

РОЛЬ ИНЖЕНЕРНОЙ НАУКИ И ПРАКТИКИ В УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ ОБЩЕСТВА

М.З. ЗГУРОВСКИЙ, Г.А. СТАТЮХА

Рассмотрены успехи инженерии в достижении устойчивого развития общества. Особое внимание уделено методологии анализа жизненного цикла продукта и технологии. Дан краткий обзор системы индикаторов и индексов. Показано, как инженерно-технологические индикаторы и индексы вписываются в общую систему измерений устойчивого развития. Описаны программы развития предприятий с точки зрения устойчивости: зеленая химия, зеленая инженерия, стандарты ISO. Предлагаются различные процедуры промышленной адаптации принципов устойчивого развития.

ВВЕДЕНИЕ

Из огромного количества статей, посвященных проблемам устойчивого развития (sustainable development) общества, трудно выделить хотя бы одну, которая не начиналась бы с упоминания о важнейшем для всего мира событии не таких уж и далеких времен, как 1992 г., когда в Рио-де-Жанейро на конференции ООН по окружающей среде и развитию в тугой узел связали экономические, социальные и экологические векторы развития общества. Именно они должны отразить желание человечества оставить будущим поколениям возможность удовлетворять свои потребности.

Идею устойчивого развития легко пояснить с помощью простого рисунка, демонстрирующего связи сырья и энергии, продуктов и отходов для обеспечения приемлемого и безопасного уровня жизни людей на фоне неуклонного роста народонаселения, а, значит, и роста количества потребляемых продуктов (рис. 1). Очевидно, для того чтобы наши потомки могли пользоваться благами цивилизации, как пользуемся ими мы, необходимо оптимизировать систему потоков, показанных на рис. 1, т.е. перейти к возобновляемым источникам сырья и энергии, разработать безотходные технологии и обеспечить требуемый уровень их безопасности. Эти очень общие выводы, тем не менее, позволяют сформировать мысль о необходимости сбалансированного (оптимального) развития общества.

Уже позади осознание философской значимости принципов устойчивого развития. Теперь важно понять, как обеспечить такое развитие. Проблема в том, что различные слои общества по-разному воспринимают эту идею. Еще сложнее системно интегрировать все составные части устойчивого развития, т.е. обеспечить реализацию принципов устойчивого развития на практике, что является главной проблемой. Известно, что экономические аспекты устойчивости уже неплохо освоены, в то время как экологические в рамках устойчивого развития начали успешно решаться только в последнее десятилетие (минимизация отходов, например). Сложнее обстоит дело с третьим аспектом — социальным. Здесь реализация принципов устойчивости только начинается.

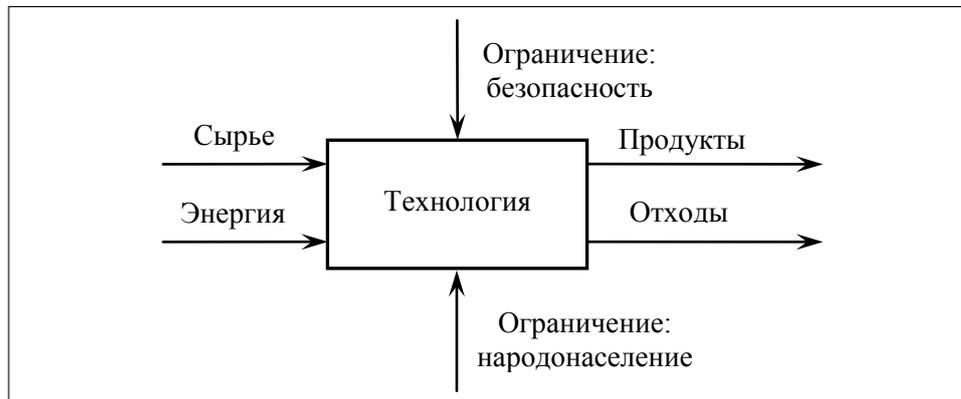


Рис. 1. Связи основных технологических потоков и ограничений

Прогресс в целом, тем не менее, совершенно очевиден. Давление общественности, правительственные регуляторные акты в соединении со стремлением промышленности снижать влияние технологий на окружающую среду — все это внушает оптимизм и отражается в серьезных организационных и технических мероприятиях. Многие мультинациональные корпорации поддержали идею устойчивого развития в деловой практике и активно развивают программы внедрения этих идей. Создание таких мощных организаций и программ, как World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), American Business Council for Sustainable Development (ABCSD), International Institute of Sustainable Development (IISD), Программы ООН по защите окружающей природной среды, лишь небольшая часть примеров отображения интереса общества к принципам устойчивости. По-прежнему идет оживленная дискуссия по поводу того, что такое устойчивое развитие, но уже появились и конкретные разработки, позволяющие достичь устойчивого состояния, по крайней мере, в какой-либо отдельной отрасли [1]. Представляется естественным рассмотреть успехи инженерии в достижении устойчивого развития общества, которое осуществляется прежде всего совершенствованием и оптимизацией технологии, а также оптимальным управлением процесса устойчивого развития.

ПРЕДЫСТОРИЯ РОЛИ ИНЖЕНЕРОВ В УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ

Исторически инженерия всегда развивалась под бдительным оком общественности, поскольку все основные промышленные технологии имеют отходы, и их всегда приходилось минимизировать. Можно привести десятки примеров, когда метод получения продукта с отходами под давлением общественности сменялся мало отходным [2]. Технологи играют значительную роль в проектировании процессов и продуктов, более безопасных и использующих меньше энергии и сырья. Очень важны также различные схемы оптимизации, исторически подтвердившие свою эффективность. Применение системных идей, в частности Life Cycle Analysis (LCA) [3], обеспечивает более широкий взгляд на воздействие продукта на окружающую среду через стоимостную оценку цели, и не только на финансовой стадии производств. Рассмотрим эти приемы подробнее.

Подходы к оптимизации производства

С помощью различных методов оптимизации (моделирования технологии, управления процессами) удастся уменьшить расходы сырья и энергии, снизить уровень отходов и улучшить качество продукции (рис. 2). Это один из самых древних подходов, предполагающий заранее, что данная технология спроектирована не оптимально. Опыт свидетельствует: по мере совершенствования проектирования технологии «выдавить» экономический и природоохранный эффекты из такого подхода становится все сложнее, и сейчас он не превышает 2-3%. Правда, там, где существуют значительные энерго- и сырьевые потоки, за счет структурной оптимизации системы удается получить и больший эффект [4]. Однако значительно большего эффекта можно достичь применением этих методов на стадии проектирования.

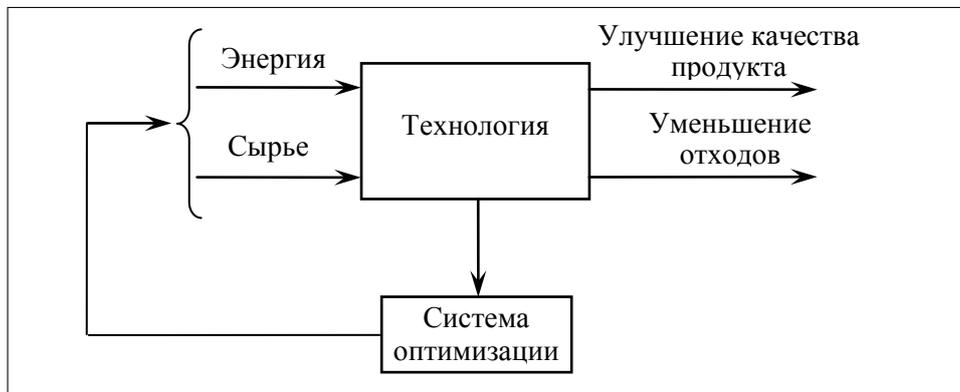


Рис. 2. Оптимизация действующих производств

Методы оптимизации производства с ориентировкой на уменьшение отходов

Дополнительно известно, что подход «конец трубы» («end-of-pipe» approach), когда решение природоохранных задач осуществлялось прямолинейно — потоки выбросов очищались в конце технологической схемы — быстро доказал свою неэффективность. Более эффективной оказалась, как уже упоминалось, идея *структурной оптимизации технологии*, когда за счет перераспределения и повторного использования слабо загрязненных потоков удается снизить выбросы на выходе технологической схемы. Наверное, логическим выводом из этого принципа является требование к чистоте сырья. Давление различных природоохранных регуляторных актов также заставляет технологов использовать различные методы улучшения качества сырья. Очевидно, что чем меньше примесей в сырье, тем меньше попадает побочных, подчас вредных продуктов в целевой продукт и тем меньше выбросов. Реализация этих оптимизационных подходов однозначно приводит как к улучшению качества продукции, так и снижению отходов (технология 1, рис. 3). Методологический прием управления не только по средним значениям показателя качества, а и по его статистическим оценкам (среднеквадратичным отклонениям от среднего, например), успешно дополняет множество подходов, которые используют инженеры-технологи при уменьшении отходов технологии, а, значит, и достижении устойчивого развития [5].

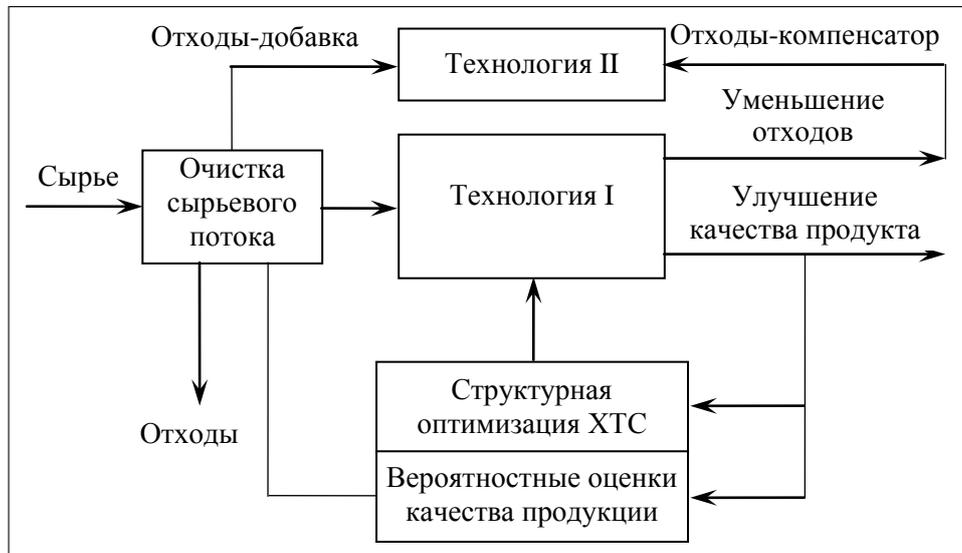


Рис. 3. Химико-технологическая (ХТС) интеграция технологий оптимизации структуры и оптимизация технологических параметров по вероятностным оценкам качества продукции

Отметим еще один важнейший технологический прием, отвечающий требованиям устойчивого развития, обеспечивающий одновременно снижение затрат сырья и уменьшение отходов. Этот прием — интеграция технологий: удастся создать такие технологические системы, когда отходы одной технологии могут служить добавками к сырью другой или выбросы одной технологии могут компенсировать (нейтрализовать) выбросы другого производства (технология 2, рис. 3).

Оптимизация взаимодействия продукта с окружающей средой

До того как начинать анализ подходов с целью минимизации воздействия выбросов производства на окружающую среду, что является, по-видимому, одной из главных задач устойчивого развития, следует рассмотреть один из широко используемых, но ускользающих от внимания специалистов, метод Taguchi [6]. Идея его проста: окружающая среда рассматривается как агент, влияющий на качество эксплуатации продукта (изделия), и требуется проектировать продукт (изделие) так, чтобы он был устойчивым (робастным) по отношению к окружающей среде (рис.4). Здесь «злым гением» выступает

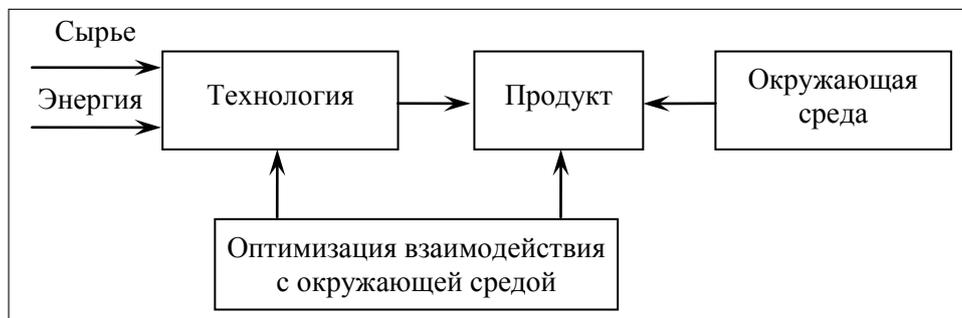


Рис. 4. Оптимизация взаимодействия продукта с окружающей средой за счет специального проектирования технологии и свойств продукта

именно окружающая среда со своими вредными воздействиями. G.Taguchi и его последователи нашли весьма эффективные приемы конструирования технологии и продукта, которые обеспечивали упомянутую робастность. Заметим, что адвокаты этого подхода обходят стороной проблему нагрузки продукта (изделия) на окружающую среду (т.е. проблему утилизации). И, тем не менее, мы уверены, что оптимизационный подход Taguchi внес особый вклад в концепцию устойчивого развития еще до того, как она была сформулирована в современном контексте.

Использование концепции анализа жизненного цикла для достижения устойчивости

Мы показали, что технологи играют значительную роль в проектировании более безопасных процессов и продуктов. Такое проектирование захватывает все большее число элементов технологии, энергосырьевых потоков и потоков взаимодействия с окружающей средой. Многие компании логично подошли к системному рассмотрению оценки взаимосвязей технологии и окружающей среды от использования сырья и энергии через производство и применение продукта к его уничтожению после окончания функционирования (т.е. от «коляски» до «могилы»), вовлекая все среды — воздух, воду, землю. Эта идея сформировалась, как упоминалось выше, в виде «анализа жизненного цикла» (LCA — life cycle analysis) продукта [3].

Применение LCA помогает четче увидеть воздействие продуктов на окружающую среду посредством стоимостной оценки цели и не только на финальной стадии производства. Результативный проект производства и/или продукта при использовании LCA является во многих случаях, вероятно, существенно другим, чем при классическом подходе проектирования.

Метод LCA приближает технологов к устойчивости процессов и продуктов, по крайней мере, с экологических позиций, за счет обязательного рассмотрения таких факторов: затраты энергии на единицу валового продукта; тип используемой энергии (возобновляемой и не возобновляемой); использование материалов (или истощение ресурса); использование свежей воды; производство выбросов и загрязнителей; воздействие на окружающую среду продукта/ процессов/ услуг; оценка всеобщего риска на здоровье людей и окружающую среду.

Осознание необходимости подхода LCA подкрепляется включением в этот процесс регуляторных организаций, задающих темп адаптации принципов LCA в природоохранном менеджменте. Так, деятельность Европейской комиссии по политике интеграции продуктов (European Commission Integrated Product Policy, IPP) является примером того, как лица, принимающие решения, осознают необходимость LCA-подхода. Они утверждают, что политика в области безопасных продуктов должна быть обоснована анализом жизненного цикла. В США множество публикаций подчеркивает связь эффективности LCA-подхода и достижения устойчивого развития [7].

Агенция США по охране окружающей среды (EPA — Environmental Protection Agency) разработала программное обеспечение TRACI (Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts), позволяющее оценить наиболее значимые потенциальные воздействия на человека и окружающую среду, а также такие явления, как истощение озо-

нового слоя, глобальное потепление, кислотные дожди, экотоксичность, канцерогенный эффект, истощение ископаемого топлива и др. Перспективные методологии, заложенные в TRACI, позволяют надеяться на ее широкое применение.

Значение LCA в деле реализации принципов устойчивого развития стало особенно заметно в последние годы. В 2000 г. Программа защиты окружающей среды ООН (United Nations Environmental Program, UNEP) и Общество природоохранной токсикологии и химии (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC) объединили свои усилия для создания программы, которая должна определить наилучшие практические результаты в области применения LCA. Итогом этой программы явилась серия стандартов ISO — 14040 (см. ниже), которая медленно, но уверенно входит в практику оценки воздействий технологий на окружающую среду.

Очевидно, что LCA — мощное средство оценивания воздействия на окружающую среду. Однако сложность методик LCA ограничивает его применение, особенно на стадии проектирования технологии, когда данных для расчета, как правило, не хватает. И потому сегодня LCA чаще всего применяют для систем, находящихся в эксплуатации. Понятно, здесь в распоряжении инженера имеется весь набор достаточно точных данных, но при этом ресурс управления технологией (реконструкция системы) значительно меньше, чем при ее проектировании. Появившиеся в последнее время моделирующие программы (ASPEN, HYSYS и др.) позволяют успешно проводить LCA на стадии проектирования технологии. Появился даже такой термин — экопроектирование, т.е. процесс проектирования с применением экологических критериев наравне с другими, использовавшимися ранее (производительность, прибыль).

МЕТРИКИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В ИНЖЕНЕРИИ

Для реализации концепций устойчивого развития все рассмотренные выше схемы организации производств — за счет оптимизации технологий, энергосырьевых потоков и отходов, а также системные принципы исследования и проектирования технологий (LCA) — должны опираться на определенную систему метрик устойчивости.

Осознавая важность принципов устойчивого развития и не дожидаясь разработки его метрик, ряд крупных фирм и корпораций начал вводить свои метрики. Так, в 2002 г. корпорация BASF опубликовала результаты анализа экоэффективности для принятия решений по улучшению управления воздействиями на окружающую среду [8]. Предложенный подход был применен к продуктам BASF. В метрику экологической составляющей устойчивости предприятия собирались данные для оценки факторов: использования материалов и энергии, выбросов в атмосферу, воду и почву, токсичности материалов (использованных или созданных) и риск потенциальной опасности. Для оценки альтернатив значения этих пяти факторов интегрировались графическим методом: строился пентагон в относительных единицах. Полученная площадь пентагона служила индексом устойчивости предприятия. Этот весьма примитивный метод интеграции данных (ecological footprint —

экологический след), объединенный с экономическими оценками, давал, тем не менее, пищу для суждений и принятия решений инженерам-технологам.

Центр отходоснижающих технологий (CWRT — Center of Waste Reduction Technology) Института химических инженеров США провел исследование и разработал «систему метрик для оценки устойчивости» химической технологии. В предлагаемую систему вводились следующие метрики: использование материалов, энергии, воды, выбросы токсических веществ и различных загрязнителей, а также парниковых газов [9]. Эти значения нормализовались по отношению к единице массы продукта и связывались со стоимостью. Анализ состояния осуществлялся, исходя из принципа превышения базовых значений. Заметим, что в этих предложениях не применялась уже существовавшая к тому времени терминология (индикаторы, индексы, риски) и не предлагались алгоритмы расчета и анализа.

В 2000 г. Институт химических инженеров Англии (IChemE) предложил более полную систему метрик устойчивого развития предприятий или корпораций [10]. Она содержала, например, разделы «Природные ресурсы» (использование энергии, материалов, воды, земли), «Воздействие на природу» (кислотные дожди, глобальное потепление, здоровье, истощение озонового слоя, фотохимический озон, отходы, экологическая жизнеспособность), «Экономика» (добавочная стоимость на единицу продаж и на одного работающего, траты на исследования), «Социальный» (прибыль как процент от затрат на штатных сотрудников, рейтинг продвижения по службе, соотношение налога и прибыли, частота потерь времени из-за инцидентов, потери времени по нетрудоспособности) и др. Важно отметить, что авторы этой статьи провели огромную работу по классификации метрик и почти вплотную приблизились к разработкам индикаторов и индексов. Несколько поспешно они пришли еще и к выводу о невозможности агрегации этих метрик в один обобщающий показатель и, более того, не рекомендовали даже делать попытки в этом направлении.

Развитие системы индикаторов и индексов

Чем можно объяснить упорство, с каким инженеры-технологи проводили свои исследования по поиску меры устойчивости промышленных предприятий? Наверное, только неудовлетворенностью уже существовавших к этому времени разработок систем индикаторов и индексов. Исторически это выглядело так.

После конференции ООН в Рио-де-Жанейро (1992 г.) идею разработки индикаторов и постоянного развития поддержали 16 стран мира. Эти страны представляют все регионы мира и все типы социально-экономического развития. Цель этой разработки — определение специфических особенностей устойчивого развития каждой страны. Позднее 30 стран провозгласили о начале собственной программы относительно разработки индикаторов постоянного развития. В результате было предложено 134 индикатора устойчивого развития (II Семинар устойчивого развития в Генте, 1996 г.). С этого же года они публикуются в специальном сборнике *World Bank Edition*. В 1995 г. Великобритания, которая в числе 16-ти стран принимала участие в разработке индикаторов и индексов, напечатала сборник индикаторов устойчивого развития для Объединенного Королевства, в который вошло 120

индексов и индикаторов [11], а через 10 лет после конференции ООН в Рио-де-Жанейро их уже стало 150. Дальнейшей целью правительства было сокращение количества индикаторов до минимума, тем не менее, это не должно было привести к искажению и упрощению политики устойчивого развития общества.

Как результат разработки индикаторов в разных странах в 2001 г. опубликован другой сборник [12]. В нем приведены индикаторы и индексы, составившие 15 тем и 38 подтем. Анализ показал, что существует группа индикаторов, которые применяются во всех странах (минеральные удобрения, земля, эмиссия NO_x, SO, газы парникового эффекта и т.п.), и группа индикаторов, использующихся лишь в одной стране (менеджмент природных ресурсов, прирост популяции в рабочих территориях и т.п.), а также новые индикаторы, специфичные для определенной страны (уровень преступности, зеленая граница города, ареал экосистемы, интенсивность движения транспорта и др.).

В 2003 г. на Конференции министров окружающей среды Европы, которая состоялась в г. Киеве, были одобрены «Управляющие принципы подготовки государственных отчетов о состоянии и охране окружающей среды». Особое внимание в этом документе уделено набору экологических показателей, необходимых для оценки ее состояния.

В 2003 г. в Санкт-Петербурге прошло очень важное совещание, организованное специальной рабочей группой мониторинга окружающей среды Европейской экономической комиссии ООН. Представители государств Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии (ВЕКЦА) отобрали 101 экологический показатель, наиболее характерный для этих стран, составивший основной набор показателей и индикаторов для стран с переходной экономикой по следующим приоритетным сферам окружающей среды и экологической политики: атмосферный воздух, изменение климата, отходы, вода, биоразнообразие, земельные ресурсы, грунт и экономики (сельское хозяйство, энергетика, транспорт). В результате работы экспертов ВЕКЦА эти показатели были разделены на три категории: первая — краткосрочные, вторая — среднесрочные и третья — долгосрочные. Краткосрочные признаны наиболее приоритетными с точки зрения национальной политики и международных требований. Кроме того, эти показатели были обеспечены методиками расчетов и хорошо воспринимались общественностью. Из них отобрали 29 первоочередных показателей, описывающих взаимосвязь между экологической и экономической политикой. С этими и другими предложениями относительно разных метрик устойчивого развития можно ознакомиться в статье [13].

Наверное, последним индексом за десятилетний период, имеющим инженерно-технологическую направленность, в 2005 г. был предложен индекс устойчивого развития ESI-2005 (Environmental Sustainable Index) [15]. По утверждению авторов, индекс строился, исходя из возможности наций защищать окружающую среду в течение нескольких десятилетий. Он получен интеграцией множества из 76 показателей (переменных), которые оценивают вклад природных ресурсов, прошлый и настоящий уровни загрязнений, усилия общества, направленные на управление окружающей средой, и способности улучшить ее характеристики. Показатели объединены в 21 инди-

катор устойчивости окружающей среды и разбиты на пять компонентов (кластеров). Индикаторы и лежащие в их основе переменные выбраны с помощью целенаправленных обзоров литературы по окружающей среде, оценки имеющихся данных, строгого анализа и широких консультаций с учеными, экспертами по индикаторам и лицами, принимающими политические решения. Базовая модель оценок строится на прочной основе теории экологической науки и политики в области окружающей среды.

Каждый из этих компонентов, в свою очередь, содержит от трех до шести «индикаторов» устойчивости окружающей среды. Таким образом, ESI-оценка есть равновесное среднее оценок 21 индикатора. Каждый индикатор строится на множестве от двух до 12 переменных из общего количества 76 переменных, лежащих в основе определения индикаторов. Например, качество воздуха является сложным индикатором из переменных, оценивающих концентрацию оксидов азота и серы, твердых частиц.

Призванный отображать разнообразие национальных приоритетов и обстоятельств, ESI не может использоваться как универсальное средство для согласования 21 индикатора. Действительно, в некоторых странах проблема воды может быть очень болезненной, в других — загрязнение воздуха. Развитые страны, вероятно, больше внимания уделяют долгосрочным изменениям, таким как климат, переработка отходов, снабжение чистой и устойчивой энергией, защита биоразнообразия. Развивающиеся страны — неотложным и краткосрочным проблемам: питьевая вода и санитария, здоровье и загрязнение воздуха внутри помещений. И, тем не менее, по величине индекса и его профилю можно проводить сравнительную оценку состояния устойчивости стран (рис. 5 и таблица). Несложно заметить, что площадь фигур в пентограмме однозначно связана с показателем устойчивого развития: чем больше площадь, тем выше значения индекса УР или место при сравнительном анализе стран. Очевидна также прямая связь и с показателем ВВП на душу населения.

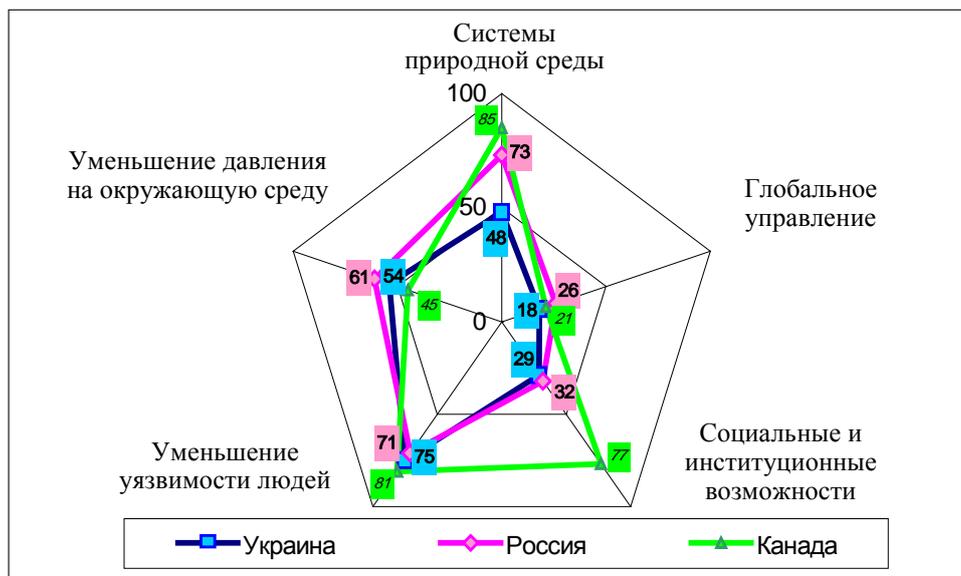


Рис. 5. Графический образ индекса устойчивого развития для России, Украины, Канады

Обратим внимание на некоторые особенности индекса ESI-2005. Прежде всего, он отличается желанием авторов сделать ESI-2005 более универсальным, чем известные «узкие» индексы, например, конкурентоспособного развития, экономической свободы, качества и безопасности жизни за счет включения в сферу природоохранных интересов некоторых экономических и социальных аспектов общества. Это, естественно, приводит к необходимости использования показателей и индикаторов, «эксплуатируемых» уже упомянутыми другими экономическими и социальными индексами (например, показателей коррупции, детской смертности, уровня общественной активности).

Отсюда ясно, что формирование множества индексов часто происходит на базе одних и тех же показателей развития общества, что, естественно, повышает роль экологических и других мониторингов в исследуемом ареале.

Числовые характеристики индексов и выборочный сравнительный анализ

	Украина	Россия	Канада
ESI	44,7	56,1	64,4
Ранжирование	108	33	6
ВВП на жителя, тыс.	\$ 4,759	\$ 7,997	\$ 26,492
Охват переменных	68	72	73
Отсутствие переменных оценивания	3	2	1

Отметим еще одну важнейшую особенность подходов к оценке устойчивого развития. Базируясь на рассмотрении биосферного пути развития мира (обновление биоты в объеме, необходимом для реализации устойчивого развития), многие авторы отмечают, что большие и средние города являются минимальными эколого-экономическими системами, способными самостоятельно решать проблемы устойчивого развития [15]. А область — минимальная административная единица, включающая разнообразные по ландшафту, степени антропогенной трансформации и характеру использования территории и обеспечивающая удовлетворение основных потребностей населения за счет собственных ресурсов [16], т.е. минимальное образование, где расчет и оценка устойчивого развития имеют смысл.

Кратко о системе глобальных измерений устойчивого развития

Авторы статьи намеренно ограничились только инженерными аспектами устойчивого развития общества, системный же подход требует показать, как инженерно-технологические индикаторы и индексы вписываются в общую систему измерений устойчивого развития. Заметим, что последняя является объектом пристального внимания известных международных организаций и многочисленных научных коллективов, но однозначного согласования этих систем измерения пока что достигнуть не удалось.

Рассмотрим принципы построения системы измерения устойчивого развития, предложенной Институтом прикладного системного анализа НАН Украины и МОН Украины [28].

Уровень устойчивого развития предлагается оценивать с помощью индекса $I_{ур}$, который рассчитывается как взвешенная сумма трех индексов: экономического ($I_{эки}$), экологического ($I_{эи}$) и социального ($I_{си}$). Каждый из трех перечисленных индексов рассчитывается с использованием известных в международной практике индексов и индикаторов. В частности, при расчете $I_{эи}$ предлагается использовать уже рассмотренный выше ESI-2005. Проблема размерности индикаторов и индексов может решаться различным образом. Наиболее удобная форма — нормирование и приведение метрики в диапазон 0–1. В таком случае наихудшие значения названных индексов будут соответствовать числовым значениям, близким к нулю, а наилучшие — приближать эти значения к 1.

В работе [28] на первом этапе анализа предлагалось одинаковое взвешивание всех трех индексов: $I_{ур} = 0,33 I_{эки} + 0,33 I_{эи} + 0,33 I_{си}$. В дальнейшем привлечение экспертов, а также анализ чувствительности индексов к индикаторам позволит изменить весовые коэффициенты в соответствии с особенностями исследуемой страны, региона, города.

Несмотря на ряд очевидных упрощений, сравнение стран по предложенной методике — индексу устойчивого развития — предоставляет прежде всего политикам богатый материал для выработки стратегии развития стран. Так, любопытно отметить, что страны «большой восьмерки», за исключением Канады, не входят в десятку лучших по устойчивому развитию, а среди постсоциалистических стран самые лучшие примеры успешного устойчивого развития продемонстрировали Эстония, Чехия, Словакия, самый худший — Украина [28].

Из краткого обзора становится очевидным, что для промышленных предприятий система метрик устойчивого развития области или города может служить лишь внешней системой, некой надсистемой, способной определить задания для предприятий или корпораций. Другими словами, для устойчивого развития общества инженеры-технологи должны поставлять информацию «наверх» с целью формирования образа устойчивого развития предприятий и, возможно, корпораций, а для достижения устойчивого развития предприятий необходимо получать ее в виде заданий характеристики состояния устойчивости общества. Последние должны быть органически вписаны в программы достижения устойчивости на предприятиях. Здесь существует серьезная проблема информационной увязки разноуровневых систем, которые (так сложилось исторически) развиваются пока автономно.

ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ В НАПРАВЛЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Итак, предприятия не «дотягивались» до того масштаба, где действие принципов устойчивости (а также составных частей, метрик устойчивости) признавалось полезными. Отсюда вытекают важнейшие практические задачи: определить, что такое устойчивость для отдельного предприятия; как использовать существующие производственные программы и инициативы в контексте устойчивого развития; как приспособить их к общим характеристикам устойчивости.

Программы «зеленая химия» и «зеленая инженерия», их связь с устойчивостью

На пути совершенствования технологий инженеры-технологи, как правило, первыми реагировали на обостренное внимание общественности к состоянию промышленности. В конце 90-х годов Американским химическим обществом (ACS) была сформулирована парадигма «зеленой химии», которая определялась как проектирование химических продуктов и процессов, более «мягких» по отношению к окружающей среде, т.е. уменьшающих негативное воздействие на здоровье людей и окружающую среду [17]. Подхваченная предприятиями идея выразилась, в основном, в синтезе безопасных химикатов, использовании более «мягких» растворителей, селективной химии и катализаторов.

Парадигма «зеленая инженерия» становится главным инструментом, пропагандируемым Американским институтом химических инженеров (AIChE). Она предполагает проектирование, коммерциализацию, использование процессов и продуктов как экономически выгодных за счет минимизации выбросов и уменьшения ущерба, наносимого здоровью человека и окружающей среде [18].

Симпозиумы, организованные совместно ACS и AIChE, чаще фокусировали внимание на технических вопросах, связанных с «зеленой химией и инженерией», но не делали шагов с позиции устойчивости. Сейчас усилия, направленные на реализацию идей «зеленой инженерии», координируются Форумом устойчивой инженерии (SEF — sustainable engineering forum), организованным в 2002 г. для того, чтобы использовать его как международный орган, способствующий исследованиям, образованию и обмену информацией между уже существующими парадигмами и устойчивым развитием инженерии в целом и химической инженерии, в частности. Таким образом, и это было отмечено на международной конференции инженеров в San Destin (Florida, 2003), «зеленая инженерия» трансформирует существующие инженерные дисциплины и подходы в такие, которые способствуют устойчивому развитию. Перечисленные принципы уже перекрывают принципы «зеленой химии» (предотвращение отходов, использование безопасных материалов и энергии) и делают упор на системных концепциях (жизненном цикле, консервации и улучшении природных экосистем, минимизации истощения природных ресурсов). Пожалуй, весьма интересным можно признать пересмотр идеи возобновляемых источников, вводя координату время. Было отмечено, что даже возобновляемые источники могут истощаться, если общество станет слишком зависеть от них.

Таким образом, *устойчивое развитие становится главной движущей идеей в инженерном деле* во всем мире. При этом не отрицаются существовавшие и существующие программы развития, а, наоборот, наполняются новым содержанием.

Стандарты управления окружающей средой как шаг к устойчивому развитию предприятий

Стандарты серии ISO-14001. Цель использования стандартов, действие которых распространяется на управление природной средой, — вооружить

организации элементами эффективной системы управления природной средой, которые могли бы составить единое целое с общей системой управления предприятием. Это поможет организациям достичь как экономических, так и экологических целей, и таким образом приблизиться к выполнению главной задачи — достичь устойчивого развития [19].

Успех функционирования системы управления природной средой зависит от всех иерархических и функциональных уровней организации. Система такого рода дает возможность установить меры и методики определения экологической политики и критерии соответствия им, предоставить доказательства такого соответствия другим заинтересованным сторонам. Она также дает возможность оценить эффективность проводимых процедур. Основная цель использования этого стандарта — обеспечение охраны природной среды и предотвращение ее загрязнения, согласование с социально-экономическими потребностями. Следует отметить, что большинство требований стандарта могут приниматься одновременно или пересматриваться в течение некоторого времени.

Стандарт ISO-14001 содержит те же самые общие принципы управления, что и стандарты ДСТУ ISO серии 9000 для систем управления качеством продукта. А это значит, что организации могут применять данную систему управления, которая отвечает или не противоречит стандартам ДСТУ ISO серии 9000, как базу для своей системы управления природной средой. И все же следует понимать, что применение элементов систем управления может отличаться для разных целей и разных заинтересованных сторон. В то время как системы качества оперируют в первую очередь потребностями потребителей, системы управления природной средой — потребностями широкого круга заинтересованных сторон и увеличивающейся заинтересованностью общества в охране и улучшении состояния природной среды. Отметим также, что покупатель готов платить дополнительно за экологическую чистоту продукта.

В сравнении со стандартом качества ISO-9000, ISO-14001 был встречен умеренным энтузиазмом среди промышленников. После пяти лет внедрения только 36000 фирм во всем мире получили сертификат ISO-14001, т.е. около 10% внедренных ISO-9000. В 2002 г. около 49462 сертификатов ISO-14001 вручены в 118 странах, однако заказ его меньше, чем ISO-9000. И тем не менее, динамика внедрения стандарта ISO-14001 впечатляет [20]. К сожалению, Украина не входит в число передовых стран по внедрению этого стандарта.

Стандарты серии ISO-14040. Обратим внимание производителей на развитие стандарта ISO-14040, который хотя и существует [21], но еще далек от массового внедрения.

В основу стандарта ISO-14040 положен уже упоминавшийся ранее метод оценки жизненного цикла (LCA). Стандарт построен на системной основе и содержит проведение инвентаризации входных и выходных потоков продукционной системы (сбор данных, необходимых для исследования), оценивание потенциальных воздействий на окружающую среду, связанных с этими потоками, интерпретацию результатов инвентаризационного анализа и этапов оценки воздействий. В соответствии с идеей LCA экологические аспекты оцениваются на протяжении всего жизненного цикла продукции от

приобретения сырья до производства, эксплуатации и утилизации. Применение метода даст возможность улучшить экологические последствия влияния на окружающую среду (прежде всего, на здоровье людей) и улучшить использование ресурсов на всех стадиях промышленного производства (стратегического планирования, определения приоритетов, проектирования и перепроектирования).

Отметим, что стандарт ISO-14040 принят в 1999 г., однако все остальные его части выходят крайне медленно, не говоря уже об их внедрении (ISO-14001 в 2000 г., ISO-14042 и ISO-14043 в 2001 г., ISO-14047 в 2003 г.). И поэтому следует согласиться с предостережением стандарта ISO-14040: составляющие метода LCA, например, оценка воздействия на окружающую среду, находятся на стадии становления. Многое зависит от наличия математических моделей и опыта их применения. Важно отметить, что здесь уже вводится концепция индикаторов, оценивающих влияние выбросов предприятия в окружающую среду. И что еще более важно, частично эти индикаторы совпадают с индикаторами, принятыми, например, в компоненте ESI-2005 «системы окружающей среды»: выбросы CO, NO₂, концентрация твердых частиц и др. Однако эта работа — согласование связи индикаторов устойчивого развития общества и предприятий — только осмысливается. Действительно, трудно сразу найти и оценить степень влияния показателей производства продукта на формирование таких индикаторов устойчивости в социальной сфере, «как ожидаемая продолжительность жизни» или «грамотность взрослых людей». Поэтому огромное значение приобретают усилия специалистов, направленные на сближение двух процессов — оценки предприятия и общества с позиций устойчивости.

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ПРОГРАММ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ К УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ

Возникновение различных актов по устойчивому развитию привело к избыточному количеству принципов, инструментария, индикаторов, форматов отчетности. Часть из всей этой лавины, наваливающейся на предприятия, была ими освоена, часть принята формально, но самое главное — от разработки собственной корпоративной стратегии устойчивого развития компании, как правило, уклоняются. Именно поэтому в последнее время появились работы, в которых обсуждаются, а иногда и предлагаются процедуры адаптации принципов устойчивого развития, пути выравнивания текущего опыта со стратегией устойчивости.

Разработка рамочной программы устойчивого развития предприятий

Организация «Мосты к устойчивости» (RRIDGES to Sustainability) разработала описательную рамочную модель, которая, по крайней мере, позволяет оценить масштаб совокупности практических вопросов внедрения принципов устойчивого развития в промышленности [22]. Эти рамки (рис. 6) содержат:

- трехмерную метрику устойчивости (экологические, экономические и социальные аспекты);

- стадии жизненного цикла продуктовой системы;
- множество взглядов на масштабы проблемы устойчивого развития, с помощью которых определяются границы рассмотрения: временные воздействия, привязка к месту (локальный, глобальный), аспекты социальной ценности как функции нации, культуры и месторасположения и ресурсный контекст как отношение к дефициту и потенциалу их воздействия на экосистемы.

Эта рамочная модель сконструирована так, чтобы помочь компании понять «большую картину» и приступить к определению устойчивости внутри их корпоративной структуры. Нетрудно увидеть, что такой подход, хотя и дает общее представление о сложности проблемы «стыковки» требований устойчивого развития общества и требований к продуктовой системе, не предлагает практического механизма реализации этих отношений.

Интегральные оценки устойчивости для отдельного предприятия. В работе [23] сделана попытка выработать некоторое универсальное руководство по разработке собственной программы устойчивости. Будучи достаточно простым и доходчивым, оно предлагает компаниям практический подход к адаптации их участия в существующих программах, выровнять и интегрировать цели устойчивости и действия по их достижению с коммерческими целями и действиями компании. Подход заслуживает рассмотрения. Он включает пять шагов.

1. Построение рамочной модели. Компания, однажды поняв общую картину и определив, что означает устойчивость внутри ее корпоративной культуры, может перевести современные требования устойчивого развития в практическую систему принятия решений. Для реализации этого шага предлагается рассмотренная выше рамочная модель BRIDGES (рис. 6).

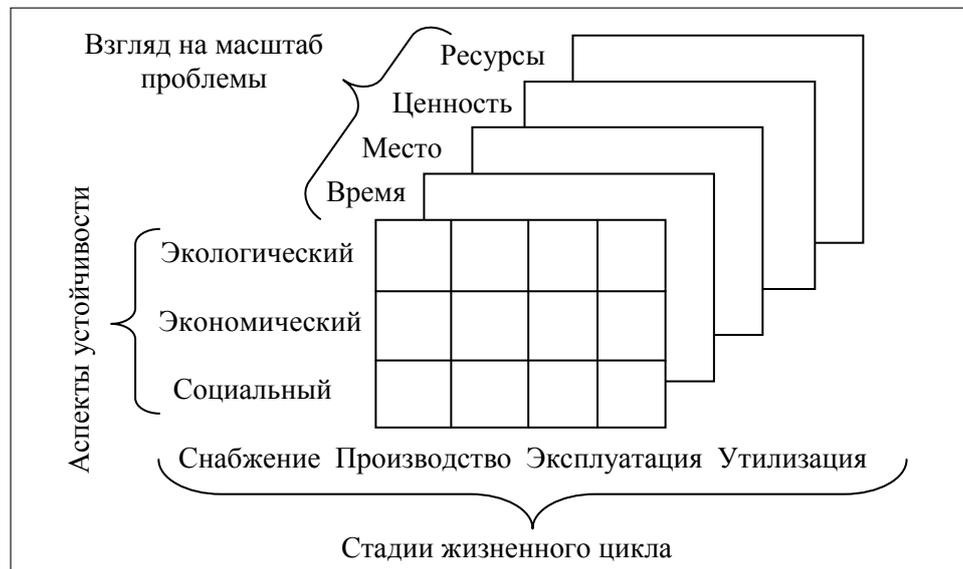


Рис. 6. Рамочная программа устойчивого развития предприятия, рекомендованная «BRIDGES to Sustainability»

2. Правило уместного использования программы. Важно понимать, что программы, используемые компанией для эффективного управления ее

работой (например, управления окружающей средой по стандарту ISO-14040), автоматически не вписываются в программы (формы, инструменты) устойчивого развития. Очень важно идентифицировать места приспособления (стыковки) и приложить усилия к совместному использованию всех проектов. Существуют различные руководства, позволяющие этот процесс приспособления облегчить. Например, серию таких руководств размещает в Интернете организация «Инициативы глобального управления окружающей средой» (GEMI).

3. Оценка ценности программ устойчивости. В работе [23] предлагается проводить такую оценку с помощью матрицы «аспекты устойчивости — выгоды», которая кладется в основу некоторой последовательности оценок во времени и используется для оценки программ устойчивости с точки зрения прибыли компании. Фактически, это шаг в разработке плана управления интегрированной устойчивостью на предприятии.

4. Объединение действий по «выравниванию» устойчивости. Учтывая, что на первом этапе все существующие программы с элементами устойчивости разработаны по различным департаментам предприятия (безопасности, общественных отношений, управления ресурсами, права потребителей и др.), возникает задача интеграции «устойчивых» действий в единую программу с последующим улучшением поколений этих программ. Поручить это рекомендуется специальной контрольной комиссии.

5. Правила сопровождения программы устойчивости предприятия. Этот шаг логически вытекает из предыдущих. Естественно, что сопровождение должно опираться на индикаторы и индексы устойчивости, «доведенных» до уровня предприятия. Но не только это. По мере продвижения по пути устойчивого развития должна совершенствоваться и сама программа. В научной литературе существует множество предложений по совершенствованию программ (см., например, предложения Национального института стандартов, NIST по созданию системы критериев процветания предприятия [24]).

Понятно желание специалистов по устойчивому развитию обеспечить предприятия некоторыми универсальными инструкциями по созданию и выполнению программы устойчивости. Однако все эти попытки не будут эффективными, если мы не вспомним, что в соответствии с системным принципом дополнительности К. Геделя невозможно оценить качество и эффективность принятой на предприятии стратегии и методов решения на основе использования уже существующей здесь системы критериев. Необходимо переходить к более мощной системе критериев вклада предприятия в устойчивое развитие вышестоящей системы (региона, города). И тогда открывается возможность использования дополнительного множества оценок развития предприятия и принятия решений, направленных также и на улучшение показателей более масштабной системы.

Преимущества системного подхода при разработке программы устойчивого развития предприятия

На наш взгляд, хорошее представление о том, что нужно сделать, чтобы сблизить и согласовать требования устойчивости на уровне минимального масштаба (город) и предприятия (а именно это необходимо для инженерии),

дает системный анализ [25]. Рассмотренные выше объекты можно представить рядом многократных вложений, характеристики каждого из которых определяются целями системного исследования (рис. 7).

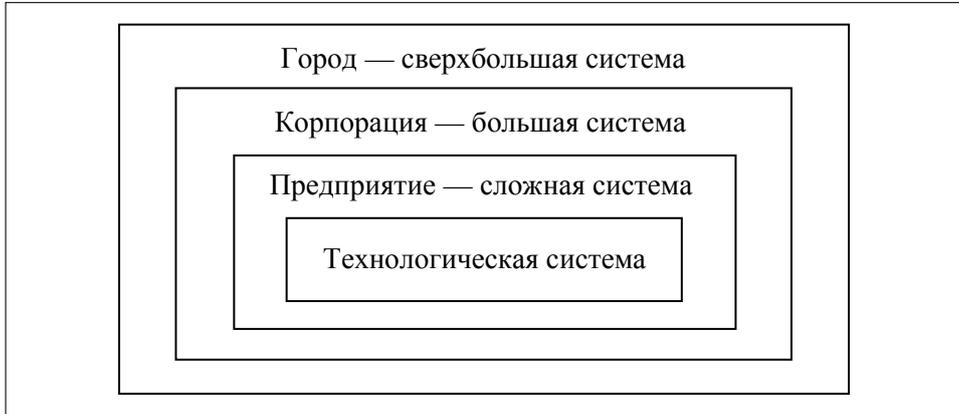


Рис. 7. Соотношение систем различного масштаба в проблеме устойчивого развития общества минимального масштаба (город)

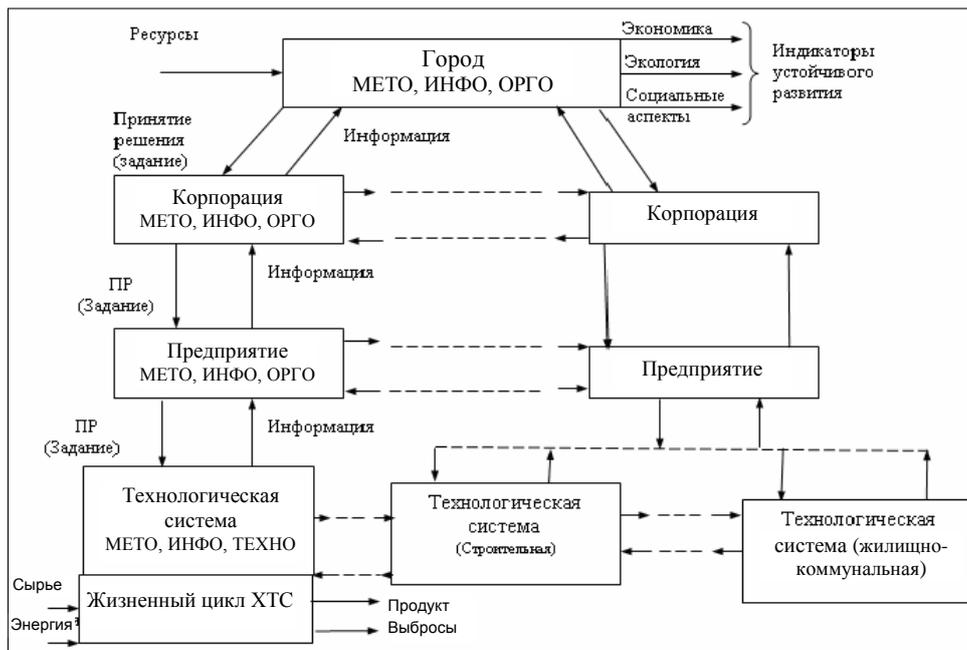


Рис. 8. Взаимосвязи подсистем различного уровня иерархии устойчивого развития города (МЕТО, ИНФО, ОРГО, ТЕХНО — соответственно, методическое, информационное, организационное и технологическое обеспечения системы)

Все системы, показанные на рис. 7, связаны между собой структурно и функционально. Разнообразие технических и организационных систем, множество выполненных ими функций принято представлять в виде многоуровневой иерархической системы (рис. 8). Модели каждого уровня иерархии содержат как минимум четыре составляющие — методическую, информационную, организационную и технологическую [26]. Наполнение обеспечений существенно меняется от уровня к уровню. Очевидно, что роль организационного обеспечения (управления людьми) на технологи-

ческом уровне крайне мала и очень часто полностью отдается системам автоматического управления. С другой стороны, технологическая система физически уже не присутствует на уровне корпорации (объединение предприятий) и выше. Однако технологическая система присутствует на всех уровнях в виде моделей, на основе которых принимаются соответствующие решения и направляются на нижние уровни в виде заданий.

ВЫВОДЫ

1. Инженеры достаточно хорошо научились работать на уровне технологических систем. Есть хорошие модели, алгоритмы управления, выработаны критерии управления (например, минимум выбросов и потребляемых ресурсов). Точно известно, какую информацию необходимо направлять в систему верхнего уровня (предприятие). Именно эта изученность технологических систем и отработанная система управления предприятием позволяют исследователям продолжить работу на этих уровнях в направлении устойчивого развития (о чем свидетельствуют уже созданные стандарты).

2. Достаточно полно исследован и может быть спроектирован уровень «корпорация». Есть методическое обеспечение (модели управления группой предприятий), необходимая информация, выработаны критерии управления, отработана система принятия решений. Однако сейчас, в условиях действия парадигмы устойчивости, должны изменяться задания для работы подсистемы уровня «корпорация» и ниже. С другой стороны, на уровне города требуется существенно другая информация для формирования индикаторов устойчивого развития. *Согласование этих потоков информации — главная задача взаимодействия города и предприятий, а создание многомасштабной иерархической модели — главная задача разработки методического обеспечения.*

3. Очевидно, что при согласовании информационных потоков задача оценки чувствительности индикаторов к изменению показателей, на них влияющих, является исключительно важной. Учитывая также то, что почти половина показателей ESI относится к технологии (потоки сырья, отходов, энергии, продуктов), оценка чувствительности индикаторов к технологическим показателям представляет особый интерес для инженерной науки и практики. Такой анализ дает лицам, принимающим решения, дополнительную информацию по ранжированию приоритетов управления окружающей средой и, в частности, по финансированию природоохранных мероприятий.

4. Говоря о задаче согласования взаимодействий подсистем различного уровня, следует особо подчеркнуть разницу между терминами *устойчивость* и *устойчивое развитие*. Первый предполагает всего лишь оценку состояния общества в данный момент времени. Оценка двух и более временных состояний устойчивости позволит выявить тенденцию устойчивого развития. Оцененное во времени состояние общества позволит сделать вывод о его устойчивом развитии и выработать соответствующие решения (коррекции). И если для решения проблемы оценки состояния общества уже много сделано (упоминались индикаторы и индексы устойчивости), то работа по управлению устойчивым развитием только начинается. Справедливости ради следует отметить, что в общетеоретических и методологических

работах (теории систем, исследования операций) решены не только вопросы теории, но и многие практические задачи, в частности, задача технологического предвидения на основе сценарного анализа [27].

Еще в 1997 г. в отчете Института инженеров технологов Англии «Будущая жизнь: инженерные решения для следующих поколений» утверждалось, что в последующие 20 лет необходим сдвиг сознания в направлении устойчивости общества и улучшения качества жизни. Инженеры-технологи будут играть центральную роль в энерго- и ресурсосбережении, защите окружающей среды. Переосмысливая существующие технологические системы, необходимо постоянно повышать их уровень устойчивости разработками новых чистых технологий и, что, наверное, более важно, обеспечивая эти технологии экономической жизнеспособностью, мягкостью по отношению к окружающей среде и безопасностью.

Рассмотренные выше задачи, решаемые сегодня инженерами, позволяют и далее также оптимистично смотреть в будущее, как это было почти десять лет назад: «будущее неопределенно и непредсказуемо, но с какими бы сложными проблемами общество ни встретилось, инженеры уже работают над их решением» [2].

Авторы признательны фонду Fulbright Scholar Program за предоставленную возможность использовать в написании этой статьи новейшие достижения ведущих американских вузов, в частности, Вашингтонского университета в Сант-Луисе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Subhas K.Sikdar*. Journey Towards Sustainable Development: A Role for Chemical Engineers // *Environmental Progress*. — 2003. — № 4. — P. 227–232.
2. *Russell C.* Chemistry in Society. Cambridge University Press. — Cambridge, U.K. — 2000. — 465 p.
3. *Currav M.A.* The status of Life-Cycle Assessment as an Environmental Management Tool // *Environmental Progress*. — 2004. — № 4. — P. 277–283.
4. *Badania nad optymalizacją sieci wody procesowej z zastosowaniem programowania matematycznego* / A. Shahnovskij, J. Jezowski, A. Kvitka // *Inżynieria Chemiczna i Procesowa, PAN (POLISH)*. — 2004. — № 25. — S. 1607–1612.
5. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / В.А Вознесенский и др. — Киев: Будівельник, 1989. — 240 с.
6. *Taguchi G.* System of experimental design (two volumes). Ed. by Clausing. — Tokyo: UNIPUB, 1987. — 820 p.
7. *Currav M.A., James S.C.* Sustainability and the life cycle concepts international and interdisciplinary perspectives. Designing a sustainable world life cycle strategies // *Environmental Progress*. — 2003. — № 22. — D15–D16.
8. *Saling P., Wall C., Wittlinger R. and Kicherer A.* Eco-Efficiency: Tool to demonstrate the sustainability of BASF products // *Proceeding of Conference «Sustainable Engineering»*. — AIChE. — 2002. — Nov. — № 3–8. — P. 135.
9. *Beloff B., Schwarz J. and Beaver E.* Use Sustainability Metrics to Guide Decision Making, CEP, 98, 7, AIChE, 2002. — P. 58.
10. *Azapagic A., Perdan S.* Indicators of Sustainable Development for Industry: a General Framework // *Trans. IChemE*, 78 B, 2000. — P. 244.

11. *Indicators of Sustainable Development for United Kingdom*. — HSMO. — 1996. — 98 p.
12. *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. — 2-nd. ed. — New York: UN, 2001. — 320 p.
13. Статюха Г.О., Бойко Т.В. Проблемы разработки і реалізації індикаторів сталого розвитку регіону // *Екологія і ресурси*. — 2006. — Вип. 15. — С. 83–97.
14. *2005 Environmental Sustainability Index*, Yale Center for Environmental Law and Policy, Yale University, center for International Earth Science Information Network, Columbia University, www.yale.edu/esi.
15. Розенберг Г.С., Гелашивили Д.Б., Краснощеков Г.П. Устойчивое развитие, ноосферный каркас городов и экологические столицы бассейнов рек // *Региональная экология*. — 1997. — № 1–2. — С. 50–60.
16. *Экологическая ситуация в Самарской области: состояние и прогноз* / Отв. ред. Г.С. Розенберг, В.Г. Беспалый. — Тольятти: ИЭВБ РАН, 1994. — 326 с.
17. *Anastas P.T., Warner J.C. Green chemistry: theory and practice*. — Oxford: UK, 1998. — 75 p.
18. *Abraham M. Sustainability Engineering: an initiative for Chemical Engineers* // *Env. Progress*. — 2004. — **23**, № 4. — P. 261–263.
19. *ДСТУ ISO 14001–97. Системи управління навколишнім середовищем. Склад та опис елементів і настанови щодо їх застосування*. — Чинний від 01.01.97.
20. *Florescia Bellesi, David Lehrer, Alon Tal. Comparative Advantage: The Impact of ISO 14001 Environmental Certification on Exports* // *Environmental Science and Technology*. — 2005. — **39**, № 7. — P. 1943–1953.
21. *Госстандарт Российской Федерации, ИСО-14040–99*, Санкт-Петербург, 2001. — 13 с.
22. *Beloff B., Beaver E. Sustainability indicators and metrics of industrial performance. Proceeding of International Conference on Health, Safety, and Environment, Stavanger, Norway, 2000*. — P. 26–28.
23. *Beloff B., Tatil D., Lines M. Sustainable Development Performance Assessment* // *Env. Progress*. — 2004. — **23**, № 4. — P. 271–276.
24. *Criteria for Performance Excellence. Baldrige National Quality Program, National Institute of Standard and Technology*. — USA, 2006. — 82 p.
25. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ: проблемы, методология, приложения. — Киев: Наук. думка, 2005. — 743 с.
26. Статюха Г.А. Автоматизированное проектирование химико-технологических систем. — Киев: Вища шк., 1989. — 400 с.
27. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Технологическое предвидение. — Киев: Политехника НТУУ «КПИ», 2005. — 154 с.
28. Згуровський М.З. Сталий розвиток у глобальному і регіональному вимірах. — Київ: Політехніка НТУУ «КПІ», 2006. — 83 с.

Поступила 17.05.2006