

## СИСТЕМНАЯ МОДЕЛЬ НАИЛУЧШЕЙ ДОСТУПНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

С.А. Панова<sup>1</sup>, доцент, И.Р. Тишаева<sup>2\*</sup>, старший преподаватель<sup>1</sup>кафедра Информационных технологий,<sup>2</sup>кафедра Высшей и прикладной математики,

МИТХТ им. М.В. Ломоносова, Москва, 119571 Россия

\*Автор для переписки, e-mail: irina.tishaeva@rambler.ru

**Н**а основе системного подхода и с использованием математического аппарата теории множеств предложена системная модель наилучшей доступной технологии (НДТ), которая позволяет единообразно ставить и решать задачу идентификации технологии как НДТ для производства различных химических продуктов.

**Ключевые слова:** наилучшие доступные технологии, НДТ в химическом производстве, теория множеств, системная модель.

Переход российского производства химической продукции на наилучшие доступные технологии (НДТ) и выдача предприятиям комплексных природоохранных разрешений только в случае подтверждения использования технологии, идентифицированной как НДТ, окончательно определены Федеральным законом РФ в июле 2014 г. [1].

НДТ – это наилучшая доступная технология – технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения.

Прямое использование европейских справочников по НДТ [2] является вряд ли возможным ввиду имеющихся отличий, в том числе, различающихся характеристик всех видов ресурсов, особенностей сырья, доступности различных видов энергии, природных условий, экологических характеристик территорий и технологической культуры производства.

В связи с этим необходима разработка научнообоснованного методического обеспечения перехода российского химического производства на НДТ, первым этапом которого является решение проблемы идентификации технологии в качестве НДТ. Использование моделей, основанных на системном подходе с применением математического аппарата теории множеств [3], представляется необходимым условием решения этой проблемы ввиду ее сложности и многоаспектности.

На основе общей теории систем можно записать системную модель НДТ в виде кортежа:

$$\text{НДТ} = \{\text{Прод}, \text{Тех}, \text{Кр}\} \rightarrow \text{ПЭТ}, \quad (1)$$

где Прод – множество получаемых продуктов, Тех – множество технологий производства продуктов, Кр – множество критериев, характеризующих все стороны производства продукта, предельными значениями которых будут являться критерии предельно-эффективной технологии (ПЭТ).

Множество получаемых продуктов можно представить в виде кортежа:

$$\text{Прод} = \{\text{П}_{\text{целев}}, \text{П}_{\text{побочн}}\}, \quad (2)$$

где  $\text{П}_{\text{целев}}$  – целевые продукты.

Побочные продукты ( $\text{П}_{\text{побочн}}$ ) подразделяются на утилизируемые –  $\text{П}_{\text{утиль}}$ , часть из которых возвращается в производство как непрореагировавшее сырье –  $\text{П}_{\text{возвр}}$ , а часть реализуется как товарные продукты –  $\text{П}_{\text{товар}}$ . В том случае, если побочные продукты не утилизируются, то они поступают в окружающую среду, в этом случае их обычно называют загрязняющими веществами (ЗВ) –  $\text{П}_{\text{ЗВ}}$ , их подразделяют на выбросы, проступающие в атмосферу –  $\text{П}_{\text{выброс}}$ , сбросы в водные объекты –  $\text{П}_{\text{сброс}}$ , и размещаемые как твердые отходы –  $\text{П}_{\text{тв.отх}}$ .

Множество технологий будем рассматривать с точки зрения их жизненного цикла. В этом случае все множество технологий производства целевого продукта можно представить в виде кортежа:

$$\text{Тех} = \{\text{Т}_{\text{устар}}, \text{Т}_{\text{реализ}}, \text{Т}_{\text{разраб}}\} \quad (3)$$

где  $\text{Т}_{\text{устар}}$  – устаревшие и/или «грязные» технологии, которые в настоящее время не используются либо по причине нерентабельности как правило из-за ценовой недоступности сырья и/или низких показателей ресурсо- и энергоэффективности –  $\text{Т}_{\text{нерентаб}}$ , либо по причине ужесточения экологических требований из-за использования высокотоксичных веществ и материалов для производства целевого продукта и/или образования большого количества не утилизируемых побочных продуктов –  $\text{Т}_{\text{грязн}}$ .

Технологии, которые сегодня используются для производства целевого продукта ( $\text{Т}_{\text{реализ}}$ ), необходимо разделить на реализованные в России –  $\text{Т}_{\text{росс}}$ , и технологии, реализованные только за рубежом –  $\text{Т}_{\text{заруб}}$ .

Разрабатываемые технологии ( $\text{Т}_{\text{разраб}}$ ) могут находиться на разных стадиях разработки: – полупромышленные установки –  $\text{Т}_{\text{полупр}}$ , пилотные установки –  $\text{Т}_{\text{пилот}}$ , и имеющие только лабораторное исполнение –  $\text{Т}_{\text{лабор}}$ .

При рассмотрении множества критериев, характеризующих технологии производства продукта, надо иметь в виду, что для идентификации технологии в качестве НДТ необходимы как показатели, выраженные в абсолютных величинах (тонны, рубли, мг/л и т.д.), так и относительные показатели, которые собственно и являются критериями достижимости предельно-эффективной технологии, либо технологии, взятой у качестве образца НДТ.

Множество критериев можно отразить короткежем:

$$K_p = \{K_{\text{тех}}, K_{\text{очис}}, K_{\text{эколог}}, K_{\text{эконом}}\}, \quad (4)$$

где  $K_{\text{тех}}$  – критерии технологические, характеризующие функционирование каждой стадии химического производства – стадию подготовки сырья –  $K_{\text{сыр}}$ , реакционную стадию –  $K_{\text{реак}}$ , стадию разделения полученных продуктов  $K_{\text{разд}}$ , стадию хранения и транспортировки целевого продукта  $K_{\text{хр}}$ . На каждой стадии химического процесса могут происходить материальные и энергетические потери, что отражается соответствующими короткежами для каждой стадии –  $\{K_{\text{мат сыр}}, K_{\text{эн сыр}}\}$ ,  $\{K_{\text{мат реак}}, K_{\text{эн реак}}\}$ ,  $\{K_{\text{мат разд}}, K_{\text{эн разд}}\}$ ,  $\{K_{\text{мат хр}}, K_{\text{эн хр}}\}$  по стадиям соответственно.

Каждая стадия химического процесса включает множество аппаратов  $\{G\}$ , следовательно, необходимо иметь критерии – материальные и энергетические, характеризующие функционирование каждого аппарата на каждой стадии, что отражено короткежами –  $\{K_g \text{ мат сыр}\}$ ,  $\{K_g \text{ эн сыр}\}$ ,  $\{K_g \text{ мат реак}\}$ ,  $\{K_g \text{ эн реак}\}$ ,  $\{K_g \text{ мат разд}\}$ ,  $\{K_g \text{ эн разд}\}$ ,  $\{K_g \text{ мат хр}\}$ ,  $\{K_g \text{ эн хр}\}$ .

$K_{\text{очис}}$  – критерий, показывающий эффективность функционирования системы очистки, аналогично, необходимы критерии, характеризующие работу каждого аппарата системы очистки (материальный и энергетический) –  $K_g \text{ мат оч}$ ,  $K_g \text{ эн оч}$  соответственно.

$K_{\text{эконом}}$  – критерии, характеризующие экономические ресурсы, необходимые для реализации НДТ, при этом должны учитываться отдельно затраты на технологический процесс – капитальные –  $K_{\text{кап тех}}$  и операционные –  $K_{\text{опер тех}}$ , и на функционирование системы очистки, также капитальные –  $K_{\text{кап оч}}$  и операционные  $K_{\text{опер оч}}$ . При дальнейшей декомпозиции возможен учет стоимости владения каждым аппаратом множества  $\{G\}$  каждой технологической стадии и системы очистки  $K_g \text{ влад тех}$  и  $K_g \text{ влад очис}$ .

$K_{\text{эколог}}$  – экологический критерий, показывающий экологические характеристики НДТ и отражающийся короткежем:

$$K_{\text{эколог}} = \{K_{\text{размещ}}, K_{\text{влияния}}\}, \quad (5)$$

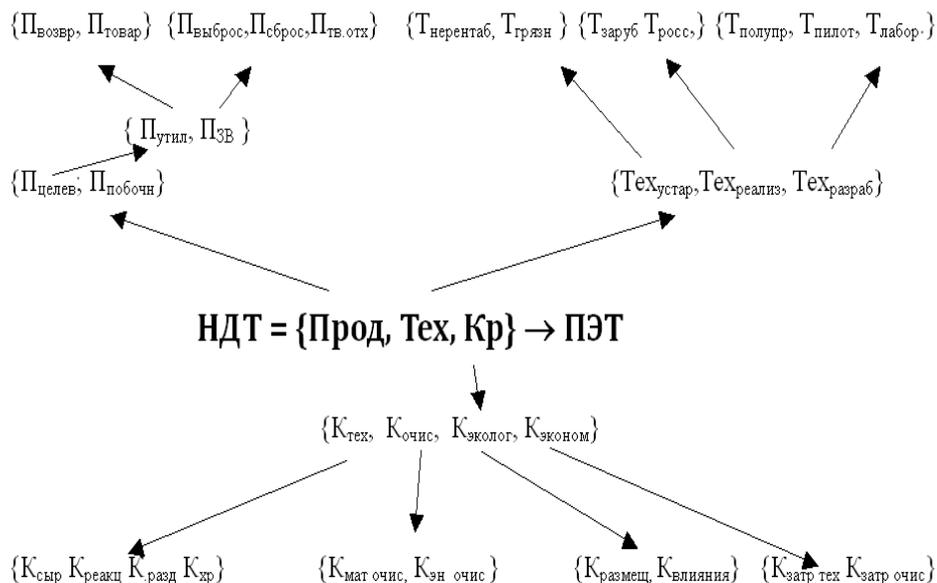
где  $K_{\text{размещ}}$  показывает поступление множества отходов – загрязняющих веществ  $\{I\}$  в окружа-

ющую среду. Здесь необходимо иметь критерии, показывающие поступление отходов в три подсферы окружающей среды: атмосферу –  $K_{\text{атм}}$ , гидросферу –  $K_{\text{вод}}$ , и литосферу –  $K_{\text{тв}}$ . Следует отметить, что здесь также необходимо учитывать, что каждый из этих критериев должен включать в себя критерии поступления каждого ЗВ множества  $\{I\}$  от каждого аппарата из их множества  $\{G\}$ , которые в свою очередь включают в себя критерии каждого источника эмиссии из их множества  $\{N\}$  в каждом аппарате с технологических стадий –  $K_{g \text{ п i атм тех}}$ ,  $K_{g \text{ п i вод тех}}$ ,  $K_{g \text{ п i тв тех}}$  соответственно, и системы очистки –  $K_{g \text{ п i атм оч}}$ ,  $K_{g \text{ п i вод очис}}$ ,  $K_{g \text{ п i тв оч}}$  соответственно. Кроме поступления химических веществ, перечень загрязнений может быть расширен и на другие виды – шум, запах, тепловое загрязнение воды и т.д. в зависимости от особенностей производства и характеристики территории, например, зона плотной застройки.

$K_{\text{влияния}}$  – показывает влияние множества  $\{I\}$  поступающих ЗВ на основные экологические проблемы. В [4] выделяют семь экологических проблем, а именно: токсичность для человека –  $K_{\text{вл1}}$ , глобальное потепление (изменение климата) –  $K_{\text{вл2}}$ , токсичность для водных объектов –  $K_{\text{вл3}}$ , закисление (кислотные осадки) –  $K_{\text{вл4}}$ , эвтрофикация –  $K_{\text{вл5}}$ , истощение озонового слоя –  $K_{\text{вл6}}$ , потенциал (вероятность) образования тропосферного озона –  $K_{\text{вл7}}$ . Но этот перечень может быть расширен с учетом специфики территории размещения производства.

Далее проводится анализ и детализация составляющих каждого элемента короткежа до уровня, позволяющего сформировать систему показателей и частных критериев, необходимых для принятия решения по выбору НДТ. При рассмотрении множества критериев, характеризующих технологии производства продукта, надо иметь в виду, что для выбора технологии в качестве НДТ необходимы как показатели, выраженные в абсолютных величинах (тонны, рубли, мг/л и т.д.), так и относительные показатели, которые, собственно, и являются критериями достижимости предельно-эффективной технологии, либо технологии, взятой в качестве образца НДТ. Хотя все критерии, входящие в системную модель, имеют разную природу, их абсолютные величины задаются и определяются вполне корректно по технологическим паспортам оборудования для проектируемых производств, а для уже действующего производства – по результатам измерений.

Обобщая все вышеизложенное, системная модель НДТ может быть представлена графически (рисунок):



Системная модель наилучшей доступной технологии.

Таким образом, применительно к приведенному определению НДТ предложена системная модель, построенная с использованием математического аппарата теории множеств, позволяющая единообразно ставить и решать задачу идентификации технологии как НДТ для производства различных химических продуктов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон от 21.07.2014 № 219-ФЗ [принят Гос. Думой 02.07. 2014] // Собрание законодательств РФ. 2014. № 30(ч. 1). Ст. 4220.
2. Справочник ЕС по наилучшим доступным технологиям «Европейская комиссия. Комплексное предупреждение и контроль загрязнений. Методологии оценки наилучших доступных технологий в аспектах их комплексного воздействия на окружающую среду и экономической целесообразности их внедрения. Июль 2006 г.».
3. Костров А.В. Системный анализ и принятие решений. Владимир: ВлГТУ, 1995. 68 с.
4. О комплексном предупреждении и контроле загрязнений: Директива Европейского парламента и Совета ЕС 2008/1/ЕС от 15 января 2008 г.

## SYSTEM MODEL FOR IDENTIFICATION OF BEST AVAILABLE TECHNOLOGY (BAT)

S.A. Panova, I.R. Tishaeva<sup>@</sup>

*M.V. Lomonosov Moscow State University of Fine Chemical Technologies, Moscow, 119571 Russia*

<sup>@</sup>Corresponding author e-mail: *irina.tishaeva@rambler.ru*

*A system model for the identification of the best available technology (BAT) was proposed on the basis of the system approach and the mathematical apparatus of set theory. The model allows to set up a problem of BAT identification for various chemical products manufactures and to solve the problem uniformly.*

**Keywords:** *Best Available Technology, system model, BAT in chemical production, set theory, multi-criteria optimization.*