормозить «циркуляризацию».

Помимо изменения и усложнения структуры пластикового рынка, «циркуляризация» затронет и принципы формирования спроса, поскольку разные сектора потребления в разных странах в различной степени могут быть затронуты политиками, связанными с регулированием потребления, что требует соответствующей проработки и учета в расчетных алгоритмах.

Вместе с тем важно отметить, что пока пластиковая отрасль потребляет ископаемое сырье, она остается частью нефтяного рынка, которая, с одной стороны, зависит от его динамики, а с другой стороны, на эту динамику непосредственно влияет. В связи с этим, при моделировании пластикового рынка, необходимо иметь инструменты как по учету влияния развития рынка нефти на рынок пластиков, например, через доступные объемы того или иного сырья и цены на него, так и обратного влияния через объемы и локализацию спроса на нефтяное сырье.

Учитывая все вышеописанные факторы, проводилась разработка структуры модельного комплекса для анализа и прогнозирования трансформирующегося рынка пластиков и выработка методологических подходов и алгоритмов расчета для обеспечения функционирования этого комплекса. Результаты этой работы описаны в нижеследующем разделе.

**3. Описание разработанного модельного комплекса для прогнозирования рынка пластиков.** В качестве инструментария для построения модельного комплекса выбраны следующие методологические подходы:

- имитационное моделирование;
- тренд-анализ;
- регрессионное эконометрическое моделирование;
- кластеризация;
- оптимизационное моделирование;
- метод обоснованных аналогий.

Для прогнозирования деятельности пластиковой отрасли авторы предлагают создание **Модели рынка пластиков:** комплекса моделей из четырех ключевых блоков, схема взаимосвязи которых представлена на рисунке 3. Подробное описание расчетов в каждом из блоков приведено ниже.

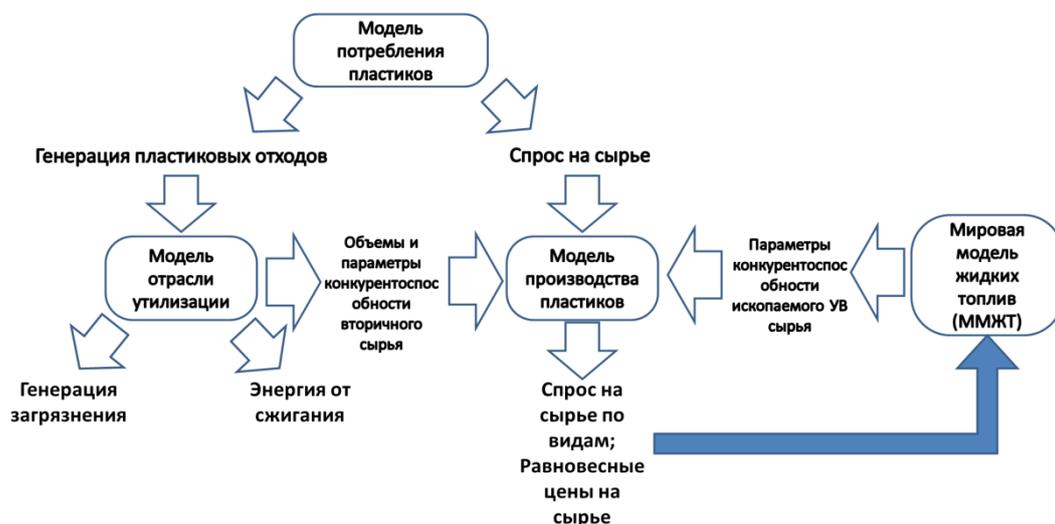


Рис. 3. Схема взаимосвязи блоков Модели рынка пластиков

**3.1. Мировая модель жидких топлив.** Мировая Модель Рынка Жидких Топлив (ММЖТ) – блок комплекса SCANNER [23], осуществляющий моделирование мирового рынка нефтяных и биотоплив, включая их производственные возможности и экономические параметры. Расчеты ведутся по 102 узлам (это могут быть страны, регионы стран, объединения стран). Моделирование осуществляется по целевой функции минимизации затрат по производственной цепочке нефтяной отрасли с условием полного удовлетворения заданного спроса с учетом занесённых в модель объемов доступного предложения нефти, нефтепродуктов и их прямых субститутов в каждом узле. Подробнее ММЖТ описана в работах [24, 25].

В Модели пластикового рынка ММЖТ играет несколько важных ролей:

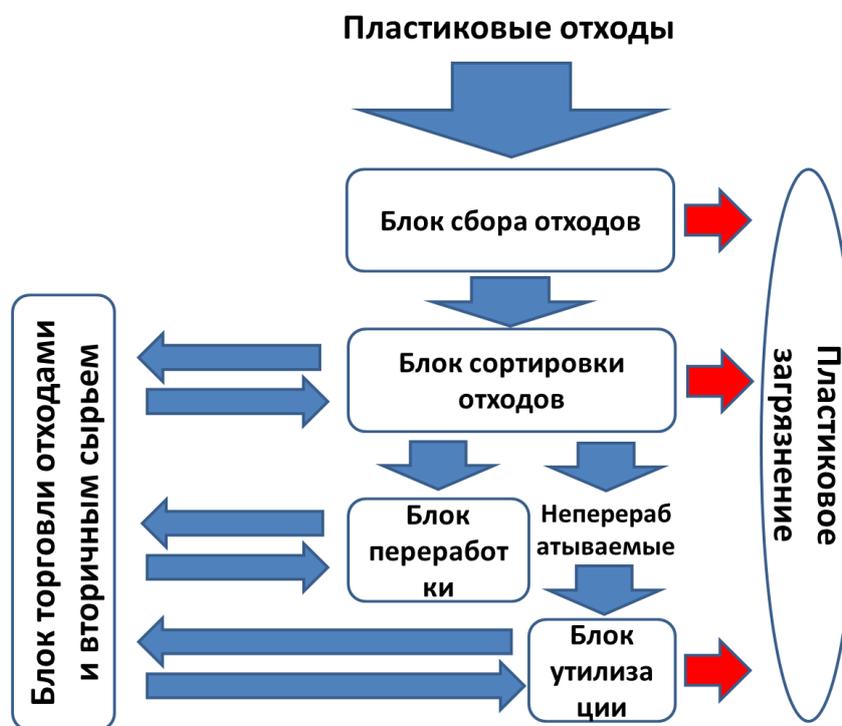
1. Расчеты в ММЖТ позволяют определить параметры конкурентоспособности и доступных объемов различных видов «первичного» сырья нефтехимической отрасли: этана, СУГ, нефти и биосырья.
2. В Модели рынка пластиков используются результаты работы по кластеризации и созданию структуры узлов для описания мирового рынка, проведенной при разработке ММЖТ [26].
3. ММЖТ интегрирована в структуру модельного комплекса ИНЭИ РАН и служит связующим звеном между ним и Моделью рынка пластиков, обеспечивая передачу и единообразие данных.
4. Поскольку ММЖТ уже содержит блок расчетов по нефтехимической отрасли, основанный на прогнозировании потребления сырья, результаты этих расчетов используются для верификации данных, полученных в Модели рынка пластиков, с целью выявления возможных грубых ошибок.

**3.2. Модель потребления пластиков.** Модель потребления полимерных (пластиковых) изделий – рассчитывает конечный спрос на продукты пластиковой отрасли по секторам потребления и, соответственно, производство пластиковых отходов. В структуре модельного комплекса данный элемент является ключевым, одновременно предъявляя требования по объемам необходимого выпуска для Модели производства пластиков, и обеспечивая данные для расчета объемов полимерных отходов для сортировки и переработки для Модели отрасли утилизации.

Модель потребления пластиковых изделий основана на анализе трендов потребления пластиковых изделий по секторам и их связи с ключевыми макроэкономическими показателями в узлах потребления: валовый внутренний продукт (ВВП) и население. Исходя из выявленных закономерностей («пластиковоемкости» секторов экономики и подушевого потреб-

ления), по узлам строится прогноз потребления, основанный на предпосылках по макроэкономическому и демографическому развитию стран и регионов, в том числе с учетом секторальных ограничений на потребление, которые вводятся законодательно в рамках «циркуляризации».

**3.3. Модель отрасли утилизации.** Модель отрасли утилизации пластиков – используется для моделирования обращения с пластиковыми отходами. Основной функцией данного блока в модельном комплексе является прогнозирование функционирования отрасли переработки полимерных отходов с целью определения доступных объемов и параметров конкурентоспособности вторичного сырья. Побочными, но значимыми, выходными данными являются объемы перспективного пластикового загрязнения и производства энергии при сжигании отходов. Для каждого узла определяется ряд параметров для модельных блоков, которые отражают цепочку отрасли переработки пластиков и действуют как последовательные «фильтры» для потоков полимерных отходов, где на каждом этапе недостаточность инфраструктуры может приводить к формированию пластикового загрязнения. Схема расчетов в блоке «Модель отрасли утилизации» представлена на рисунке 4.



**Рис. 4.** Схема взаимодействия блоков в Модели рынка вторичного сырья

Подробное описание модельных расчетов и взаимодействий блоков представлено ниже.

- Блок систем по сбору полимерных отходов – отражает возможности узла по выделению полимерных отходов из общего потока отходов от антропогенной деятельности. Любые объемы пластиковых отходов, не прошедшие этап сбора, априори считаются выпадающими из цикла переработки и учитываются как пластиковое загрязнение. Мощности по сбору могут быть как централизованными, где выделение пластиков осуществляется крупными предприятиями, так и децентрализованными, где нагрузка ложится, в большей степени, на конечных потребителей пластиковой продукции. В модели эффективность системы отражается присвоением узлу коэффициента от 0 до 100% для каждого отдельного года, на который умножаются объемы всех производимых в узле отходов, чтобы определить объемы перспективного вторичного сырья которые могут попасть на следующий этап производственной цепи.

- Блок сортировки полимерных отходов – ключевой блок для которого основным параметром являются установленные мощности в узле, позволяющие обеспечить сортировку полимерных отходов для дальнейшего распределения по перерабатывающим предприятиям. Стоит отметить, что мощности по сортировке, в отличие от систем по сбору в узлах, могут быть избыточны и узлы могут оказывать другим узлам услуги по сортировке, если это логистически реализуемо и экономически оправдано. В модели мощность узла по сортировке указывается в млн. т в год для каждого прогнозного года. Если объемы собранных отходов в узле превышают собственные мощности по сортировке и возможности по вывозу в другие узлы, то избыточные объемы выпадают из цикла и подлежат утилизации. Объемы полимерных отходов в Блоке сортировки на входе рассматривается как единый поток, однако при расчетах учитывается секторальное происхождение полимеров и тренды перерабатываемости продукции, потребляемой в этих секторах. Выходом Блока сортировки являются объемы полимеров, подходящих для разных типов переработки или пригодных только для утилизации, определяемые системой коэффициентов, уникальных для каждого узла и потока отходов.
- Блок «механической» переработки – входными параметрами являются объемы подходящего сырья из Блока сортировки, выходными – объемы вторичного сырья для производства продукции для секторов упаковки, товаров народного потребления, строительства и текстильной промышленности. Основными входными параметрами являются установленные в узле мощности по механической переработке полимеров дроблением, переплавкой, пеллетизацией и проч.
- Блок «химической» переработки – для которого основным параметром являются установленные в узле мощности по «механической» переработке пластиков пиролизом, деполимеризацией и проч. Входными параметрами являются объемы подходящего сырья из Блока сортировки, выходными – объемы вторичного сырья для производства продукции для всех секторов потребления.
- Блок утилизации – определяющий возможности узла по эффективной утилизации непереработанных пластиков в каждый год. В частности, отдельно учитываются мощности по энергетической утилизации – сжиганию отходов для выработки тепла и электроэнергии. Объемы выработанной таким образом энергии могут использоваться в модельном комплексе ИНЭИ РАН для построения энергетических балансов узлов. Неперерабатываемые отходы, которые не утилизируются в узле или не вывозятся для утилизации в другие узлы, переходят в категорию пластикового загрязнения.
- Учет перетоков пластиковых отходов до и после переработки между узлами ведется в Блоке торговли вторичным сырьем. Торговля отходами и вторичным сырьем может осуществляться на каждом этапе цепочки полимер-перерабатывающей промышленности, от сортировки до утилизации. Блок торговли вторичным сырьем строится на принципах оптимизационного моделирования полного равновесия: модель учитывает затраты по цепочке отрасли переработки отходов, определяет для каждого узла оптимальную возможную загрузку сортировочных, перерабатывающих и утилизационных мощностей; равновесные цены на полимерные отходы в узлах, определяемые как максимальные затраты замыкающего поставщика. Стоит отметить, что в случае отрасли переработки пластиков может существовать ситуация, когда узлы не потребляют вторичное сырье, а, наоборот, получают услуги по переработке, сортировке или утилизации отходов. Для этих случаев в узлах с избыточными (по тем или иным причинам, включающим и недостаточно жесткое законодательство в области защиты окружающей сре-

ды) возможностями по утилизации, калькулируются равновесные цены услуг по утилизации, аналогично равновесным ценам на вторичное сырье.

**3.4. Модель производства пластиковых изделий и сырьевой конкуренции.** Модель производства пластиковых изделий и сырьевой конкуренции – узловым элементом комплекса, агрегирующей данные прочих блоков для проведения расчетов межсырьевой конкуренции в узлах модели, располагающих производственными мощностями в настоящем времени или в прогнозном периоде. Входными данными для этой модели служит спрос на пластиковые изделия по секторам потребления; равновесные цены на первичное и вторичное сырье; мощности по производству пластиковых изделий по узлам. Результатами расчетов является спрос на сырье для удовлетворения потребностей производственных мощностей в узле по видам сырья, которая предъявляется ММЖТ и Модели рынка вторичного сырья. Модель использует подход оптимизационного моделирования для обеспечения удовлетворения спроса во всех узлах с минимальными затратами, с учетом производственных возможностей и логистических ограничений.

Помимо сугубо экономических показателей, при моделировании рынка сырья в узлах вводятся дополнительные показатели, как, например, ввод на законодательном уровне требований по содержанию вторичного компонента в сырье для производства пластиковых изделий, что уже практикуется в ЕС. Подобные поправки могут в значительной мере менять картину рынка и формировать требования по адаптации на рынке первичного и вторичного сырья.

**Заключение.** Предлагаемый модельный инструментальный является актуальной разработкой, опирающейся на хорошо зарекомендовавшие себя аналитический инструментальный и системный подход, с учетом мирового опыта в области прогнозирования рынка пластиков. Модельный комплекс позволяет решить несколько ключевых вопросов рынка пластиков с долгосрочными горизонтами прогнозирования с масштабированием от глобального до регионального уровня и уровня объединения стран:

- объемы спроса на пластиковые изделия;
- объемы спроса на сырье для производства полимеров;
- объемы потенциального вымещения углеводородного сырья;
- эффективность систем утилизации и переработки полимерных отходов;
- объемы перспективного пластикового загрязнения;
- эффекты от государственных политик в пластиковой отрасли;
- различные варианты развития рынков и способы адаптации стран и игроков рынка;
- возможный вклад энергетической утилизации полимерных отходов в энергетические балансы.

Гибкость методологических подходов и разнообразие массивов выходных данных обеспечивает широкий спектр применения модельного комплекса как для фундаментального научного анализа рынка пластиков в структуре энергетических рынков и самостоятельно, так и для решения научно-практических задач в интересах государственных регуляторов и бизнеса.

Результаты апробации и доработки представленного модельного комплекса и отдельных его частей планируется представить в будущих публикациях автора и исследовательского коллектива ИНЭИ РАН.

**Благодарности.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-79-30013) в Институте энергетических исследований Российской академии наук.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Geyer R., Jambeck J., Law K. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 2017, vol. 3, iss. 7, e1700782, DOI:10.1126/sciadv.1700782.
2. Designing out plastic pollution. Ellen MacArthur foundation, available at: <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/plastics/overview> (accessed: 09/21/2022).
3. Circular economy action plan. European Union, 2020, available at: [https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new\\_circular\\_economy\\_action\\_plan.pdf](https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf) (accessed: 09/21/2022).
4. The plastic resource circulation act. Japanese Ministry of the Environment, 2021, available at: [https://www.iges.or.jp/sites/default/files/inline-files/01\\_MOEJ\\_Shintaro%20Murai-min.pdf](https://www.iges.or.jp/sites/default/files/inline-files/01_MOEJ_Shintaro%20Murai-min.pdf) (accessed: 09/21/2022).
5. Shin S-K., Um N., Kim Y-J., Cho N-H., Jeon T-W. New policy framework with plastic waste control plan for effective plastic waste management. *Sustainability*, 2020, no. 15, 6049, DOI:10.3390/su12156049.
6. Canada's zero plastic waste agenda. Official website of the Government of Canada, 20 June, 2022, available at: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/managing-reducing-waste/reduce-plastic-waste/canada-action.html> (accessed: 09/21/2022).
7. U.S. plastics pact unveils national strategy to achieve 2025 circular economy goals. The U.S. plastics pact, ASHEVILLE, NC, 2021, available at: <https://usplasticspact.org/u-s-plastics-pact-unveils-national-strategy-to-achieve-2025-circular-economy-goals/> (accessed: 09/21/2022).
8. Circular economy. BASF, 2022, available at: <https://www.basf.com/global/en/who-we-are/sustainability/we-drive-sustainable-solutions/circular-economy.html> (accessed: 09/21/2022).
9. Moving toward a circular economy. The Coca Cola Company, 2018, available at: <https://www.cocacolacompany.com/news/moving-toward-a-circular-economy> (accessed: 09/21/2022).
10. World energy outlook. OECD/IEA, 2021, available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021> (accessed: 09/21/2022).
11. Lange J-P. Towards circular carbo-chemicals – the metamorphosis of petrochemicals. *Energy & Environmental Science*, iss. 8, vol. 14, 4358-4376, DOI:10.1039/D1EE00532D.
12. Минпромторг России и Минэнерго России. Стратегия развития химического и нефтехимического комплекса на период до 2030 года, от 8 апреля 2014 года, № 651/172.
13. World oil outlook 2020. ОПЕК, 2020, available at: [https://www.opec.org/opec\\_web/static\\_files\\_project/media/downloads/publications/OPEC\\_WOO2020.pdf](https://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/OPEC_WOO2020.pdf) (accessed: 09/21/2022).
14. World energy outlook. OECD/IEA, 2020, available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020> (accessed: 09/21/2022).
15. Outlook for energy. ExxonMobil, 2019, available at: [https://corporate.exxonmobil.com/-/media/Global/Files/outlook-for-energy/2019-Outlook-for-Energy\\_v4.pdf](https://corporate.exxonmobil.com/-/media/Global/Files/outlook-for-energy/2019-Outlook-for-Energy_v4.pdf) (accessed: 09/21/2022).
16. Energy outlook 2020. BP, 2020, available at: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2020.pdf> (accessed: 09/21/2022).
17. Petrochemicals outlook: plastic under pressure. BloombergNEF, 2021.
18. World energy statistics. OECD/IEA, 2022, available at: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-statistics> (accessed: 09/21/2022).
19. Scott A., Pickard S., Sharp S., Becque R. Phasing out plastics, ODI, London, 2020.
20. Zheng J., Suh S. Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics. *Nature Climate Change*, 2019, vol. 9, pp. 374-378, DOI: 10.1038/s41558-019-0459-z.
21. OECD, Global plastics outlook: Policy Scenarios to 2060, OECD publishing, Paris, DOI:10.1787/aa1edf33-en.
22. Ritchie H., Roser M. Plastic pollution, available at: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution> (accessed: 09/21/2022).
23. Макаров А.А. SCANNER: модельно-информационный комплекс // Под ред. Макарова А.А. – М: ИНЭИ РАН, 2011. – С. 74.
24. Grushevenko D., Kapustin N. Methodology for forecasting the global liquid fuels market, 2017 Tenth international conference management of large-scale system development (MLSD), 2017, pp. 1-4, DOI: 10.1109/MLSD.2017.8109633.
25. Kapustin N.O., Grushevenko D.A. Global prospects of unconventional oil in the turbulent market: A long term outlook to 2040, *Oil and gas science and technology*, 2018, 73(1):67, DOI: 10.2516/ogst/2018063.
26. Mitrova T., Kulagin V., Grushevenko D., Grushevenko E., Galkina A. Complex method of petroleum products demand forecasting considering economic, demographic and technological factors. *Economics and business letters*, 2015, no. 4 (3), p. 98.

**Капустин Никита Олегович.** Научный сотрудник ИНЭИ РАН, SPIN: 8558-9191, AuthorID: 842058, ORCID: 0000-0001-5726-6166, [nikita.kapustin@eriras.ru](mailto:nikita.kapustin@eriras.ru).

UDC 33 / 519.865: 678

DOI:10.38028/ESI.2023.29.1.011

## Development of a methodological approach to forecasting the plastics market, taking into account the formation of the “circular economy” of the industry

Nikita O. Kapustin

Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences,

Russia, Moscow, [nikita.kapustin@eriras.ru](mailto:nikita.kapustin@eriras.ru)

**Abstract.** The issue of combating plastic pollution in recent years has come to the forefront of the environmental protection agenda in many of the world’s countries. The answer to it should be the creation of a “circular plastics economy”, which involves a radical change in the production chains of the plastics industry with the transition from fossil hydrocarbons feedstock to the recycling and reuse of polymer waste and is mentioned in the relevant legislations of the European Union, USA, Canada and some other countries. This paper examines the options for the development of the “circularity” of the plastic industry, as well as methodological approaches for forecasting the plastics market and demand for conventional and new types of feedstock for polymer production in the context of industry changes. A modeling complex for analyzing and forecasting the performance of the global plastic industry is proposed, which has a wide range of functions and is suitable for conducting a diverse range of studies of the industry.

**Keywords:** plastics industry, modelling, forecasting, circular plastics

**Acknowledgements:** This work was supported by the Russian Science Foundation under grant 21-79-30013 in The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences.

### References

1. Geyer R., Jambeck J., Law K. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 2017, vol. 3, iss. 7, e1700782, DOI:10.1126/sciadv.1700782.
2. Designing out plastic pollution. Ellen MacArthur foundation, available at: <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/plastics/overview> (accessed: 09/21/2022).
3. Circular economy action plan. European Union, 2020, available at: [https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new\\_circular\\_economy\\_action\\_plan.pdf](https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf) (accessed: 09/21/2022).
4. The plastic resource circulation act. Japanese Ministry of the Environment, 2021, available at: [https://www.iges.or.jp/sites/default/files/inline-files/01\\_MOEJ\\_Shintaro%20Murai-min.pdf](https://www.iges.or.jp/sites/default/files/inline-files/01_MOEJ_Shintaro%20Murai-min.pdf) (accessed: 09/21/2022).
5. Shin S-K., Um N., Kim Y-J., Cho N-H., Jeon T-W. New policy framework with plastic waste control plan for effective plastic waste management. *Sustainability*, 2020, no. 15, 6049, DOI:10.3390/su12156049.
6. Canada’s zero plastic waste agenda. Official website of the Government of Canada, 20 June, 2022, available at: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/managing-reducing-waste/reduce-plastic-waste/canada-action.html> (accessed: 09/21/2022).
7. U.S. plastics pact unveils national strategy to achieve 2025 circular economy goals. The U.S. plastics pact, ASHEVILLE, NC, 2021, available at: <https://usplasticspact.org/u-s-plastics-pact-unveils-national-strategy-to-achieve-2025-circular-economy-goals/> (accessed: 09/21/2022).
8. Circular economy. BASF, 2022, available at: <https://www.basf.com/global/en/who-we-are/sustainability/we-drive-sustainable-solutions/circular-economy.html> (accessed: 09/21/2022).
9. Moving toward a circular economy. The Coca Cola Company, 2018, available at: <https://www.coca-colacompany.com/news/moving-toward-a-circular-economy> (accessed: 09/21/2022).
10. World energy outlook. OECD/IEA, 2021, available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021> (accessed: 09/21/2022).
11. Lange J-P. Towards circular carbo-chemicals – the metamorphosis of petrochemicals. *Energy & Environmental Science*, iss. 8, vol. 14, 4358-4376, DOI:10.1039/D1EE00532D.
12. Minpromtorg Rossii i Minenergo Rossii. Strategiya razvitiya khimicheskogo i neftekhimicheskogo kompleksa na period do 2030 goda, ot 8 aprelya 2014 goda [Ministry of Industry and Trade of Russia and Ministry of Energy of Russia. Strategy for the development of the chemical and petrochemical complex for the period up to 2030, dated April 8, 2014], no. 651/172 (in Russian).
13. World oil outlook 2020. OPEC, 2020, available at: [https://www.opec.org/opec\\_web/static\\_files\\_project/media/downloads/publications/OPEC\\_WOO2020.pdf](https://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/OPEC_WOO2020.pdf) (accessed: 09/21/2022).
14. World energy outlook. OECD/IEA, 2020, available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020> (accessed: 09/21/2022).

15. Outlook for energy. ExxonMobil, 2019, available at: [https://corporate.exxonmobil.com/media/Global/Files/outlook-for-energy/2019-Outlook-for-Energy\\_v4.pdf](https://corporate.exxonmobil.com/media/Global/Files/outlook-for-energy/2019-Outlook-for-Energy_v4.pdf) (accessed: 09/21/2022).
16. Energy outlook 2020. BP, 2020, available at: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2020.pdf> (accessed: 09/21/2022).
17. Petrochemicals outlook: plastic under pressure. BloombergNEF, 2021.
18. World energy statistics. OECD/IEA, 2022, available at: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-statistics> (accessed: 09/21/2022).
19. Scott A., Pickard S., Sharp S., Becque R. Phasing out plastics, ODI, London, 2020.
20. Zheng J., Suh S. Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics. Nature Climate Change, 2019, vol. 9, pp. 374-378, DOI: 10.1038/s41558-019-0459-z.
21. OECD, Global plastics outlook: Policy Scenarios to 2060, OECD publishing, Paris, DOI:10.1787/aa1edf33-en.
22. Ritchie H., Roser M. Plastic pollution, available at: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution> (accessed: 09/21/2022).
23. Makarov A.A. SCANNER: Super Complex for Active Navigation in Energy Research [SCANNER: model'no-informacionnyj kompleks], 2011, p. 74
24. Grushevenko D., Kapustin N. Methodology for forecasting the global liquid fuels market, 2017 Tenth international conference management of large-scale system development (MLSD), 2017, pp. 1-4, DOI: 10.1109/MLSD.2017.8109633.
25. Kapustin N.O., Grushevenko D.A. Global prospects of unconventional oil in the turbulent market: A long term outlook to 2040, Oil and gas science and technology, 2018, 73(1):67, DOI: 10.2516/ogst/2018063.
26. Mitrova T., Kulagin V., Grushevenko D., Grushevenko E., Galkina A. Complex method of petroleum products demand forecasting considering economic, demographic and technological factors. Economics and business letters, 2015, no. 4 (3), p. 98.

**Kapustin Nikita Olegovich.** Researcher at ERI RAS, SPIN: 8558-9191, AuthorID: 842058, ORCID: 0000-0001-5726-6166, [nikita.kapustin@eriras.ru](mailto:nikita.kapustin@eriras.ru).

Статья поступила в редакцию 05.09.2022; одобрена после рецензирования 22.09.2022; принята к публикации 31.10.2022.

The article was submitted 09/05/2022; approved after reviewing 09/22/2022; accepted for publication 10/31/2022.