

Проблемы формирования и применения критериев прогрессивного развития технологий и техники

*Жедаевский Дмитрий Николаевич,
к.т.н., доцент,
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М.Губкина, начальник отдела
научно-технической интеграции
119991, Москва, Ленинский просп., д. 65, корп. 1
jdn@gubkin.ru*

Аннотация: Одним из инструментов формулирования направлений совершенствования технологий и техники являются критерии прогрессивного развития (КПР). Они отражают тенденции изменения (или сохранения) численных значений параметров для совершенствования технологий и техники. Выявлено, что для некоторых параметров возникают сложности при формулировании КПР: при оперативном и стратегическом планировании направления изменения численных значений параметров должны менять свои значения на противоположное. Объяснить и решить эти сложности можно через системную методологию проектной деятельности.

Ключевые слова: критерии прогрессивного развития, технологическое прогнозирование, оперативное планирование, стратегическое планирование, системная методология проектной деятельности, прогноз развития.

Problems of formation and application of criteria for progressive development of technology

*Zhedyayevskii Dmitry Nikolaevitch,
PhD, assistant professor,
National University of Oil and Gas «Gubkin University»,
Head of Science and Technology Integration Department
65 Leninsky pr-t, Moscow, 119991
jdn@gubkin.ru*

Abstract: Criteria for progressive development (CPD) are one of the formulation tools for directions of technology development. They reflect the direction of change (or conservation) of the numerical values of the parameters for technology development. It was revealed that for some parameters during the formulation of CPD difficulties connected with the fact that in operational and strategic planning, the directions of change in the numerical values of parameters should change their values to the opposite

arise. This can be explained and solved through the system methodology of the project activity.

Keywords: Criteria for progressive development, technology foresight, technological forecasting, strategic planning, system methodology of project activities, development forecast.

1 Актуальность

В существующих инструментах системной инженерии, вопросы обеспечения деятельности по созданию/совершенствованию систем практически не рассматриваются и основное внимание сосредоточено на достижении эффективности систем за счет обеспечения интероперабельности, т.е. способности к обмену информацией и использованию информации, полученной в результате обмена внутри систем и между системами [1]. Важной задачей системной инженерии является формирование перспективных направлений совершенствования существующих технологий, техники и изделий (технических систем – ТС). Однако в существующих инструментах отсутствуют комплексные процедуры по формулированию направлений совершенствования ТС.

Формулирование перспективных направлений развития существующих ТС может базироваться на инструментах технического творчества [2]. Одним из наиболее эффективных инструментов формирования направления развития ТС являются критерии прогрессивного развития (КПР). КПР представляет собой тенденцию изменения численного значения количественной характеристики ТС для повышения эффективности ТС в целом.

2 Проблемы

При формулировании КПР часто возникают объективные сложности, связанные со следующим.

1. Сложность выбора целевых индикаторов эффективности системы.
2. Взаимовлияние характеристик внутри ТС приводит к комплексам несоответствий между желаемым и действительным изменением ТС в процессе их совершенствования.
3. Большое число характеристик ТС при стратегическом и оперативном горизонтах планирования имеют взаимоисключающие тенденции изменения.
4. Значения и состав КПР меняются в процессе совершенствования ТС.

Игнорирование этих сложностей или недостаток компетенций по их преодолению приводит к снижению качества выявления перспективных направлений развития ТС.

3 Предлагаемые пути решения

В РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в рамках ряда курсов проводится регулярная работа по обучению технологиям формулирования и применения КПР для концептуального проектирования технологий и техники. За 12 лет практической деятельности сформулированы и проверены КПР более чем 1500 ТС. Формулирование КПР целесообразно проводить по следующей схеме (рисунок 1).



Рисунок 1 – Состав критерия прогрессивного развития

Для формулирования КПР необходимо совершить следующие действия.

1. Назвать совершенствуемую ТС и выявить ее главную функцию (главная функция отражает цель создания системы, ее формулирование позволяет преодолеть проблему выбора целевых индикаторов эффективности системы).
2. Выявить совокупность характеристик, описывающих требования к ТС и процесс функционирования ТС.
3. Для каждой выявленной характеристики сформулировать тенденцию ее изменения для повышения эффективности реализации ее главной функции (таким образом целевые индикаторы системы связываются с ее главной функцией).

Тенденции изменения характеристик ТС могут быть следующими:

- положительная (увеличить численное значение характеристики, расширить диапазон значений и т.п.);
- отрицательная (уменьшить численное значение, сузить диапазон значений и т.п.);
- нейтральная (сохранить численное значение, сохранить диапазон значений и т.п.).

Примеры формулирования КПП приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Примеры формулирования КПП

№ п/п	Наименование технической системы	Примеры характеристик ТС	КПП ТС на базе характеристик
1.	Автомобиль	Запас хода	Запас хода необходимо увеличивать
		Степень автономности	Степень автономности необходимо увеличивать
		Удельный расход топлива	Удельный расход топлива необходимо уменьшать
		Температура воздуха в салоне	Температуру воздуха в салоне необходимо сохранять
2.	Трубопровод	Потери на трение	Потери на трение необходимо уменьшать
		Коррозионная стойкость	Коррозионную стойкость необходимо увеличивать
		Степень герметичности	Степень герметичности необходимо сохранять
3.	Нож	Толщина режущей кромки	Толщину режущей кромки необходимо уменьшать
		Износостойкость режущей кромки	Износостойкость режущей кромки необходимо увеличивать

Как видно из примеров, КПП являются достаточно универсальным инструментом, задающим возможный вектор совершенствования технологий и техники.

Комплексный анализ взаимовлияния характеристик целесообразно осуществлять при использовании методики выявления и преодоления противоречий в ТС. В методологии технического творчества выделяют технические и физические противоречия, существуют стандарты и приемы их разрешения [3].

Техническое противоречие – это ситуация, когда при попытке улучшить одну характеристику ТС, объективно ухудшается другая ее характеристика. Например, при увеличении мощности двигателя внутреннего сгорания – растет удельный расход топлива.

Физическое противоречие – это ситуация, когда к технической системе, ее части или рабочей зоне одновременно предъявляются взаимоисключающие требования. Например, для уменьшения теплообмена с окружающей средой толщина стен здания должна быть как можно больше, а для уменьшения стоимости строительства и уменьшения нагрузки на фундамент – толщина стен должна быть как можно меньше. Как видно из формулировки – к параметру «толщина стены» одновременно предъявляются взаимоисключающие требования.

Г.С. Альшулером сформулированы приемы разрешения технических противоречий и стандарты на разрешение физических противоречий [3], применение которых дает возможность существенно повысить эффективность проектирования. Формулирование технических и физических противоречий, использование приемов и стандартов на их разрешение является действенным аналитическим инструментом для формулирования направлений поиска совершенствования ТС инженерами.

Разработан и реализован алгоритм комплексного выявления всех существующих связей между характеристиками с последующим автоматическим формулированием технических и физических противоречий. Алгоритм реализован в Интернет-системе, расположенной по адресу ffa.unicor.ru и апробирован в рамках учебного процесса.

Этап 1. Выявление связей между характеристиками.

Шаг 1.1. Составляется список учитываемых характеристик системы.

Шаг 1.2. Составляется матрица взаимосвязей между характеристиками (рисунки 2, 3).

		СЛЕДСТВИЯ											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
П Р И Ч И Н Ы	1												
	2												
	3												
	4	+											
	5												
	6		-										
	7												
	8												
	9	+		X									
	10												
	11												
	12												

1-12 – характеристики ТС

Направление исследований

«Следствие» (?)

«Причина»
(увеличивается)

Когда «причина» увеличивается, то:

- Если «следствие» увеличивается (прямая зависимость) – ставится «+»;
- Если «следствие» уменьшается (обратная зависимость) – ставится «-»;
- Если отсутствует взаимосвязь – ставится «X»;
- Если зависимость не выявлена – ставится «?»;

Рисунок 2 – Алгоритм выявления связей между характеристиками

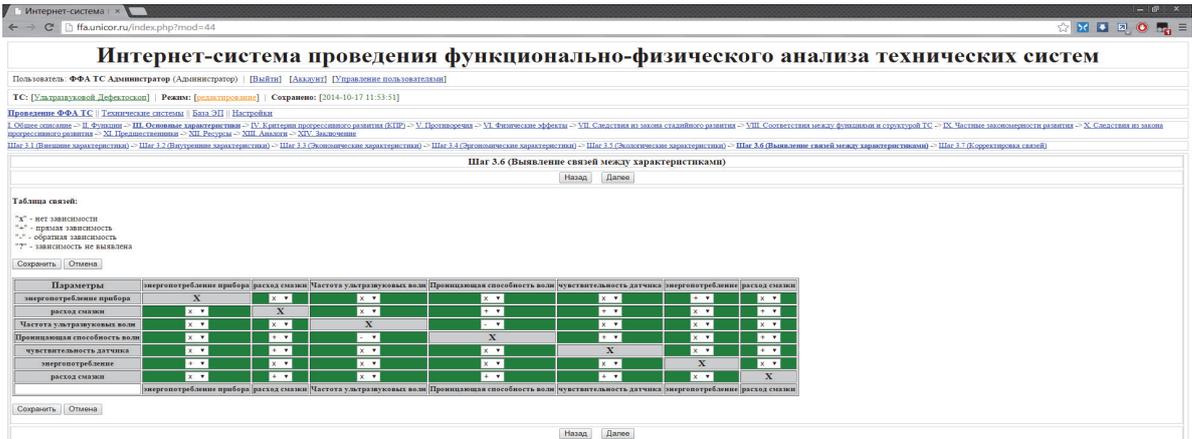


Рисунок 3 – Интерфейс выявления связей между характеристиками ТС в системе ffa.unicon.ru

Шаг 1.3. Выявляются объективно существующие связи между характеристиками, при этом:

- соблюдается направление фиксирования от столбца к строке (рисунок 2);
- выявляются тенденции направленного взаимовлияния характеристик (например, в здании – чем выше температура окружающей среды (причина), тем ниже теплопотери через стены и окна (следствие), при этом, в следствии выявленной обратно пропорциональной зависимости – в матрице ставится знак «минус»);
- фиксируется только однозначное влияние, т.е. матрица характеристик относительно диагонали не симметрична (например, в здании – чем выше больше слой теплоизоляции (причина), тем ниже теплопотери в окружающую среду (следствие), при этом ставится знак «минус», а симметричная относительно диагонали пара – связь между теплопотерями в окружающую среду и изменением толщины слоя теплоизоляции (следствие) однозначно зафиксировать невозможно, т.е. имеется большой спектр дополнительно влияющих на указанную связь параметров).

Этап 2. Выявление и формулирование технических противоречий

Шаг 2.1. Формулируются КПР ТС (рисунок 4).

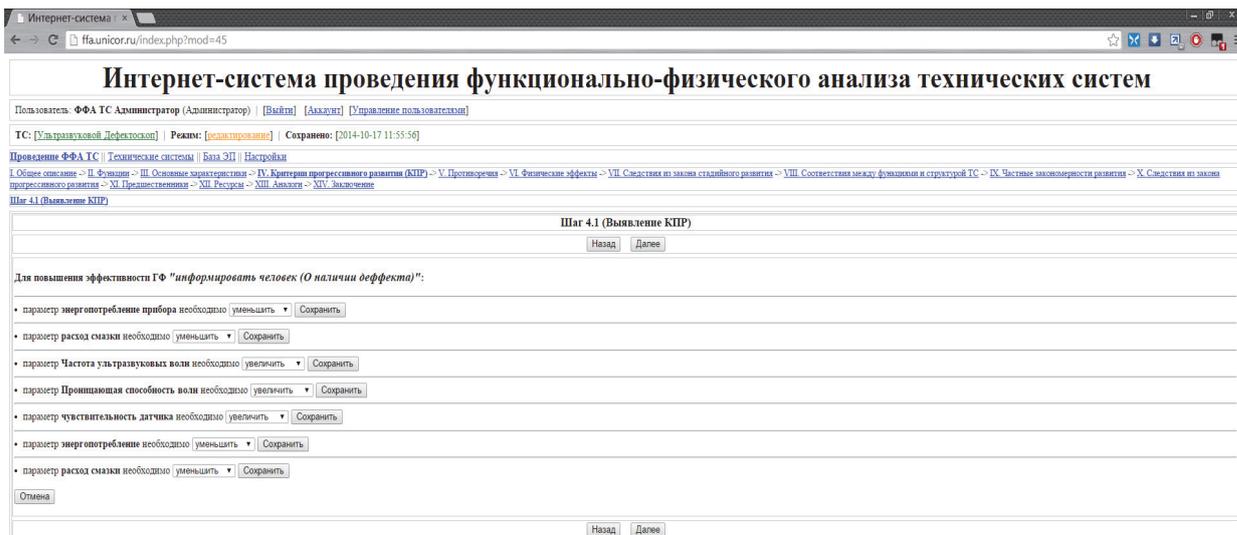


Рисунок 4 – Интерфейс выявления КПП ТС в системе ffa.unicor.ru

Шаг 2.2. Выявляются и формулируются технические противоречия (ТП) в ТС (рисунки 5, 6), при этом:

- Следует учитывать признаки существования ТП (рисунок 5).
- ТП автоматически могут быть сформулированы по представленной на рисунке 5 модели.



Рисунок 5 – Алгоритм выявления и формулирования существующих технических противоречий

		1↑	2↓	3↑	4↑	5↓	6↑	7↑	8↓	9↑	10↑	11↑	12↑
П Р И Ч И Н Ы	1↑												
	2↓			⊖			⊖		⊕				⊖
	3↑				⊖								
	4↑	⊕						⊖		⊕			⊕
	5↓									⊕			
	6↑		⊖										
	7↑			⊖									
	8↓								⊕				
	9↑	⊕			⊕								
	10↑									⊕			
	11↑				⊕		⊕						
	12↑				⊕								

Перемножение тенденций и связей

$$\begin{aligned} \uparrow x (+) &= \text{⊕}; \downarrow x (+) = \text{⊖}; \\ \uparrow x (-) &= \text{⊖}; \downarrow x (-) = \text{⊕}; \\ \ddagger x (+) &= \text{⊕}; \ddagger x (-) = \text{⊖} \end{aligned}$$

Признаки существования ФП

ФП существует, когда в строке встречаются символы разного цвета в любом сочетании

Таким образом, физические противоречия имеются в строках 2, 11

Модели формулировок ФП

1. Для увеличения 3, увеличения 6, уменьшения 8 – 2 должна быть как можно меньше, для сохранения 12 – 2 должна сохранять свое значение неизменным.
2. Для увеличения 4 – 11 должна быть как можно больше, для уменьшения 5 – 11 должна быть как можно меньше

Рисунок 8 – Алгоритм выявления и формулирования существующих в ТС физических противоречий

Шаг 3.2. Выявление и формулирование физических противоречий (рисунок 9), при этом:

- Следует учитывать признаки существования физических противоречий (рисунок 9).
- Физические противоречия автоматически формулируются по представленной на рисунке 9 модели.
- В случае ошибочных формулировок получившихся физических противоречий (не отражающих объективную реальность) – необходимо искать ошибки в формировании связей и формулировок на предыдущих этапах работы.

Интернет-система проведения функционально-физического анализа технических систем

Пользователь: ФФА ТС Администратор (Администратор) | [Выйти](#) | [Аккаунт](#) | [Управление пользователями](#)

ТС: [Газонагреватель углеводородных газов инфракрасного поглощения стационарный, трассовый] | [Режим](#): [редактирование] | Создано: [2014-10-21 06:55:09]

Проведение ФФА ТС | Технические системы | База ЭИ | Настройка

Общее описание - II. Функции - III. Основные характеристики - IV. Категории прогрессивного развития (КПР) - V. Противоречия - VI. Физические эффекты - VII. Следствия из закона стабильного развития - VIII. Соответствия между функциями и структурой ТС - IX. Частные закономерности развития - X. Следствия из закона прогрессивного развития - XI. Предшественники - XII. Ресурсы - XIII. Аналоги - XIV. Заключение

Шаг 3.1 (Выявление технических противоречий) - Шаг 3.2 (Формулировка технических противоречий) - Шаг 3.3 (Выявление физических противоречий) - Шаг 3.4 (Формулировка физических противоречий)

Шаг 3.4 (Формулировка физических противоречий)

[Назад](#) [Далее](#)

Формулировка физических противоречий:

ФП1: Для уменьшения параметра "количество теплоты, выделяемой при прохождении светового потока по трассе" и уменьшения параметра "потребляемая мощность" и уменьшения параметра "затраты на обслуживание и ремонт" и уменьшения параметра "интенсивность излучения лампы", параметр "напряжение питания" должен быть меньше, а для увеличения параметра "интенсивность светового сигнала на входе в модуль-приемник" и уменьшения параметра "время прогрева", параметр "напряжение питания" должен быть больше (ГФ0 и ОФ1 и ВФ1 и НФ1)

ФП2: Для уменьшения параметра "время установления выходных сигналов (время отклика)", параметр "производительность обрабатывающей электроники" должен быть больше, а для уменьшения параметра "напряжение питания" и уменьшения параметра "потребляемая мощность" и уменьшения параметра "затраты на обслуживание и ремонт", параметр "производительность обрабатывающей электроники" должен быть меньше (ГФ0 и ОФ1 и ВФ1 и НФ1)

ФП3: Для уменьшения параметра "затраты на обслуживание и ремонт", параметр "потребляемая мощность" должен быть меньше, а для уменьшения параметра "время прогрева", параметр "потребляемая мощность" должен быть больше (ГФ0 и ОФ1 и ВФ1 и НФ1)

ФП4: Для уменьшения параметра "количество теплоты, выделяемой при прохождении светового потока по трассе" и уменьшения параметра "напряжение питания" и уменьшения параметра "потребляемая мощность" и уменьшения параметра "затраты на обслуживание и ремонт", параметр "интенсивность излучения лампы" должен быть меньше, а для увеличения параметра "интенсивность светового сигнала на входе в модуль-приемник", параметр "интенсивность излучения лампы" должен быть больше (ГФ0 и ОФ1 и ВФ1 и НФ1)

[Назад](#) [Далее](#)

Рисунок 9 – Интерфейс проверки полученных формулировок физических противоречий в системе ffa.unicoг.ru

Приведенные инструменты позволяют выявлять и анализировать имеющиеся противоречия, возникающие, в том числе при оперативном и стратегическом планировании развития и применения ТС, например:

- в рекуперативном теплообменнике для повышения эффективности теплопередачи площадь поверхности теплообмена должна быть как можно больше, а при этом стратегически – удельная металлоемкость теплообменного оборудования (и площадь поверхности теплообмена) должна быть как можно меньше;
- Массовые преобразователи энергии по конструкции должны быть как можно проще и безопаснее, при этом КПД м энергии зависит от количества контуров рекуперации энергии, а также энерговооруженности системы, а, следовательно, конструкция преобразователей энергии должна быть как можно сложнее;
- с точки зрения безопасности и надежности – запасы прочности подсистем должны быть как можно выше, для снижения стоимости изделия – запасы прочности подсистем должны быть как можно ниже;

и т.п.

После выявления комплекса противоречий в ТС целесообразно применять инструменты их разрешения. При этом необходимо учитывать, что сформированная новая ТС, в которой полностью или частично устранены выявленные противоречия – обладает своей внутренней системой связей характеристик, которые, в свою очередь, порождают новые противоречия, требующие выявления и разрешения.

Методы использования КПП, выявления и разрешения противоречий – лишь малая часть большой и целостной методологии концептуального проектирования, основой которой является последовательность этапов проектирования ТС. В частности, в ней выделяются следующие уровни, на которых идет совершенствование ТС [4]:

1. Уровень потребностей, результатом проектирования на котором является совокупность мотивов создания (или совершенствования) ТС.

2. Уровень функций ТС, результатом проектирования на котором является совокупность целей создания (или совершенствования) ТС.

3. Уровень потребительских свойств, результатом проектирования на котором является совокупность целевых характеристик создания (или совершенствования) ТС.

4. Уровень функциональных структур, результатом проектирования на котором является состав и структура и взаимосвязи внутренних функций ТС (основных и вспомогательных) для обеспечения цели создания (или совершенствования) ТС.

5. Уровень принципов действия, результатом проектирования на котором является состав и структура взаимодействия физических, химических, биологических, геометрических и других эффектов и явлений для реализации сформированной функциональной структуры ТС.

6. Уровень конструктивных технологических решений, результатом проектирования на котором является модель ТС (математическая модель, комплект чертежей, прототип и т.п.) для реализации сформированного принципа действия ТС.

7. Уровень оптимизации параметров, результатом проектирования на котором является совокупность технологических параметров конструктивно-технологического решения для достижения поставленной цели.

После последовательного успешного проектирования на указанных уровнях получается конкурентоспособное техническое решение.

Анализ существующих формулировок стандартов на разрешение физических противоречий показал, что их можно свести к рекомендациям по изменению ТС на указанных уровнях системной методологии проектной деятельности. При этом, при совершенствовании существующей ТС, после формулирования КПП и выявления имеющихся противоречий в ТС – целесообразнее всего это делать в соответствии со стратегией итерационных приближений системной методологии проектной деятельности [2], т.е. инициировать и реализовывать исследовательскую деятельность строго в указанной последовательности:

1. Инициирование и реализация исследовательской деятельности по оптимизации параметров функционирования существующего конструктивно-технологического решения ТС (включая, в том числе, инструменты математического моделирования и оптимизации) (потенциальный прирост эффективности – 10-30% по сравнению с совершенствуемым прототипом).

2. Инициирование и реализация исследовательской деятельности по оптимизации конструктивно-технологического решения ТС при неизменном принципе действия (совершенствование материального исполнения, оптимизация взаимного расположения элементов ТС, оптимизация технологического цикла эксплуатации и т.п.) (потенциальный прирост эффективности –30-50% по сравнению с совершенствуемым прототипом).

3. Инициирование и реализация исследовательской деятельности по оптимизации принципа действия ТС при неизменной функциональной структуре [5, 6] (поиск более эффективной совокупности физических, химических, биологических и геометрических эффектов и явлений, например с помощью системы <http://www.heuristic.su/home/>) (потенциальный прирост эффективности – в несколько раз по сравнению с совершенствуемым прототипом).

4. Инициирование и реализация исследовательской деятельности по совершенствованию функциональной структуры ТС при неизменной цели создания ТС и потребительских свойствах (см. закономерности развития функциональных структур ТС [7] (потенциальный прирост эффективности – на несколько порядков по сравнению с совершенствуемым прототипом [8]).

5. Инициирование и реализация исследовательской деятельности по корректировке потребностей, функций и потребительских свойств ТС [9] (возможно создание качественно новых ТС).

4 Выводы

1. Критерии прогрессивного развития могут выступать в качестве инструмента формирования направлений совершенствования технологий и техники.
2. Разработаны, реализованы и апробированы алгоритмы комплексного выявления связей между характеристиками ТС, автоматизированного выявления технических и физических противоречий, имеющихся в ТС.
3. Системная методология проектной деятельности расширяет спектр инструментов по совершенствованию ТС.
4. Внутри компаний, занимающихся совершенствованием технологий и техники, должны функционировать аналитические подразделения, выявляющие существующие в развиваемых ТС физические противоречия и системно, на регулярной основе – занимающиеся поиском и исследованиями возможных технологических решений по их преодолению. Компании, в которых присутствуют такие инфраструктурные подразделения – с большой вероятностью в долгосрочной перспективе будут занимать лидирующие позиции на рынке наукоемкой продукции.

Литература

- [1] В.К. Батоврин. Стандарты системной инженерии: серия докладов (зеленых книг) в рамках проекта «Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации» / В.К. Батоврин; под ред. М.С. Липецкой, К.А. Ивановой; Фонд «Центр стратегических разработок «СевероЗапад». — СПб., 2012. — Вып. 4. — 64 с.
- [2] Техническое творчество: теория, методология, практика: Энцикл. словарь-справочник /Под ред. А. И. Половинкина, В. В. Попова. — М.: Информ-система; Nauka Ltd.; Логос, 1995. — 410 с.
- [3] Алгоритм решения изобретательских задач АРИЗ-85В: Метод. реком. для слушателей обл. школы науч.-техн. творчества/Под ред. Г.С. Альтшуллера. - Новосибирск, 1986. - 52 с.
- [4] Башмаков А. И., Жедяевский Д.Н., Кузнецов А. А. и др. Креативная педагогика. Методология, теория, практика / под ред. д. т. н., проф. В. В. Попова, акад. РАО Ю. Г. Круглова. — 3-е изд. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. — 319 с.
- [5] Башмаков А.И., Жедяевский Д.Н., Попов В.В., Сычевой М.Д. Межотраслевая Интернет-система поиска и синтеза физических принципов действия преобразователей энергии. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009612570 (опубликовано: 2009 г.).
- [6] Башмаков А.И., Жедяевский Д.Н., Попов В.В., Сычевой М.Д. Применение Межотраслевой Интернет-системы поиска и синтеза физических принципов действия преобразователей энергии для концептуального проектирования технологий и техники: Методические указания к лабораторной работе. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2013. – 30 с.
- [7] Башмаков А.И., Жедяевский Д.Н., Макарова Н.П., Попов В.В., Чикичев Д.Н. Выявление закономерностей развития технических систем: Методические указания к лабораторной работе. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2013. – 45 с.
- [8] М.Савченко. САТУА – система проектирования и изготовления // Компьютерра: компьютерный еженедельник, №28 (155), 1996, с. 15-18
- [9] Попов В.В. Мыслительное карате: Методология научно-технического творчества и концептуального проектирования / Валерий Попов. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2018. – 480 с.