

УДК 05.13.00

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ НАНОИНДУСТРИИ МЕТОДАМИ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

**Бескровный И.М.**

*РНИМУ, Российский научно-исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва, e-mail: beskrovny2000@mai.ru*

Развивающаяся сфера деятельности – наноиндустрия нуждается в специалистах, широкого профиля. Требуется диапазон знаний от квантовых законов физики до законов современного рынка. Специалисты должны владеть основами системного подхода, системного анализа и системной инженерии. Цель настоящей работы – дать представление об основных понятиях системного анализа и системной инженерии и описать методы, повышающие эффективность управления проектами наноиндустрии. Описаны двухмерная матрица системной инженерии, трёхмерная модель управления проектами создания и модификации объектов рукотворного мира и трёхмерная модель управления проектами наноиндустрии. Описанные методы и модели модифицированы автором. По сравнению с известными версиями их возможности расширены. Для системной увязки этих моделей предложено использовать кольцевую модель. Кольцевая модель позволяет конструктивно представить процесс внедрения нанотехнологий в любую сферу человеческой деятельности. Использование этой модели может повысить эффективность управления этим процессом.

**Ключевые слова:** Системный анализ, системная инженерия, наноиндустрия, матрица активности, кольцевая модель

## PROJECT MANAGEMENT OF THE NANOINDUSTRY BY THE METHODS OF THE SYSTEMS ENGINEERING

**Beskrovnyy I.M.**

*RNIMU, Russian Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, e-mail: beskrovny2000@mai.ru*

The emerging field of activity – nanoindustry needs specialists- generalists. The range their knowledge extends from of the laws of quantum physics to the laws of the market. Specialists must possess a systematic approach, system analysis and system engineering. The purpose of this work – to give an idea about the basic concepts of systems analysis and systems engineering and describe methods that increase the efficiency of project management nanotechnology industry. We describe two-dimensional matrix systems engineering, project management three-dimensional model creation and modification of objects of man-made the world and three-dimensional model of project management nanotechnology industry. Described the methods and models are modified by the author. In comparison with the known versions of their capabilities expanded. In order to link these models in complex system proposed to use a ring model. Ring model allows constructively present the process of implementation of nanotechnology in any sphere of human activity. Using this model can improve the management of this process.

**Keywords:** System analysis, system engineering, nanoindustry, matrix activity, ring model

Одно из определений сущности Человека гласит, что истинно человеческими у него являются лишь две функции: **Познание Нового и Создание Прекрасного**. Человек не просто познает новое как пассивный созерцатель. Весь интеллектуальный потенциал накопленных новых знаний человечество использует для создания **нового** нового. В отличие от остальных представителей животного мира человек не просто живет в познаваемом им окружающем мире, а непрерывно изменяет его. Он активно вмешивается в природные процессы, создавая свой *рукотворный* мир.

Эффективным инструментом познания окружающего мира и создания рукотворного является системный анализ [1, 6]. И одним из самых важных методологических приемов системного анализа, использование которого следует считать обязательным, является соблюдение определенной последовательности этапов системного анализа.

На первом этапе ищут ответа на вопрос «*Что случилось?*» Почему надо создавать (конструировать, совершенствовать) новую систему? или решать какую-то задачу? Ответ должен быть сформулирован в четких, конструктивных терминах, позволяющих наметить пути ликвидации проблемной ситуации. Выяснить необходимо истинную проблему, не довольствуясь первой предложенной версией (формальным описанием). Крайне важным моментом анализа проблемной ситуации при создании нового изделия, разработке способа получения нового вещества, создании новой системы и т. п. является анализ возможных негативных последствий от этой новации. Хотя это крайне затруднительно, а порой и невозможно. Однако по отношению к нанотехнологиям ученые прогнозируют возможные негативные последствия уже сегодня.

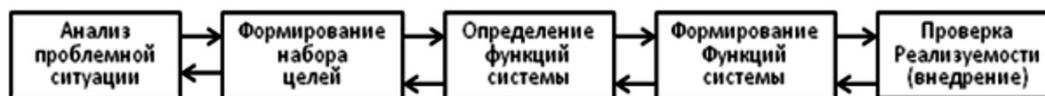


Рис. 1. Последовательность этапов системного анализа

На втором этапе производится формирование набора целей, достижение которых обеспечит ликвидацию (компенсацию последствий) или, хотя бы, снижение остроты возникшей (или выявленной) проблемной ситуации. Набор целей в своей совокупности должен определять состояние системы, достижение которого ликвидирует проблемную ситуацию. На третьем этапе осуществляется формирование набора функции или действий, которые надо осуществить (осуществлять) для достижения сформулированных на втором этапе целей. То есть формируется ответ на вопрос: «*Что надо делать (сделать) для того, чтобы намеченные цели были достигнуты?*» или на вопрос: «*Как должна функционировать система, способная постоянно отслеживать сформулированную цель?*»

На четвертом этапе осуществляется проектирование системы (или комплекса средств, действий, необходимых для реализации выбранных функций). Подбирается элементная база системы, разрабатывается ее структура, на основе которой возможна реализация набора функции, сформированного на третьем этапе. Итогом четвертого этапа является ответ на вопрос: «*На базе каких средств и методов может быть эффективно реализован необходимый набор функций?*» Применительно к существующей системе, для которой элементная база задана, исходной предпосылкой четвертого этапа анализа является утверждение

$$(\exists \mathcal{R}(m))[(m)Q \& \mathcal{R}(m) \rightarrow (\exists P)(P \cap Q = \emptyset)] \quad (1)$$

Для принципиально новых создаваемых систем, для которых ни элементная база, ни структура отношений между элементами не заданы, исходной предпосылкой для четвертого этапа анализа является утверждение

$$(\exists (m)Q)(\exists \mathcal{R}(m))[(m)Q \& \mathcal{R}(m) \rightarrow (\exists P)(P \cap Q = \emptyset)] \quad (2)$$

К таковым системам будут относиться приборы и средства анализа свойств наночастиц и нанообъектов, оборудования для производства наночастиц и нанообъектов и т.п. На пятом этапе производится проверка реализуемости спроектированной системы при заданных внешних условиях. Итогом проверки является ответ на вопрос: «*Так ли хороша система на практике, как*

она была задумана в проекте и в какой мере ликвидирована проблемная ситуация?».

При получении негативного результата движение по цепочке осуществляется в обратном порядке. Проверяется соответствие сформированной структуры заданному набору функций, обеспечивает ли сформированная структура эффективное их выполнение. Затем проверяется полнота набора заданных функций, соответствие их заданному набору целей. Далее, проверяется соответствие сформулированного набора целей задаче разрешения проблемной ситуации. При этом может выясниться избыточность некоторых целей или недостаточность. Может потребоваться их переформулировка. И, наконец, проводится анализ правильности и полноты самой проблемной ситуации. Такие циклы могут повторяться несколько раз, пока рассматриваемая проблемная ситуация не получит должного разрешения. Выполнение описанной процедуры не гарантирует стопроцентной вероятности достижения полного успеха, однако существенно эту вероятность повышает.

Совокупность формализованных и эвристических методов и процедур, базирующихся на принципах системного подхода и используемых в процессе создания рукотворного мира, называют *системной инженерией* [2]. Фактором, стимулировавшим формирование новой прикладной системной методологии, получившей название – *Системная инженерия* – явилось возникшее в середине XX века значительное усложнение научных, технических и управленческих проблем, возникающих при создании систем и рост ответственности за результаты этой деятельности. В настоящее время значение этого фактора значительно усилилось.

Поскольку объектом приложения системной инженерии являются изделия (системы) рукотворного мира, то логично для морфологической модели системной инженерии выбрать те измерения, которые органично отражают суть процесса создания объектов рукотворного мира. Можно сказать, что для любого объекта рукотворного мира существует ограниченный временной интервал его существования, начиная от замысла этого объекта, до его утилизации.

Этот интервал называют жизненным циклом изделия. Поэтому, в качестве одного из измерений морфологической матрицы системной инженерии примем временную шкалу, разделяемую на сегменты вехами основных решений. Интервалы между этими вехами являются стадиями жизненного цикла изделия от зарождения первых идей по его созданию до полного физического (или морального) износа и последующей утилизации. В качестве второго измерения будет использоваться процедурная шкала, разделенная на этапы системного анализа (анализ проблемной ситуации, формирование набора целей и т.д.). Отображая поток логических процедур (а не интервалов времени), эта шкала отображает тонкую структуру системной инженерии.

мени каждого акта деятельности, где  $i$  – номер стадии жизненного цикла,  $j$  – номер этапа системного анализа. Таким образом, деятельность в области ячейки  $a_{13}$  включает изучение потребности и окружения, сбор и анализ данных, которые будут использованы при формулировке проблемы.

Представленная на рис. 2 двухмерная морфологическая структура является универсальной по отношению к целевой направленности обозначенных в ней актов деятельности. Что касается непосредственного выбора процедур, моделей, методов и других инструментальных средств, используемых при реализации каждого из актов, то, совершенно очевидно, что они специфичны для каждой из сфер производственной, научно-технической, строительной и прочих

Стадии жизненного цикла Этапы сист. анализа	1. Выявление потребности	2. Формирование программ	3. Планирование	4. Разработка	5. Производство	6. Сбыт и эксплуатация	7. Утилизация
5. Проверка реализуемости	$a_{15}$	$a_{25}$	...	$a_{45}$	$a_{55}$	...	$a_{75}$
4. Формирование структуры	$a_{14}$	...	$a_{34}$	...	$a_{54}$	...	$a_{74}$
3. Определение состава функций	...	$a_{23}$	...	$a_{43}$	...	...	$a_{73}$
2. Формирование целей и критериев	...	$a_{22}$	...	...	$a_{52}$	...	...
1. Анализ проблемной ситуации	$a_{11}$	...	$a_{31}$	$a_{41}$	...	...	$a_{71}$

Рис. 2. Матрица активности системной инженерии

Двухмерная морфологическая матрица активности системной инженерии, представленная на рис. 2, формализует поле деятельности исполнителей, инвариантное по отношению к профессиям, поскольку оно не содержит фактов, моделей объектов, технологий и т.п., относящихся к конкретной области профессиональной деятельности. С учетом того, что системная инженерия ориентирована на абстрактные модели, концепции, процедуры, применимые ко всем профессиональным областям, она является «производной» профессией.

Каждый элемент этой матрицы определяет на пересечении стадии жизненного цикла и этапа системного анализа специфичный вид деятельности. Модель отображает обширную панораму видов деятельности, включая разработку, которая центрируется возле стадии 4. Любая стадия может быть определена в терминах последовательных фаз, которые покрывают ее. В матрице активности каждая ячейка  $a_{ij}$  определяет позицию в пространстве и вре-

сфер деятельности. Поэтому для более полного представления о сущности системной инженерии, в структуру её морфологической модели вводится третье измерение, по оси которого размещаются области деятельности, которые называются профессиями, дисциплинами или технологиями.

Тогда трёхмерная морфологическая модель системной инженерии примет вид, показанный на рис. 3. В рамках этой модели можно говорить о таких определенных видах деятельности как, принятие решений по формированию набора целей в бизнесе на стадии выявления потребности (ячейка  $a_{124}$ ) или на стадии функционирования (эксплуатации) в приборостроении (ячейка  $a_{622}$ ), которая соответствует принятой практике профессионалов [2].

Итак, любой вид активности по созданию, использованию или утилизации какого бы то ни было объекта рукотворного мира, непременно соприкасается с тремя измерениями морфологической модели, представленной на рис. 3. В этой модели акты

деятельности обозначены символами вида  $a_{ijk}$ , где  $k$  – индекс профессиональной сферы действий. На рис. 3 эти сферы представлены в укрупнённом виде. При этом нумерация сфер выбрана так, что с возрастанием значения индекса  $k$  возрастает степень «неподдатливости» данной сферы методам формализации, математического моделирования и т.п.

Предполагается, что наиболее «простой», в указанном смысле, является сфера 1 – «Машино- и приборостроительная индустрия». Сюда включаются такие области как Авиастроение, Автомобилестроение, Кораблестроение, Электроника, Компьютерные технологии, Энергетика и пр.

В матрице на рис. 3 представлено всего  $7 \times 5 \times 9 = 315$  актов деятельности. Это, конечно, мизерная доля от реально существующих видов деятельности. Неизмеримо большее их число можно получить из рассмотренной морфологической модели, если ввести дополнительные подразделения её ячеек на подэтапы, фазы и т. д. Дополнительно большое количество будет получено, если третьё измерение представить более детально (по видам профессий, дисциплин и т.д.). Его можно расширить так, чтобы действительно охватить, хотя бы в укрупнённом виде, основные области профессиональной деятельности человека. Достаточно указать, что в модели не показаны такие обширные области, как образование, спорт, наука и т.д.

Тем не менее, даже в столь укрупнённом виде представленная модель позволяет судить о возможном наборе профессиональных ориентаций и об их системной взаимосвязи. Совершенно очевидно, что овладеть полным набором знаний и опыта, необходимых для эффективной деятельности в любой из её ячеек, невозможно. Реально можно говорить о профессионале, владеющем необходимым набором методов в пределах нескольких ячеек, которые соседствуют по осям стадий жизненного цикла и этапов системного анализа и находящихся в одной из плоскостей, относящихся к определенной профессиональной области.

Например, это может быть специалист, работающий в области наноиндустрии, способный эффективно заниматься анализом проблемной ситуации и формированием набора целей на стадиях выявления потребностей и формирования программ. То есть область его профессиональной деятельности сосредотачивается в пределах ячеек  $a_{112}$ ,  $a_{122}$ ,  $a_{212}$ ,  $a_{222}$  и эта область является центральным ядром его профессиональной ориентации. Конечно, его деятельность может распространяться и на соседние ячейки  $a_{132}$ ,  $a_{312}$  и т.д. Однако, чем дальше специалист заходит в своей деятельности от центрального ядра своей профессиональной ориентации, тем менее конструктивной и полезной становится его деятельность.

Стадии жизненного цикла / Этапы сист. анализа	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
5. Проверка реализуемости	$a_{15}$	$a_{25}$	...	$a_{45}$	$a_{55}$	...	$a_{75}$
4. Формирование структуры	$a_{14}$	...	$a_{34}$	...	$a_{54}$	...	$a_{74}$
3. Определение состава функций	...	$a_{23}$	...	$a_{43}$	...	...	$a_{73}$
2. Формирование целей и критериев	...	$a_{22}$	...	...	$a_{52}$	...	...
1. Анализ проблемной ситуации	$a_{11}$	...	$a_{31}$	$a_{41}$	...	...	$a_{71}$

Рис. 3. Трёхмерная морфологическая модель системной инженерии

		7.ВнО						
		6.МиС						
		5.ПНП						
		4.РНТХ						
		3.РФНС						
		2.РНМ						
		1.ФИНИН						
Стадии жизненного цикла	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	
Этапы сист. анализа	Выявление потребности	Формирование программ	Планирование	Разработка	Производство	Сбыт и эксплуатация	Утилизация	
5.	Проверка реализуемости	$a_{15}$	$a_{25}$	...	$a_{45}$	$a_{55}$	...	
4.	Формирование структуры	$a_{14}$	...	$a_{34}$	...	$a_{54}$	...	
3.	Определение состава функций	...	$a_{23}$	...	$a_{43}$	...	$a_{73}$	
2.	Формирование целей и критериев	...	$a_{22}$	...	$a_{52}$	...	...	
1.	Анализ проблемной ситуации	$a_{11}$	...	$a_{31}$	$a_{41}$	...	$a_{71}$	

Рис. 4. Трёхмерная матрица системной инженерии наноиндустрии: ФИНИН – фундаментальные исследования нанообъектов и наносистем; РНМ – разработка наноматериалов; РФНС – разработка функциональных наносистем; РНТХ – разработка нанотехнологий; ПНП – производство нанотехнологической продукции; МиС – метрология и стандартизация; ВнО – исследования влияния нанотехнологий на социальные изменения в обществе

Эту закономерность необходимо учитывать при формировании профессиональной структуры кадрового состава любой организации. Определивши область видов деятельности для всей организации в целом, далее следует «заполнить» эту область специалистами различного профиля таким образом, чтобы в области, очерченной для организации в целом, не оставалось бы заметных «пустот», но и, с другой стороны, не образовывалось больших «перекрытий». Это лишь небольшой пример возможности практического применения морфологической модели системной инженерии и число вариантов таких возможных применений практически неисчерпаемо.

Важно отметить, что в совокупности сфер деятельности, образующих третье измерение в трехмерной модели, не представлены ни нанотехнологии, ни наноиндустрия. Дело в том, что области деятельности, представляющие третье измерение этой модели, сформированы по объектно-целевому признаку. Каждая из выделенных областей объединяет объекты деятельности, сходные или родственные по своему функциональному назначению, по способу используемых технологических процессов и процедур, по характеру потребляемых ресурсов и, наконец, по той нише человеческих потребностей, ко-

торая удовлетворяется продуктами деятельности выделенных сфер.

Однако, не существует того специфического вида потребностей, на удовлетворение которых должна быть «эксклюзивно» ориентирована наноиндустрия. Набор конечных продуктов, потребляемых человечеством, остается в своем составе прежним: материальная продукция, энергия, услуги, информация. По мере внедрения средств и методов нанотехнологий и возрастания доли продукции, производимой в рамках наноиндустрии, во все сферы деятельности, представленные на трёхмерной модели на рис. 3, должны кардинально изменяться качественные свойства и количественные показатели всех выпускаемых конечных продуктов. Должна возрасти их эффективность, снизиться энергопотребление, значительно расширятся возможные области применения и, тем самым, должны открыться возможности эффективного решения новых актуальных проблем, ныне не поддающихся разрешению [3].

В силу изложенных причин очень сложно на графической модели отобразить характер взаимодействия наноиндустрии с остальными компонентами техносферы. Поэтому нецелесообразно объединять её трёхмерную модель с моделью, представленной на рис. 3, а представить эту модель

автономно. В качестве исходной может быть принята модель, показанная на рис. 3, в которой структура третьего измерения будет отражать те направления наноиндустрии, которые сложились и развиваются в настоящее время. К таковым в настоящее время относятся:

1. Фундаментальные исследования нанообъектов и наносистем (ФИНИН);
2. Разработка наноматериалов (РНМ);
3. Разработка функциональных наносистем (РФНС);
4. Разработка нанотехнологий (РНТХ);
5. Производство нанотехнологической продукции (ПНП);
6. Метрология и стандартизация (МиС);
7. Влияние нанотехнологий на социальные изменения в обществе (ВНО).

Таким образом, трёхмерную модель наноиндустрии можно представить в виде, показанном на рис. 4. Назначение трёхмерной морфологической модели состоит в том, что она позволяет чётко определить характер деятельности на каждой из стадий жизненного цикла и на каждом из этапов системного анализа. При этом появляется возможность организации эффективного взаимодействия всех субъектов и организаций, участвующих в разработке, производстве, организации сбыта и инженерного сопровождения при эксплуатации продукции наноиндустрии [2].

В каждой ячейке деятельности, выделенной в морфологической матрице, могут эффективно использоваться соответствующие методы, модели и средства системного анализа. Это особенно существенно на этапах прогнозирования и планирования при разработке и реализации крупных масштабных проектов таких, например, как развитие всей наноиндустрии в целом.

Теперь возникает вопрос – как объединить две трёхмерные структуры в единую комплексную модель? Ясно, что графическому отображению четырёхмерная структура не поддаётся. Проблему можно разрешить, если использовать кольцевую модель, показанную на рис. 5, а.

В модели, представленной на рис. 5, а, внешнее кольцо отображает продукцию, производимую всей наноиндустрией в целом. Процессы проектирования и производства этой продукции отображаются трёхмерной моделью, представленной на рис. 4. Четыре сектора внутри индустриального кольца отображают области применения продукции наноиндустрии. Здесь по группам размещены все отрасли деятельности, представленные в трёхмерной структуре на рис. 3.

Понятно, что столь обобщённая модель является малоинформативной. Однако, кольцевая модель на рис. 5, а тем важным преимуществом, что её можно детализировать до любой желаемой степени подробностей.

Так, например, выберем для детализации сектора 2 – Медицина, представленного в модели на рис. 5, а. В этом секторе показаны четыре основных направления деятельности в области медицины: профилактика, диагностика, лечение, реабилитация. Для детализации этих видов деятельности строится производная модель, представленная на рис. 5, б. В этой модели наружное производственное кольцо отображает направления деятельности наноиндустрии, ориентированные на удовлетворение потребностей медицины. Внутренняя часть производственного кольца наноиндустрии отображает медицину и разделена на четыре сектора, соответственно выделенным областям медицинской деятельности.

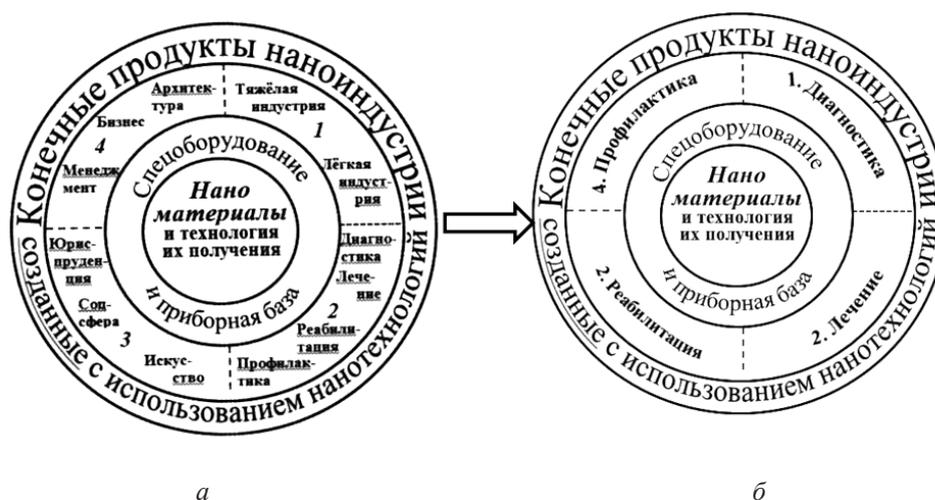


Рис. 5

Продолжая детализацию, в модели на рис. 5, б можно выбрать сектор 2 – «Лечение», и на следующей производной модели представить эту область внутри всего индустриального кольца, как сферу, на удовлетворение потребности которой ориентированы определённые направления наноиндустрии. Далее эта сфера разделяется на несколько секторов, соответствующих определённым группам заболеваний и т.д.

В итоге образуются две цепочки последовательности действий от этапа анализа проблемной ситуации до этапа внедрения. Одна из них будет относиться к двухмерной матрице СИ проектов наноиндустрии и вторая – к двухмерной матрице проектов создания новых методов лечения. В конечном итоге на четвёртом этапе первой цепочки актов деятельности должна быть определена совокупность методов и средств получения наночастиц с заданными свойствами, необходимыми для лечения определённого заболевания. Такая же методология приме-

нима и к остальным отраслям деятельности. Например, в отрасли автомобилестроения таким же путём можно определять свойства наночастиц, применение которых значительно повышает свойства автомобильных масел. Это относится ко всем проектам наноиндустрии, ориентированным на внедрение нанотехнологии во всех отраслях человеческой деятельности по созданию и модернизации объектов рукотворного мира.

#### Список литературы

1. Бескровный И.М. Системный анализ и информационные технологии в организациях. Учебное пособие. – М.: РУДН, 2012. – 392 с.
2. Бескровный И.М. Системная инженерия проектов наноиндустрии. Учебное пособие. – М.: РУДН, 2014. – 250 с.
3. Нанотехнологии: новый этап в развитии человечества / под ред. В.Г. Тимирясова. – 2-е изд., доп. и перераб. – Казань: Изд-во «Познание» Ин-та экономики, управ. и права, 2010. – 252 с.
4. Клиланд Д.И., Кинг В.Р. Системный анализ и целевое управление. Пер. с англ. – М.: Сов. Радио, 1974. – 280 с.