

Применение метода композиционных противоречий ТРИЗ для поиска новых решений в области электрических машин

МАТВЕЕВ А.В.

Drive Constructor, Норвегия

Ставится задача увеличения количества и повышения качества инноваций в области электрических машин посредством повышения количества и качества идей в данной области. Как один из путей достижения цели демонстрируется применение Теории Решения Изобретательских Задач (ТРИЗ) в электромеханике. ТРИЗ – эмпирическая, конструктивная, качественная, универсальная методология генерации эффективных идей и разрешения проблем на основе моделей противоречий и методов их разрешения, экстрагированных из известных примеров эффективных решений. Демонстрируется применение одного из алгоритмов ТРИЗ на примерах решения трех сложных инженерных задач, а именно: повышение надежности изоляции электрической машины, расширение диапазонов рабочих моментов и частот вращения системы электропривода и улучшение охлаждения ротора электромобиля. Показаны сопутствующие сложности и пути их преодоления. Дается минимально необходимый инструментарий для самостоятельной работы в данном направлении. Показан принцип формирования нового профессионального словаря «ТРИЗ-Электромеханика». Дан краткий обзор профессиональных качеств и методов работы изобретателей.

К л ю ч е в ы е с л о в а: электрические машины, изобретения, ТРИЗ, алгоритмы, формулировки проблемных ситуаций, противоречия, принципы и приемы, физические и химические эффекты

Успех производства в значительной степени зависит от инноваций. В контексте данной работы инновацию можно определить как внедрение новой или улучшенной электрической машины (ЭМ) или нового или улучшенного процесса ее производства. Подобная инновация может содержать одно или несколько новых решений – назовем сформулированные идеи таких решений «инновационными предложениями». Большинство инновационных предложений отсеивается экспертами, но часть из них реализуется и тестируется в прототипах, а некоторые идеи, пройдя стадию тестирования, становятся настоящими инновациями. Часть предлагаемых новых решений может быть на уровне изобретений. В таком случае внедрение новых решений может сопровождаться оформлением прав интеллектуальной собственности (патентных заявок), дающей в отдельных случаях эксклюзивность на рынке или возможность лицензирования. Надо, впрочем, учесть, что далеко не все инновации сопровождаются патентными заявками и выданными патентами. В целом, ситуацию можно проиллюстрировать на рис 1, где инновационные предложения (идеи) показаны как множество, включающее другие множества. Множество патентных заявок, поданных на основании идей, включает множество

заявок, по которым выданы патенты. Примечательно, что множество прототипов, построенных на основании идей, только частично пересекается с множеством идей, по которым поданы патентные заявки, т.е. процессы построения прототипов и патентования часто идут параллельно. Аналогично, инновации и выданные патенты являются только частично пересекающимися множествами, т.е. в большинстве случаев либо специалисты, отвечающие за интеллектуальную собственность не способны предугадать, какие идеи окажутся самыми эффективными, либо идеи не являются охраноспособными изначально. В [1] приводятся данные, согласно которым только 5% патентов имеют стратегическую ценность для своих правообладателей. На рис. 1 также показано, что реализованные идеи (инновации) составляют очень небольшую часть всех поданных идей.

Интересно было бы количественно определить поток инноваций и его динамику в области ЭМ в России в последние годы, но, к сожалению, подобных данных автору обнаружить не удалось, и в данной работе дается только приблизительная оценка по косвенным признакам. Обратимся к смежной отрасли – автомобилестроению. В современном автомобиле десятки ЭМ, т.е. автомобилестроение яв-



Рис. 1. Пересекающиеся множества

Fig. 1. Intersecting sets

ляется смежной отраслью для электромашиностроения. В [2] показано, что в таких компаниях, как Opel и Volkswagen, в начале 2000-х годов количество инновационных предложений в год составляло около 100 тыс. Уровень предложений сильно варьировался — от небольших усовершенствований до изобретений, принесших большой экономический эффект. Средний экономический эффект от предложения составлял около 1000 евро. Эффективность так называемых «выдающихся» инноваций определялась не ниже 400 тыс. евро. Интересно, что 15 % всего экономического эффекта приносили «выдающиеся» инновации, а 85% — массовые, т.е. значение небольших усовершенствований не стоит недооценивать. В этих компаниях Opel и VW подавалось по несколько сотен патентных заявок в год, т.е. менее одной заявки на 100 инновационных предложений. Вероятно, подобное соотношение между количеством поданных идей и количеством патентных заявок имеет место и в электромашиностроении.

Один из показателей инновационной активности, который можно надежно измерить, — количество поданных патентных заявок. На основании анализа данных в базе [3] в России заявок по ЭМ (индекс МПК H02K) подавалось: в 2000–2010 гг. — примерно 300–400 в год, в 2011–2016 гг. количество возросло до 500–600 в год, но в последние годы снова снизилось до 300–400 в год. Подавляющее большинство заявок (примем, что приблизительно 80%) подано резидентами РФ, т.е. их количество косвенно отражает уровень инновационной активности в стране. Итак, очень грубо можно оценить количество инновационных предложений, относящихся к ЭМ, поданных в России, тысячами или даже десятками тысяч в год, количество инноваций — десятками или даже сотнями в год, а количество

наиболее ценных инноваций, защищенных патентами, — около 10–20 ежегодно.

Задача данной работы — повысить инновационную активность специалистов и качество предлагаемых решений. Ценность инноваций на уровне изобретений очевидна, поэтому задача увеличения их количества более чем актуальна. Одна из популярных методологий для поиска новых решений — Теория Решения Изобретательских Задач (ТРИЗ), созданная Г.С. Альтшулером [4, 5]. Цель данной статьи — продемонстрировать возможности ТРИЗ в области электромеханики, показать сопутствующие сложности и пути их преодоления. Задача не тривиальна по ряду причин, приведенных ниже.

По определению, приведенному в [2], ТРИЗ — эмпирическая, конструктивная, качественная, универсальная методология генерации эффективных идей и разрешения проблем на основе моделей противоречий и методов их разрешения, экстрагированных из известных примеров эффективных решений. Можно дать дополнительные уточнения: ТРИЗ является *конструктивной* методологией, поскольку содержит практически воспроизводимые модели и методы, позволяющие изобретать новые эффективные решения и обучать процессу, моделям и методам создания эффективных идей; ТРИЗ является *качественной* методологией, поскольку ее модели и методы имеют характер рекомендаций, основанных на подобию качественных (в отличие от количественных) свойств моделей для преобразуемых или вновь создаваемых объектов, и не основанных на строгой математической аксиоматике и на математических правилах вывода следствия (решения) из некоторых исходных данных. Итак, ТРИЗ — не математическая количественная теория, а качественная методология. Формальные понятия, концепты теории имеют характер категорий, образов, метафор. Многошаговые процедуры ТРИЗ, применяемые для решения задач, называются алгоритмами.

Электромеханика — раздел электротехники, технической науки, которая изучает применение электрических и магнитных явлений для практического использования. Электромеханика опирается, в первую очередь, на понятия и аппарат физики и математики. В электромеханике, как практически в любом подразделе инженерной науки, используется специализированная терминология. Например, компактность машин описывается (формализируется) такими параметрами, как «удельная мощность», «удельный момент», а эффективность преобразования энергии — КПД. Среди эксплуатационных характеристик — такие параметры, как «уровень акустического шума», «наработка на отказ».

Эти термины и многие другие термины электромеханики не используются в классической ТРИЗ.

Язык электромеханики требует максимальной определенности и точности, в то время как для применения ТРИЗ также важны гибкость, образность и метафоричность. Таким образом, сложность и нетривиальность задачи применения ТРИЗ в области ЭМ состоит в различиях в языке и способе мышления ТРИЗ и электромеханики.

Оперирует ТРИЗ противоречиями: административными, техническими, физическими. Административное противоречие (АП) возникает, когда необходимо что-то сделать, но неизвестно каким способом; АП звучит так: «надо улучшить систему, но я не знаю, как сделать это». Например: «необходимо сохранить высокие значения параметра доступности¹ генератора ВЭУ при увеличении мощности в 10 раз с 1 до 10 МВт, но непонятно как, ведь быстро отремонтировать такой большой генератор в случае выхода из строя непросто» или «желательно измерять вибрации корпуса машины, но соединение датчика вибрации с системой мониторинга сигнальным кабелем — слишком сложно».

Техническое противоречие (ТП) описывается следующим образом: если известными способами улучшить одну часть (или один параметр) технической системы, недопустимо ухудшится другая часть (или другой параметр), т.е. «улучшение одного параметра системы приводит к ухудшению другого параметра». Более строгая формулировка, применяемая в данной работе, следующая: ТП — двухфакторная модель, в которой первый фактор соответствует и содействует главной полезной функции системы («плюс-фактор»), а другой фактор не соответствует или противодействует этой функции («минус-фактор»).

Композиционное противоречие (КП) — это совокупность нескольких ТП, сформулированных для одной задачи. Определение физического противоречия (ФП) будет дано ниже в одном из примеров.

Следует также определить понятия *Факторов* и *Навигаторов*. Факторы — свойства или параметры системы, которые могут улучшаться или ухудшаться при изменениях системы. Навигаторы — указатели приемов решения задач (см. табл. 3). Факторы и Навигаторы связаны «Матрицей соответствия» (табл. 2). Числовые значения в Матрице соответствия приводятся по [6], важно отметить, что в другой литературе по ТРИЗ числа в Матрице и нумерация Навигаторов могут отличаться.

Алгоритм применения метода композиционных противоречий ТРИЗ состоит из восьми шагов (рис. 2):

сформулировать административное противоречие (этот шаг можно пропустить, хотя попытка сформулировать задачу, особенно сформулировать по-разному — очень полезна для более глубокого понимания);

дать несколько альтернативных формулировок ТП;

определить пары Факторов, соответствующих формулировкам шага 2 (На шагах 2–3 формулируются КП);

найти числа, указывающие на Навигаторы по — таблице 2;

выбрать наиболее сильные из найденных Навигаторов;

выписать «Подсказки Навигаторов»;

найти один или несколько вариантов решение задачи;

провести анализ решения с позиций ТРИЗ.

Покажем применение метода на трех примерах.

Пример 1. Рассмотрим две задачи, относящиеся к электрической изоляции, имеющие одно и то же возможное решение:

Задача 1А. Изоляция силовых кабелей (рис. 3) может изнашиваться по причине механических воздействий, что может привести к пробое изоляции и короткому замыканию; при этом, если увеличить толщину изоляции для снижения негативного эффекта механических воздействий, то это ухудшает отвод тепла, образующегося из-за потерь в меди кабеля.

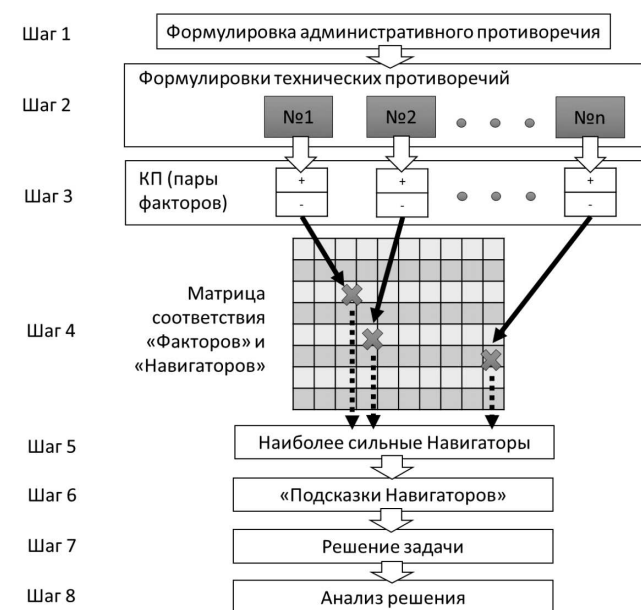


Рис. 2. Алгоритм с использованием композиционных противоречий

Fig. 2. Algorithm using compositional contradictions

¹ Англ. Availability.

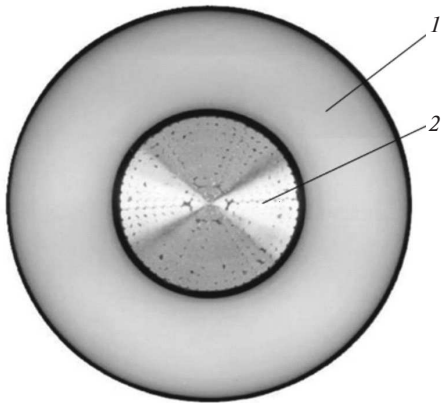


Рис. 3. Сечение кабеля

Fig. 3. Cable cross-section

Задача 1Б. Изоляция обмоток высоковольтных электрических машин часто многослойная и толстая (рис. 4), это приводит к ухудшению отвода тепла, образующегося из-за потерь в меди и, как следствие, к увеличению размеров машины на этапе проектирования для снижения потерь и улучшения теплоотвода.

На рис. 3 показаны основные элементы структуры кабеля напряжением 110–220 кВ, где 1 – изоляция из сшитого полиэтилена; 2 – секционированная медная жила. На рис. 4 представлено сечение пазовой части стержневой обмотки генератора на напряжение до 27 кВ, где 1, 2 – изолированные сплошные и полые элементарные проводники; 3 – поверхности изоляции; 4 – корпусная изоляция. Отметим, что полые прямоугольные шины в примере на рис. 4 охлаждаются прокачиванием хладагента через них, т.е. толщина наружной изоляции при таком типе внутреннего охлаждения решающе-

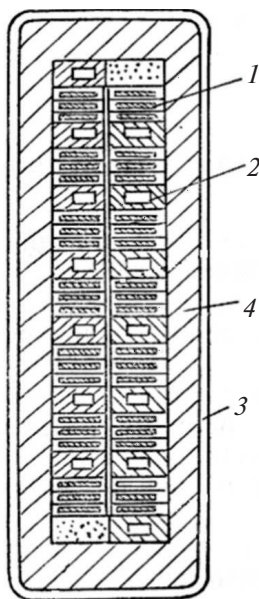


Рис. 4. Сечение обмотки ЭМ

Fig. 4. Section of EM winding

го значения не имеет, в то время как для конструкций обмоток без прокачивания хладагента именно толщина изоляции будет определять тепловое состояние обмотки.

В соответствии с алгоритмом на рис. 2 приведем формулировку задачи в виде административного противоречия (АП) (шаг 1):

Задача 1А; АП: требуется, чтобы кабель служил дольше, при этом потери в нем были ниже.

Задача 1Б; АП: требуется, чтобы обмотка ЭМ служила дольше, при этом потери в ней были ниже.

На следующих шагах (2, 3 и 4) приведем формулировки задачи в виде технических противоречий, а также выберем Факторы и Навигаторы. Пройдем шаги 2–4 столько раз, сколько будет формулировок.

Формулировка №1 (шаг 2): требуется, чтобы кабель (или обмотка), который подвергается механическим (электрическим) воздействиям, служил долго, но при этом в процессе работы не получается вовремя определять его износ и появляющиеся дефекты, которые могут привести к пробою.

Шаг 3 – выбор пар Факторов:

Фактор, соответствующий и содействующий главной полезной функции системы («плюс-фактор»): время службы кабеля (или обмотки);

Фактор, не соответствующий или противодействующий этой функции («минус-фактор»): невозможность проконтролировать путем измерений или как-либо еще состояние изоляции кабеля (или обмотки).

Шаг 4 – выбор Навигаторов по табл. 1:

Наиболее подходящие Факторы ТРИЗ		Соответствующие Навигаторы (табл. 2)
Плюс-фактор	24. Время действия неподвижного объекта	29 (Самообслуживание), 15 (Отброс и регенерация частей), 20 (Универсальность), 01 (Изменение агрегатного состояния)
Минус-фактор	08. Сложность контроля и измерения	

Дополнительно дадим трактовки Факторов ТРИЗ для применения в электромеханике, которые могут добавляться в «словарь ТРИЗ-Электромеханика»:

трактовки Фактора 24 (Время действия неподвижного объекта) в контексте ЭМ: время службы, бесперебойной работы части/элемента/компонента ЭМ;

трактовки Фактора 08 (Сложность контроля и измерения) в контексте ЭМ: сложность детектирования дефектов, в том числе механических повреждений, изоляции.

Проделаем аналогичные операции (шаги 2–4) для еще двух формулировок ТП:

Формулировка №2: можно попытаться повысить надежность изоляции, увеличивая ее толщину, но при этом ухудшается охлаждение, возрастают температура в меди и электрические потери;

«плюс-фактор»: надежность изоляции кабеля (или обмотки);

«минус-фактор»: дополнительные потери энергии в кабеле (или обмотке);

Наиболее подходящие Факторы ТРИЗ		Соответствующие Навигаторы (табл. 2)
Плюс-фактор	4. Надежность	02 (Предварительное действие), 28 (Подложенная подушка), 01 (Изменение агрегатного состояния)
Минус-фактор	39. Потери энергии	

трактовки Фактора 4 (Надежность) в контексте ЭМ: надежность работы части/элемента/компонента ЭМ.

трактовки Фактора 39 (Потери энергии) в контексте ЭМ: потери (электрические и пр.) в элементах машины.

Формулировка №3: можно увеличить прочность изоляции, увеличивая ее толщину, но при этом ухудшается охлаждение, возрастают температура в меди и электрические потери;

«плюс-фактор»: электрическая и механическая прочность изоляции кабеля (или обмотки);

«минус-фактор»: дополнительные затраты энергии на потери в кабеле (или обмотке);

Наиболее подходящие Факторы ТРИЗ		Соответствующие Навигаторы (табл. 2)
Плюс-фактор	28. Прочность	01 (Изменение агрегатное состояния)
Минус-фактор	38. Затраты энергии неподвижным объектом	

трактовки Фактора 28 (Прочность) в контексте ЭМ: прочность изоляции;

трактовки фактора 38 (Затраты энергии неподвижным объектом) в контексте ЭМ: снижение КПД, увеличение потерь (электрических и пр.) в элементах машины;

Итак, в итоге трех альтернативных формулировок мы получаем композиционное противоречие: $\{(+24/-08); (+04/-39); (+28/-38)\}$.

Шаг 5. Выберем наиболее сильные Навигаторы. Принцип выбора: либо количество появлений Навигатора в различных формулировках, либо порядок в ячейке из табл. 2. В нашем случае получаем: 01 (три появления), 02, 29, 15, 28.

Шаг 6. Выпишем «Подсказки Навигаторов» таким образом, чтобы получалась как бы рассказанная история о возможном решении:

«29. Самообслуживание» – изоляция сама предотвращает пробой или ремонтирует дефекты;

«28. Заранее подложенная подушка» – в изоляции есть что-то такое, что срабатывает при эскалации проблемы и предотвращает пробой;

«01. Изменение агрегатного состояния» – в изоляции есть элемент (возможно, являющийся «заранее подложенной подушкой»), изменяющий свое агрегатное состояние при пробое;

«02. Предварительное действие» – следует разместить эту «подушку» заранее;

«15. Отброс и регенерация частей» – происходит регенерация поврежденных частей.

Далее требуются только полет мысли, интуиция, озарение.

Шаг 7. Решение.

Основная идея решения состоит в том, чтобы начинать «самолечение» изоляции на стадии развития электрического пробоя или при механическом повреждении. Решение проиллюстрировано на рис. 5. В предпробойном состоянии в полимерной матрице изоляции появляются микроканалы (3), разрастание которых из микропустот (2) в направлении электрического поля (1) в большинстве случаев приводит к быстрому электрическому пробую.

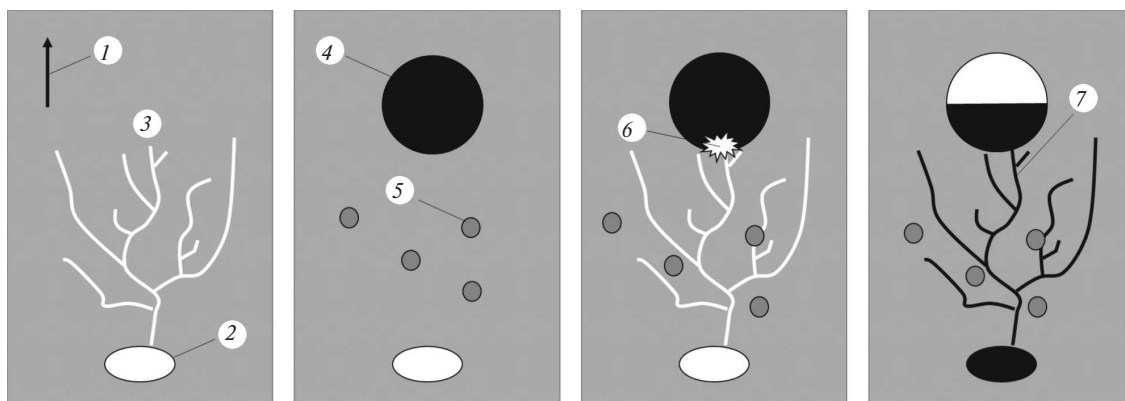


Рис. 5. Решение

Fig. 5. Solution

В предложенном решении в матрицу предварительно внедряются микрокапсулы с заживляющим агентом (4), находящимся в жидком состоянии, и микрокапсулы с катализатором (5), при контакте с которым заживляющий агент переходит в твердое состояние. Предполагается, что тепла и механических сил, действующих на кончиках разрастающихся каналов, будет достаточно, чтобы расколоть капсулу (6) с заживляющим агентом, оказывающуюся на пути канала, и высвободить агент, который втекает в каналы и заполняет их. Внутри каналов при контакте с катализатором заживляющий агент начинает затвердевать, предотвращая разрастание каналов (7).

Реализация решения потребует исследований в области химии полимерных материалов. Существует, в частности, патентная заявка Siemens [7], описывающая применение подобного решения в изоляции ЭМ.

Шаг 8. Анализ решения с позиций ТРИЗ. На данном шаге даются ответы на ряд вопросов, помогающих понять, каким образом было получено решение, в также его адекватность и качество.

Важный вопрос анализа решения в ТРИЗ: какое Физическое Противоречие (ФП) устранено решением задачи? Дадим определение ФП: это совокупность противоположно направленных и взаимно исключающих системных требований к одному и тому же свойству системы. Можно сформулировать ФП так: для улучшения системы какая-то её часть должна находиться в разных физических состояниях одновременно, что невозможно. В нашей задаче ФП следующее: «изоляция должна быть толстой и тонкой одновременно». Именно это противоречие устранено в найденном решении.

Использованная фундаментальная трансформация (принцип)²: разделение во времени и веществе.

Использованные стандарты ТРИЗ: Стандарт «Добавки»: введение в малых дозах особо активной добавки, введение вещества в химическом состоянии, из которого оно выделяется в нужное время.

Использованные эффекты: химические (реакция полимеризации, катализ), физические (электрические разряды, фазовые переходы, нагрев, ударные волны).

Использованные ресурсы: вещественные.

Отметим, что существуют и другие решения для предотвращения механического износа изоляции кабелей, предназначенных для эксплуатации в тяжелых условиях, например применение бронированных кабелей. Поэтому решение, к которому мы пришли с помощью данного алгоритма ТРИЗ, не является единственно возможным.

Пример 2. Задача о расширении диапазонов рабочих моментов и частот вращения. В гибридном или полностью электрическом электромобиле требуется работа системы электропривода в очень широком диапазоне частот вращения, при этом на низких частотах вращения необходим большой момент. Синхронная машина с постоянными магнитами (СМПМ) рассматривается как перспективный вариант из-за компактности, высокого КПД и относительно малых потерь в роторе. Однако СМПМ на высоких частотах вращения генерируют высокое значение ЭДС, что требует применения стратегии управления с ослаблением поля (field weakening). Электродвижущая сила пропорциональна числу витков обмотки и частоте вращения, поэтому для работы на высоких частотах вращения желательно проектировать обмотку с малым числом витков, соединенных последовательно. Для создания большого момента, напротив, желательно большое число витков обмотки, соединенных последовательно. Таким образом, существует противоречие по оптимальному числу витков обмотки машины для различных режимов работы. Получается либо машина для высоких частот вращения (характеристика 1 на рис. 5), либо для высоких значений моментов (характеристика 2 на рис. 6).

Можно решить проблему, используя редуктор, который можно было бы подключать, когда требуются высокий момент и низкая частота вращения. При этом СМПМ можно было бы спроектировать с малым числом последовательно соединенных витков обмотки. Редуктор, однако, увеличивает массу и усложняет систему. Еще одним возможным решением могла бы быть машина с малым числом витков, но с увеличенными размерами проводников и сердечников, т.е. более тяжелая и дорогая.

Пройдем те же шаги, что и в **примере 1**. Сформулируем задачу в виде административного проти-

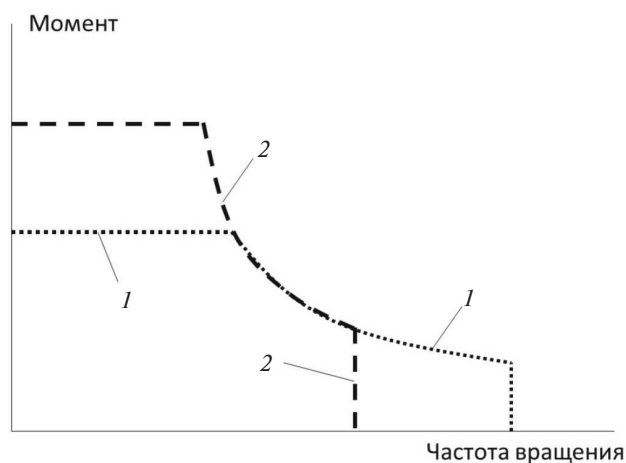


Рис. 6. Моментные характеристики

Fig. 6. Moment characteristics

² См. эти и другие термины ТРИЗ, приведенные ниже в [6] или в другой литературе по ТРИЗ.

воречия: требуется, чтобы система работала в широком диапазоне и при этом имела небольшой вес. На следующих шагах приведем формулировки технических противоречий с выбором Факторов и определением Навигаторов.

Формулировка № 1: для увеличения мощности на низких и высоких частотах вращения приходится проектировать машину большего размера и веса либо добавлять редуктор;

«плюс-фактор»: повышение мощности;

«минус-фактор»: увеличение размера и веса;

Наиболее подходящие Факторы ТРИЗ		Соответствующие Навигаторы (табл. 2)
Плюс-фактор	36. Мощность	8 (Периодическое действие), 10 (Копирование), 19 (Переход в другое измерение), 13 (Дешевая долговечность вместо дорогой долговечности)
Минус-фактор	33. Вес неподвижного объекта	

трактовки Фактора 36 (Мощность) в контексте ЭМ: так же, как в ТРИЗ;

трактовки Фактора 33 (Вес неподвижного объекта) в контексте ЭМ: вес машины.

Формулировка №2: для возможности работы на высоких частотах вращения приходится делать машину с малым числом витков, но тогда не удается развить требуемый момент на низких частотах вращения;

«плюс-фактор»: расширить диапазон рабочих частот вращения;

«минус-фактор»: момент;

Наиболее подходящие Факторы ТРИЗ		Соответствующие Навигаторы (табл. 2)
Плюс-фактор	2. Универсальность, адаптация	7 (Динамизация), 19 (Переход в другое измерение), 40 (Непрерывность полезного действия)
Минус-фактор	30. Сила	

трактовки Фактора 2 (Универсальность, адаптация) в контексте ЭМ: работа в очень широком диапазоне частот вращения и/или момента;

трактовки Фактора 30 (Сила) в контексте ЭМ: момент на валу машины.

Формулировка № 3: для возможности работы на высоких частотах вращения приходится делать машину с малым числом витков, но тогда не удается развить требуемый момент на низких частотах вращения и необходимо использовать редуктор;

«плюс-фактор»: большая мощность во всех диапазонах;

«минус-фактор»: увеличивается сложность системы;

Наиболее подходящие Факторы ТРИЗ		Соответствующие Навигаторы (табл. 2)
Плюс-фактор	36. Мощность	40 (Непрерывность полезного действия), 8 (Периодическое действие), 25 (Использование гибких оболочек и тонких пленок), 15 (Отброс и регенерация частей)
Минус-фактор	7. Сложность устройства	

трактовки Фактора 36 (Мощность) в контексте ЭМ: так же как в ТРИЗ;

трактовки Фактора 7 (Сложность устройства) в контексте ЭМ: добавление дополнительных элементов, например редуктора/мультипликатора.

Формулировка № 4: для возможности работы на высоких частотах вращения приходится делать машину с малым числом витков, но тогда не удается развить требуемый момент на низких частотах вращения и необходимо использовать редуктор;

«плюс-фактор»: работа во всех диапазонах;

«минус-фактор»: вес

Наиболее подходящие Факторы ТРИЗ		Соответствующие Навигаторы (табл. 2)
Плюс-фактор	24. Время действия неподвижного объекта	20 (Универсальность), 13 (Дешевая долговечность вместо дорогой долговечности), 8 (Периодическое действие), 16
Минус-фактор	33. Вес неподвижного объекта	

трактовки Фактора 24 (Время действия неподвижного объекта) в контексте ЭМ: непрерывная длительная работа в разных режимах;

трактовки Фактора 33 (Вес неподвижного объекта) в контексте ЭМ: вес всей машины или ее статора.

Формулировка № 5: для возможности работы на высоких частотах вращения приходится делать машину с малым числом витков, но тогда не удается развить требуемый момент на низких частотах вращения и необходимо использовать редуктор или увеличивать размер и вес машины (ее статора и ротора);

«плюс-фактор»: работа во всех диапазонах;

«минус-фактор»: вес ротора и редуктора;

Наиболее подходящие Факторы ТРИЗ		Соответствующие Навигаторы (табл. 2)
Плюс-фактор	2. Универсальность, адаптация	3 (Дробление), 20 (Универсальность), 7 (Динамизация), 32 (Антивес)
Минус-фактор	32. Вес подвижного объекта	

трактовки Фактора 2 (Универсальность, адаптация) в контексте ЭМ: работа в очень широком диапазоне частот вращения и/или моментов;

трактовки Фактора 32 (Вес подвижного объекта) в контексте ЭМ: вес ротора машины или других элементов, присоединенных к ротору (вала, редуктора).

Формулировка № 6: для покрытия высоких частот вращения приходится делать машину с малым числом витков, но тогда не удастся развить требуемый момент на низких частотах вращения и необходимо использовать редуктор или увеличивать размер и вес машины (ее статора и ротора);

«плюс-фактор»: работа во всех диапазонах без добавления редуктора;

«минус-фактор»: вес машины (ее статора и ротора);

Наиболее подходящие Факторы ТРИЗ		Соответствующие Навигаторы (табл. 2)
Плюс-фактор	29. Устойчивость состава объекта	33 (Проскок), 1 (Изменение агрегатного состояния), 5 (Вынесение), 23 (Применение инертной среды)
Минус-фактор	32. Вес подвижного объекта	

трактовки Фактора 29 (Устойчивость состава объекта) в контексте ЭМ: не требуется добавление дополнительных элементов, например редуктора/мультипликатора;

трактовки Фактора 32 (Вес подвижного объекта) в контексте ЭМ: вес ротора машины или других элементов, присоединенных к ротору.

Выберем наиболее сильные Навигаторы: 8 (3 появления), 7, 40, 20, 19 (по 2 появления), 3, 33 (на 1-м месте в ячейках табл. 2).

Выпишем «Подсказки Навигаторов»:

«8. Периодическое действие» – перейти от непрерывного действия к периодическому;

«20. Универсальность» – объект выполняет несколько разных функций;

«7. Динамизация» – характеристика объекта должна меняться так, чтобы быть оптимальной на каждом шаге;

«40. Непрерывность полезного действия» – вести работу непрерывно;

«19. Переход в другое измерение»;

«3. Дробление» – разделить объект на независимые части;

«33. Проскок» – вести процесс или его отдельные этапы на большой скорости.

Решение. Разделить обмотку на секции [«Дробление»], вывести концы секций [«Переход в другое измерение»] таким образом, чтобы можно было менять схему включения секций между двумя состояниями [«Динамизация»]: (1) последовательное соединение секций/витков (для работы на низких

частотах вращения), (2) параллельное соединение секций/витков (для работы на высоких частотах вращения) [«Универсальность»]. Работать на той схеме соединения, которая оптимальна для данной частоты вращения [«Периодическое действие»]. Переключения между состояниями проводить, не останавливая машину [«Проскок»].

Система QMET-II компании *Yaskawa* и их же патент [8] на похожее решение (для станков). Проведем анализ решения аналогично *примеру 1*:

Какое физическое противоречие устранено: много витков соединены последовательно и мало витков соединены последовательно.

Использованная фундаментальная трансформация (принцип): разделение во времени.

Использованные стандарты: управляемость (использовать возможность превратить часть объекта в управляемую систему), развертывание (использовать объединение объекта в другой более сложной би- или полисистеме).

Использованные эффекты: не использовались.

Использованные ресурсы: структурные, временные.

Отметим, что также одним из вариантов является переключение соединения фаз из треугольника в звезду непосредственно в процессе разгона.

Пример 3. Задача об охлаждении ротора АД электромобиля. При применении асинхронного двигателя (АД) в электромобиле (например, в модели Tesla S) ротор АД может перегреваться из-за высоких потерь в беличьей клетке при перегрузках по моменту. Около 20% всех потерь выделяется в роторе. От вращающегося ротора тепло отвести сложно. Ротор АД является своеобразным «теплоаккумулятором» – перегрузив его, сделав, например, динамичный разгон автомобиля, требуется обеспечить остывание, на некоторое время ограничив перегрузки.

Факторами, влияющими на потери, являются, в частности, поперечное сечение проводников/стержней беличьей клетки и температура ротора. Если увеличить размеры ротора (его радиус и площадь поверхности), то увеличится сечение проводников и снизятся их сопротивление и потери в клетке ротора, соответственно уменьшится температура³. Получается, что для снижения температуры приходится увеличивать размеры ротора и, соответственно, его вес. Это не оптимально для габаритных размеров и веса электрической машины.

Потери в роторе можно несколько снизить, если организовать охлаждение поверхности ротора

³ В некоторых случаях увеличение размера ротора может привести к увеличению его магнитных потерь.

потоком охлаждающего агента (некой субстанции, вещества, например газа). Увеличение количества охлаждающего вещества снизит температуру материала беличьей клетки, уменьшив сопротивление и, соответственно, потери. Впрочем расчеты показывают, что перемешивания воздуха внутри пространства двигателя недостаточно. Кроме того, алюминиевая обмотка ротора находится в глубоких пазах, поэтому температура в глубине паза при сильной и кратковременной по времени перегрузке превысит критическое значение, несмотря на интенсивность теплосъёма с поверхности.

Важно отметить, что изменения температуры в широком диапазоне и просто высокая температура могут приводить к снижению срока службы и поломкам ротора, т.е. к снижению надежности машины.

Формулировка задачи в виде административного противоречия может быть следующей: *«требуется, чтобы ротор был компактен и при этом не перегревался».*

Приведем формулировки технических противоречий.

Формулировка № 1: если увеличить размеры ротора и его вес, то снизятся токовая нагрузка и потери в клетке ротора, соответственно снизится температура. Получается, что для снижения температуры приходится увеличивать вес ротора;

«плюс-фактор»: снижение температуры;

«минус-фактор»: увеличение веса ротора;

Наиболее подходящие Факторы ТРИЗ		Соответствующие Навигаторы (табл. 2)
Плюс-фактор	34. Температура	26, 21, 20, 30
Минус-фактор	32. Вес подвижного объекта	

трактовки Фактора 34 (Температура) в контексте ЭМ: температура ротора, беличьей клетки;

трактовки Фактора 32 (Вес подвижного объекта) в контексте ЭМ: вес ротора.

Формулировка № 2: для снижения тепловой нагрузки и увеличения надежности приходится увеличивать площадь поверхности ротора;

«плюс-фактор»: снижения тепловой нагрузки и увеличения надежности;

«минус-фактор»: увеличивать площадь ротора;

Наиболее подходящие Факторы ТРИЗ		Соответствующие Навигаторы (табл. 2)
Плюс-фактор	04. Надежность	19, 2, 22, 16
Минус-фактор	17. Площадь подвижного объекта	

трактовки Фактора 04 (Надежность) в контексте ЭМ: надежность;

трактовки Фактора 17 (Площадь подвижного объекта) в контексте ЭМ: площадь поверхности ротора.

Формулировка № 3: в роторе АД образуются потери, их можно снизить, если организовать охлаждение поверхности ротора потоком охлаждающего агента (некой субстанции, вещества, например газа). Увеличение количества охлаждающего вещества снизит температуру материала беличьей клетки, уменьшив его сопротивление и потери;

«плюс-фактор»: снижение потерь;

«минус-фактор»: увеличение количества охлаждающего вещества;

Наиболее подходящие Факторы ТРИЗ		Соответствующие Навигаторы (табл. 2)
Плюс-фактор	39. Потери энергии	34, 6, 29
Минус-фактор	26. Количество вещества	

трактовки Фактора 39 (Потери энергии) в контексте ЭМ: потери;

трактовки Фактора 26 (Количество вещества) в контексте ЭМ: количество/расход охлаждающей субстанции.

Формулировка № 4: площадь поверхности ротора можно уменьшить, но при этом увеличатся токовая нагрузка, тепловая нагрузка и уменьшается надежность;

«плюс-фактор»: уменьшение площади поверхности ротора;

«минус-фактор»: уменьшается надежность;

Наиболее подходящие Факторы ТРИЗ		Соответствующие Навигаторы (табл. 2)
Плюс-фактор	17. Площадь подвижного объекта	14, 39
Минус-фактор	04. Надежность	

трактовки Фактора 17 (Площадь подвижного объекта) в контексте ЭМ: площадь поверхности ротора;

трактовки Фактора 04 (Надежность) в контексте ЭМ: надежность.

Выпишем «Подсказки Навигаторов»:

«34. Матрешка» – один объект размещен внутри другого, один объект проходит сквозь полость в другом объекте;

«19. Переход в другое измерение» – «многоэтажная» компоновка вместо «одноэтажной», использовать обратную сторону данной площади;

«14. Использование пневмо- и гидроконструкции» – вместо твердых частей объекта использовать газообразные или жидкие;

«26. Применение фазовых переходов» – использовать явления, возникающие при фазовых переходах, например поглощение тепла.

Решение.

Вал ротора делается полым, в полости располагаются элементы системы охлаждения, например тепловая трубка или концентрические трубки, обеспечивающие подвод и отведение охлаждающего агента. Таким образом тепло снимается не только с внешней, но и с внутренней поверхности ротора. При использовании тепловой трубки используется фазовый переход (испарение), сопровождающийся поглощением тепла.

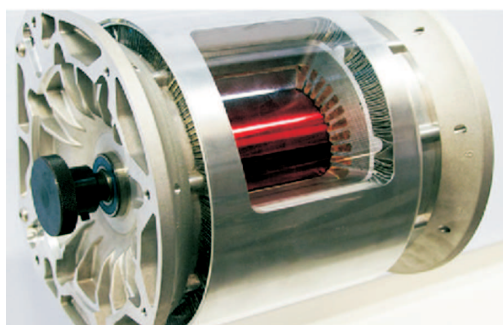
Подобным образом проблему с отводом тепла из ротора решили в компании Tesla в своей Model S (рис. 7,а). В патенте [9], полученном Tesla (рис. 7,б), описан вариант решения с тепловой трубкой. Следует отметить, что решение в патенте не обязательно является решением, реализованным в конкретном продукте. В частности, недостатком решения в [9] является увеличенная осевая длина за счёт развитого теплообменника тепловой трубы.

Проведем анализ решения аналогично примерам 1 и 2.

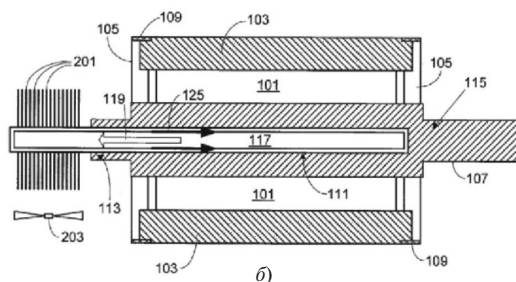
Какое физическое противоречие устранено: «ротор должен быть большим и маленьким».

Использованная фундаментальная трансформация (принцип): разделение в пространстве и веществе.

Использованные стандарты: разворачивание и, возможно, свертывание (реализация функций системы на микроуровне – уровне вещества и полей);



а)



б)

Рис. 7. Асинхронный двигатель электрокара Tesla Model S (а); иллюстрация из патента [9] (б)

Fig. 7. Induction motor of Tesla Model S electric vehicle (а); illustration from the patent [9] (б)

Использованные эффекты: конвекция и/или фазовый переход;

Использованные ресурсы: пространство внутри ротора, вращение ротора, наличие системы охлаждения автомобиля (тосол, радиатор, шланги).

Отметим, что существуют и другие решения задачи. Например, одним из возможных способов компенсации увеличенных тепловыделений в роторе при перегрузке является временная интенсификация принудительного охлаждения.

На основе трех приведенных примеров можно попытаться составить фрагмент словаря соответствия терминов ТРИЗ в примеры из области электромеханики (табл. 1). Важно отметить, что словарь может практически неограниченно дополняться различными трактовками из области ЭМ и систем, сосуществующих с ЭМ. Словарь, созданный в будущем на основе анализа многочисленных изобретений в области ЭМ, сможет стать элементом синтеза электромеханики и ТРИЗ.

Таблица 1

Элементы словаря ТРИЗ-Электромеханика
Elements of the TRIZ-Electromechanics Dictionary

Некоторые термины ТРИЗ	Примеры трактовок понятий и параметров из ЭМ
Время действия неподвижного объекта	время службы, бесперебойной работы части/элемента/компонента ЭМ непрерывная длительная работа в разных режимах
Сложность контроля и измерения	сложность детектирования дефектов, в т.ч. механических повреждений, изоляции
Надежность	надежность работы части/элемента/компонента ЭМ
Потери энергии	потери (электрические и пр.) в элементах машины
Прочность	прочность изоляции
Затраты энергии неподвижным объектом	снижение КПД, увеличение потерь (электрические и пр.) в элементах машины
Вес неподвижного объекта	вес машины
Универсальность, адаптация	работа в очень широком диапазоне частот вращения и/или моментов
Сила	момент на валу машины
Сложность устройства	добавление дополнительных элементов, например редуктора/мультипликатора
Вес подвижного объекта	вес ротора машины или других элементов, присоединенных к ротору (вала, редуктора)
Устойчивость состава объекта	не требуется добавление дополнительных элементов, например редуктора/мультипликатора
Количество вещества	количество/расход охлаждающей субстанции
Температура	температура ротора, беличьей клетки
Площадь подвижного объекта	площадь поверхности ротора

Таблица 2

Матрица соответствия Факторов и Навигаторов (часть 1)
Matrix of correspondence of Factors and Navigators (part 1)

Что ухудшается при изменении →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Производительность	Адаптация, универсальность	Степень автоматизации	Надежность	Точность изготовления	Точность измерения	Сложность устройства	Сложность контроля и измерения	Удобство изготовления	Удобство эксплуатации	Удобство ремонта	Потери информации	Вредные факторы, действующие на объект	Вредные факторы самого объекта	Длина подвижного объекта	Длина неподвижного объекта	Площадь подвижного объекта	Площадь неподвижного объекта	Объем подвижного объекта	Объем неподвижного объекта
Что нужно изменить по условиям задачи:																				
01. Производительность	03, 01, 20, 27	35, 37, 01, 10	03, 01, 02, 30	09, 03, 06, 02	03, 02, 15, 04	37, 19, 04, 18	01, 06, 13, 05	01, 04, 05, 18	03, 04, 34, 38	03, 09, 02, 29	11, 07, 36	21, 01, 11, 08	01, 12, 06, 23	06, 24, 04, 30	25, 34, 22, 10	02, 10, 15, 31	02, 01, 19, 34	05, 20, 15, 02	01, 27, 02, 05	
02. Адаптация, универсальность	01, 04, 20, 27	13, 15, 01, 11	01, 11, 32, 18	-	01, 35, 03, 02	07, 14, 27, 04	03, 0	03, 11, 03, 16	07, 15, 34, 24	03, 16, 34, 24	-	01, 28, 09, 31	-	01, 03, 14, 05	03, 01, 16	01, 25, 14, 05	07, 16, 14, 05	07, 01, 16, 12		
03. Степень автоматизации	35, 37, 01, 10	13, 24, 03, 01	28, 13, 09	04, 10, 06, 36	04, 10, 02, 15	07, 18, 29	15, 13, 02	03, 10, 11	03, 37, 11	03, 01, 11	01, 38	05, 38	05,	22, 11, 04, 19	36,	19, 22, -	-	01, 11, 16	10, 11, 18, 31	
04. Надежность	03, 01, 14, 30	11, 01, 32, 18	28, 11, 13	28, 09, 03	09, 12, 28, 36	11, 01, 03	13, 17, 04	-	13, 19, 17	03, 28,	02, 04	13, 01, 05, 17	01, 05, 17, 10	07, 39, 22, 24	07, 14, 04, 28	19, 02, 22, 16	09, 01, 17, 24	12, 02, 22, 18	05, 01, 18	
05. Точность изготовления	02, 06, 09, 23	-	10, 04, 06, 36	28, 09, 03	-	10, 05, 06	-	-	03, 09, 01, 36	29, 02	-	-	10, 04, 02, 26	24, 19, 15, 10	02, 04, 14, 27	05, 09, 04, 02	14, 09, 06, 05	09, 04, 05	29, 02, 01	
06. Точность измерения	02, 15, 04, 09	11, 01, 05	04, 05, 02, 15	35, 28, 03, 36	-	13, 10, 02, 15	10, 18, 09, 04	20, 01, 29, 06	03, 11, 19, 15	03, 09, 11, 28	-	-	04, 18, 23, 02	12, 38, 04, 10	04, 10, 12, 16	09, 04, 09, 12	10, 04, 09, 12	09, 11, 11, 31		
07. Сложность устройства	37, 19, 04, 04	14, 07, 04, 27	07, 03, 11, 01	11, 01, 09	10, 18, 05, 10	05, 10, 07, 02	13, 10, 27, 04	13, 10, 28, 03	03, 11, 10, 18	13, 39, 03, 11	03, 11	-	21, 08, 14, 17	08, 03, 10, 18	03, 08, 10, 18	10,	22, 03, 11, 16	20, 26, 15, 20	10, 03, 16	
08. Сложность контроля и измерения	01, 06	03, 07	15, 33	13, 17, 04, 32	-	10, 18, 09, 04	07, 02, 27, 04	35, 04, 28, 14	05, 35, 28, 14	37, 10	01, 38, 13, 21	21, 08, 14, 04	05, 33, 16, 19, 10, 18	16, 19, 10, 18	10,	05, 11, 06, 19	05, 23, 25, 16	14, 03, 24, 16	05, 06, 10, 31	
09. Удобство изготовления	01, 03, 02, 07	05, 11, 03	32, 04, 13, 38	39, 04, 13, 38	-	03, 01, 37, 06	13, 10, 20, 04, 28, 03	20, 04, 28, 03	05, 35, 11, 16	01, 03, 28, 39	09, 18, 06, 16	18, 05	-	03, 14, 11, 19	07, 19, 13	11, 03, 10, 37	03, 14, 10, 37	03, 17, 03, 16		
10. Удобство эксплуатации	07, 03, 04	07, 15, 03, 16	03, 15, 37, 12	19, 13, 32, 17	03, 09, 01, 36	29, 11, 05, 15	09, 29, 37, 19	-	05, 35, 37	37, 10, 03, 09	24, 02, 13, 21	05, 29, 04, 23	-	03, 19, 11, 37	03, 24, 11, 16	03, 19, 07, 23	06, 16, 07, 23	03, 19, 01, 07	24, 06, 23, 31	
11. Удобство ремонта	03, 09, 02	34, 03, 24, 16	15, 01, 34, 11	28, 02, 03, 16	29, 02	02, 05, 11, 28	01, 03, 11, 28	-	03, 01, 28, 02	03, 37, 10, 07	-	01, 02, 05, 16	-	03, 04, 02, 29	12, 06, 31, 09	07, 11, 01, 09	16, 29, 01, 28	29, 05, 01, 28		
12. Потери информации	11, 36, 07	-	01,	02, 04, 36	-	-	01, 38	09, 0	13, 21	-	-	21, 02, 03	02, 33, 21	03, 10	10, 0	25, 10	25, 16	-	5, 21	
13. Вредные факторы, действующие на объект	21, 01, 11, 18	01, 28, 21, 31	38, 12, 15	13, 18, 05, 17	10, 04, 02, 06	04, 38, 36, 10	21, 08, 14, 17	21, 08, 14, 17	18, 01, 05	05, 29, 04, 23	01, 02, 05	21, 02, 05	-	19, 03, 23, 24	03, 06	21, 03, 38, 04	13, 05, 23, 01	21, 36, 27, 01	15, 23, 08, 13	
14. Вредные факторы самого объекта	21, 01, 06, 23	-	05,	18, 05, 17, 23	24, 19, 15, 10	12, 38, 10	08, 03, 31	05, 33, 13, 03	-	-	-	02, 33, 14	-	19, 07, 16, 21	-	19, 05, 06, 23	21, 03, 17	19, 05, 17	25, 06, 01, 24	
15. Длина подвижного объекта	22, 24, 04, 14	22, 07, 03, 16	19, 18, 10, 16	02, 22, 14, 17	02, 04, 14, 27	04, 09, 10, 18	03, 08, 01, 13	01, 03, 19	03, 14, 10, 18	07, 14, 01, 24	03, 04, 02	03, 18	03, 07, 19, 18	19, 07	-	07, 19, 24	-	34, 19, 04, 01		
16. Длина неподвижного объекта	25, 22, 04, 10	03, 01	-	07, 14, 02	05, 09, 02	09, 04, 12	03, 10	10,	07, 19, 13	05, 29, 12	18, 10	03, 06	-	-	-	-	19, 34, 02, 17	25, 34, 07	01, 32, 05, 22	
17. Площадь подвижного объекта	02, 10, 15, 05	07, 25, 04, 36	22, 25, 04, 36	14, 39, 05, 09	10, 04, 09, 12	22, 03, 11	05, 26, 10, 18	11, 03, 10, 18	07, 19, 11, 16	07, 11, 02, 03	25, 10	31, 38, 04, 03	19, 05, 06, 23	22, 07, 06, 24	-	-	-	34, 22, 19, 24		
18. Площадь неподвижного объекта	02, 07, 19, 34	07, 16, 36	09, 01, 17, 24	05, 14, 06, 26	10, 04, 09, 12	03, 06, 26	05, 01, 25, 06	17, 16	16, 24	16,	25, 16	13, 05, 23, 01	21, 03, 17	10, 34, 39, 23	-	-	-	-		
19. Объем подвижного объекта	02, 20, 05, 15	07, 14, 16, 18	01, 15, 16, 18	22, 03, 17, 28	29, 04, 05, 16	29, 10, 04	10, 03, 14, 10	14, 03, 24	17, 25, 37	02,	05, 21	21, 33, 13, 01	19, 05, 06, 23	03, 34, 01, 04	34, 07, 24, 19	03, 34, 24, 31	22, 34, 31	-		
20. Объем неподвижного объекта	01, 27, 02, 05	-	-	05, 01, 16	01, 02, 29	-	03, 31	05, 19, 10	01,	03,	-	15, 23, 08, 13	25, 06, 01, 24	08, 22	01, 32, 05, 22	-	-	-		
21. Форма	19, 10, 15, 02	03, 07, 14	07, 03, 09	02, 17, 16	09, 25, 17	04, 09, 03	16, 14, 03, 23	07, 11, 23	03, 09, 19, 04	09, 07, 10	05, 11, 03	-	21, 03, 05, 01	01, 03	14, 15, 35, 24	11, 22, 02, 34	35, 15, 24, 02	22, 24, 07, 21	34, 05, 01	
22. Скорость	-	07, 02, 10	02, 06	13, 04, 09, 29	02, 04, 09, 29	04, 09, 03, 18	12, 15, 24, 15	01, 11, 32, 03	09, 04, 11, 37	15, 05, 04, 13	11, 10	03, 04, 01, 36	05, 18, 01, 33	11, 22, 15	11, 22, 15	14, 25, 15	24, 02, 15	34, 14, 15		
23. Время действия подвижного объекта	01, 19, 22, 08	03, 01, 11	20, 02	28, 05, 11	12, 13, 16, 17	12	02, 24, 13, 03	08, 14, 23, 01	13, 03, 23, 13	37, 13	14, 02	02,	21, 07, 38, 04	33, 23, 16, 21	-	12, 19, 08	-	02, 05, 08, 25		
24. Время действия неподвижного объекта	40, 02, 16, 30	05,	03,	15, 13, 20, 17	-	02, 10, 18	-	29, 15, 20, 01	01, 02, 03,	03,	03,	02,	19, 03, 17, 38	21,	-	03, 17, 01	-	-	01, 15, 30	
25. Потери времени	-	01, 04	18, 04, 01, 25	02, 25, 24, 04, 06	18, 10, 04, 06	18, 15, 04, 09	20, 14, 06, 04	06, 04, 12, 11, 09, 12	01, 04, 14, 03, 01, 13	24, 04, 02, 15	09, 03, 02, 15	18, 10, 04, 09	01, 06, 15, 06, 23	01, 21, 17, 23	07, 05, 14	25, 18, 35, 16	10, 24, 19, 24	02, 01, 15, 02	05, 35, 15, 02	
26. Количество вещества	11, 14, 12, 13	07, 12, 14	32, 01, 04, 17	06, 12, 04, 17	38, 25, 04	12, 05, 13, 02	12, 11, 14, 06	12, 13, 14, 03, 01, 13	01, 14, 02, 29	05, 09, 02, 29	18, 04, 01	01, 38, 14, 31	12, 01, 17, 23	14, 22, 01, 06	14, 22, 01, 06	07, 22, 14, 17, 24	05, 06, 17, 24	15, 02, 14	-	
27. Потери вещества	04, 01, 02, 36	07, 02, 05	01, 02, 06	02, 14, 23, 01	01, 02, 18, 31	16, 15, 31, 04	01, 02, 04, 18	01, 06, 02, 11, 38	07, 15, 05, 18	05, 01, 15, 13	-	38, 21, 25, 17	02, 03, 15, 14	02, 04, 02, 23	02, 04, 18	01, 05, 02, 31	02, 06, 23, 31	03, 14, 25, 26	12, 23, 06, 31	
28. Прочность	14, 01, 02, 22	07, 12, 09	07, 0	28, 12, 12, 13	12, 13, 16	05, 11, 04	13, 12, 07, 17	28, 12, 02, 09	09, 17, 04, 05	13, 28, 12	-	06, 01, 27, 03	07, 01, 21, 05	03, 07, 04, 10	07, 22, 04, 10	12, 15, 17, 14	39, 17, 22, 34	02, 07, 22, 34	03, 22, 19, 07	
29. Устойчивость состава объекта	36, 01, 17, 12	01, 25, 15, 05	03, 32, 01	-	06,	11,	05, 01, 21, 10	01, 21, 23, 36	01, 08, 25, 04	09, 01, 05, 01	05, 01, 02, 16	-	01, 18, 06, 25	01, 17, 13, 23	11, 07, 03, 04	27, 0	05, 28, 11	23,	04, 02, 08, 23	15, 04, 01, 17
30. Сила	12, 04, 01, 27	07, 19, 06, 40	05, 01	12, 01, 11, 33	04, 14, 27, 26	01, 02, 36, 18	10, 01, 02, 06	26, 27, 02, 08	07, 27, 06, 03	03, 04, 12, 29	07, 03, 28	-	03, 01, 17, 06	11, 12, 26, 18	19, 08, 39, 26	04, 02	08, 02, 07	03, 06, 26, 27	07, 39, 37, 27	05, 26, 06, 27
31. Напряжение, давление	02, 22, 01, 27	01,	01, 18, 08, 01	02, 11, 08, 01	12, 01, 29	20, 04, 01	08, 03, 05, 26	03, 01, 16	28,	05,	-	21, 05, 27	05, 38, 13, 06	01, 02, 22, 16	01, 03, 22, 16	02, 07, 26, 04	02, 07, 26, 27	20, 01, 02	01, 18	
32. Вес подвижного объекта	01, 12, 18, 27	14, 35, 07, 32	10, 01, 06, 08	12, 28, 03, 13	04, 01, 10, 06	04, 13, 01, 10	10, 25, 26, 15	04, 14, 10, 09	31, 04, 03, 26	01, 12, 05, 18	04, 28	02, 18	21, 33, 06, 13	31, 01, 31, 23	07, 32, 14, 15	-	14, 19, 30, 15	-	14, 05, 17, 04	17, 05, 24, 34
33. Вес неподвижного объекта	03, 04, 07, 01	08, 07, 14	05, 10, 32	02, 04, 32	02, 03, 01, 19	06, 10, 04	03, 02, 19, 07	29, 04, 19, 09	04, 03, 20, 11, 09	05, 13, 03, 23	02, 07, 01	05, 08, 01, 21	01, 21, 03, 23	-	02, 03, 14, 01	-	01, 25, 11, 05	-	35, 01, 22, 05	
34. Температура	07, 04, 05, 29	05, 06, 07, 03, 16	10, 05, 08, 16	08, 01, 12, 02	18	09, 08, 18	05, 19, 16	12, 13, 01, 31	10, 13, 11	10, 13	24, 02, 16	-	21, 38, 01, 05	21, 01, 31, 23	07, 08, 39	07, 08, 39	12, 01, 23, 06	01, 30	15, 23, 17, 06	01, 20, 24
35. Освещенность	05, 29, 16	07, 03, 08	05, 10, 02	-	12, 09, 09	28, 07, 09	20, 09, 11	08, 01, 04	08, 01, 08	04, 10, 11, 16	07, 19, 11, 16	03, 20	07, 08, 09, 23	01, 08, 16	08, 09, 16	-	08, 09, 10	-	05, 11, 02	
36. Мощность	04, 01, 15																			

Таблица 2

Матрица соответствия Факторов и Навигаторов (часть 2)
Correspondence Matrix of Factors and Navigators (part 2)

Что ухудшается при изменении →	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	Форма	Скорость	Время действия подвижного объекта	Время действия неподвижного объекта	Потери времени	Количество вещества	Потери вещества	Прочность	Устойчивость состава объекта	Огн	Напряжение, давление	Вес подвижного объекта	Вес неподвижного объекта	Температура	Свечищенность	Мощность	Затраты энергии подвижным объектом	Затраты энергии неподвижным объектом	Потери энергии
01. Производительность	22, 02, 15, 17	-	01, 02, 05, 06	40, 02, 16, 30	-	01, 30	04, 02, 01, 36	01, 04, 02, 06	01, 12, 21, 23	04, 07, 02, 26	02, 27, 22	01, 10, 18, 27	04, 13, 07, 12	01, 33, 04, 02	10, 19, 08, 03	01, 40, 02, 02	01, 02, 30, 08	03, -	04, 02, 14, 01
02. Адаптация, универсальность	07, 27, 03, 32	01, 02, 22	11, 03, 01	05, 16	01, 04	12, 01, 07	07, 02, 05, 11	01, 12, 09, 20	01, 25, 22	07, 19, 40	01, 16	03, 20, 07, 32	08, 07, 14, 16	13, 05, 12, 01	20, 21, 10, 03	20, 14, 11	08, 01, 14, 11	-	06, 07, 03
03. Степень автоматизации	07, 09, 03, 11	04, 02	20, 39	-	18, 04, 01, 25	01, 11	01, 02, 06, 35	29, 11	06, 03	05, 01	11, 01	04, 10, 06, 01	04, 10, 01, 02	10, 05, 08	32, 09, 13	04, 05, 09, 11	-	-	36, 04
04. Надежность	01, 03, 16, 28	33, 01, 28, 04	05, 01, 20, 17	15, 13, 24	02, 25, 24	33, 04, 17, 12	02, 01, 14, 23	28, 04	-	32, 04, 02, 12	02, 18, 01, 08	12, 32, 02, 17	12, 02, 32, 04	12, 01, 01, 16	28, 09, 10, 31	33, 28, 10, 31	33, 28, 13, 08	26, 36	02, 28, 01
05. Точность изготовления	09, 25, 17	02, 04, 09	12, 13, 17	-	09, 10, 04, 06	09, 25	01, 31, 02, 18	12, 13	25, 06	04, 08, 15, 26	12, 01	04, 09, 11, 06	10, 01, 13, 39	08, 10	12, 09	09, 05	09, 05	-	11, 09, 05
06. Точность измерения	20, 04, 09	04, 11, 09, 18	04, 20, 09	02, 10, 18	04, 09	05, 20, 09	02, 16, 31, 04	04, 20, 09	09, 01, 11	09, 05	20, 04, 09	09, 01, 10, 04	04, 01, 29, 10	20, 08, 04, 18	20, 03, 09	12, 20, 09	12, 20, 09	-	10, 09, 13
07. Сложность устройства	14, 11, 04, 07	15, 02, 04	02, 24, 04, 07	-	20, 14, 13, 02	11, 12, 04, 14	01, 02, 05, 11, 04	05, 21, 19, 08	05, 21, 19, 08	10, 16	08, 03, 01	10, 25, 15, 26	05, 10, 01, 23	05, 19, 11	18, 19, 25, 15	09, 08, 14, 04	13, 05, -	-	02, 01, 11, 05
08. Сложность контроля и измерения	13, 11, 03, 23	12, 24, 16, 01	08, 14, 29, 23	29, 15, 20, 01	06, 04, 09, 39	12, 13, 14, 06	03, 06, 02, 18	13, 12, 07, 04	28, 21, 23, 25	26, 04, 17, 08	01, 26, 27, 09	13, 10, 04, 11	20, 11, 04, 03	12, 13, 01, 16	05, 18, 16, 02	08, 03, 01, 30	01, 30, 16, 02	08, 01, 16	01, 12, 07, 08
09. Удобство изготовления	03, 04, 11, 13	01, 11, 32, 03	13, 03, 01, 16	01, 16	01, 04, 15, 24	01, 36, 03, 18	07, 15, 38	02, 09, 38	28, 11, 03, 32	01, 37	01, 08, 03, 27	04, 14, 07, 16	03, 13, 26, 11	13, 10, 06	04, 18, 13, 03	13, 03, 37, 18	04, 10, 13, 03	03, 24	08, 01
10. Удобство эксплуатации	07, 15, 14, 04	06, 11, 15	14, 12, 32, 29	03, 16, 29	24, 04, 02, 15	37, 01, 05, 18	04, 09, 12, 04	09, 17, 25	09, 01, 25	04, 11, 01	05, 09, 37	29, 05, 11, 07	20, 11, 03, 29	10, 13, 11	11, 19, 03, 18	01, 15, 05, 02	03, 11, 11	-	05, 08, 11
11. Удобство ремонта	03, 11, 05, 24	15, 39	28, 14, 04, 13	03, -	09, 03, 02, 29	05, 04, 02, 29	05, 01, 15, 13	03, 28, 05, 39	05, 01, 05, 39	03, 28, 02	11, -	05, 13, 01, 28	05, 13, 01, 28	24, 02, 11	07, 03, 09, 05	07, 02, 04, 16	07, 03, -	-	07, 03, 09, 08
12. Потери информации	-	10, 09	02, -	02, -	18, 10, 04, 09	18, 04, -	-	-	-	-	-	02, 18, 01	02, 01, 35	-	08, 0	02, 08	-	-	08, 02
13. Вредные факторы, действующие на объект	21, 03, 12, 01	33, 21, 01, 04	21, 07, 38, 04	19, 03, 17, 38	01, 06, 15	01, 38, 14, 31	38, 21, 08, 17	06, 01, 27, 03	01, 18, 25, 06	11, 01, 23, 06	21, 05, 23, 06	21, 33, 11, 18	05, 21, 11, 18	21, 38, 01, 05	03, 08, 31, 05	08, 21, 31, 05	20, 13, 21, 27	02, 05, 33, 21	33, 21, 01, 05
14. Вредные факторы самого объекта	01, 03	01, 04, 12, 36	07, 21, 38, 31	33, 23, 16, 21	03, 21	12, 18, 23, 03	02, 03, 15	07, 01, 21, 05	01, 17, 13, 23	01, 04, 03, 17	05, 38, 13, 06	08, 21, 07, 23	01, 21, 03, 23	21, 01, 05, 18	08, 18, 23, 09	05, 01, 06	05, 01, 20, 06	08, 21, 06	33, 01, 05, 21
15. Длина подвижного объекта	03, 32, 02, 14	11, 24, 32	08, -	-	07, 05, 14	14, 01	24, 14, 36, 02	32, 01, 14, 15	03, 32, 19, 02, 07, 15	03, 32, 24	03, 32, 01	-	03, 19, 02, 07, 24	09, 0	03, 01	32, 01, 18	-	-	34, 05, 01, 23
16. Длина неподвижного объекта	11, 22, 07, 34	-	-	03, 17, 01	25, 14, 22	-	02, 04, 18, 01	07, 22, 04, 10	23, 27, 01	04, 02	03, 22, 32, 17	25, 31, 17, 14	01, 04, 30, 06	12, 01, 30, 06	12, 29	37, 32	-	-	20, 04
17. Площадь подвижного объекта	35, 15, 14, 24	14, 25, 24, 15	20, 12	-	10, 24	14, 25, 20, 11	02, 01, 12, 07	12, 07, 11, 23	28, 05, 01, 05	08, 25, 26, 04	02, 07, 26, 27	05, 19, 14, 04	12, 31, 05, 07	05, 07, 16	07, 09, 08, 09	08, 02, 09, 06	08, 09	-	07, 19, 25, 10
18. Площадь неподвижного объекта	-	-	-	05, 02, 08, 25	02, 01, 24, 06	05, 06, 17, 24	02, 22, 06, 23	05, 30	03, 06, 01, 26	02, 07, 26, 27	-	-	25, 05, 22, 06	01, 23, 01, 09	03, 18, 01, 09	19, 09	-	-	19, 34, 25
19. Объем подвижного объекта	03, 07, 14, 24	14, 24, 30, 15	20, 01, 24	-	05, 20, 15, 02	14, 25, 34	26, 23, 15, 02	39, 22, 07, 34	04, 02, 03, 23	07, 01, 26, 27	20, 01, 26, 27	05, 10, 14, 17	31, 17, 10	15, 30, 02, 06	02, 11, 05	01, 20, 11, 06	01, -	-	34, 07, 11, 16
20. Объем неподвижного объекта	34, 05, 01	-	-	01, 15, 30	01, 16, 09, 06	01, 12	02, 23, 19, 07	39, 22, 01, 17	18, 04, 11, 27	05, 06, 18, 01	18, 01	31, 25, 24, 08	01, 02, 08, 22	01, 20, 04, 34	01, 18, 08, 11	25, 20	-	-	-
21. Форма	01, 07, 15, 06	01, 07, 15, 06	22, 10, 39, 29	-	22, 02, 15, 19	26, 21, 12, 35	01, 14, 02, 17	25, 22, 06, 24	38, 03, 27, 17	01, 02, 27, 17	15, 07, 02, 22	32, 02, 14, 17	07, 02, 10, 12	21, 22, 11, 07	04, 20, 15, 22	05, 20, 15, 22	02, -	-	22, -
22. Скорость	01, 07, 06, 15	12, 08, 01, 35	-	-	02, 08, 14, 30	02, 11, 04, 30	32, 12, 10, 22	04, 38, 03, 06	11, 04, 07, 08	20, 06, 30, 17	05, 04, 11, 30	-	04, 25, 26, 05	02, 11, 08	08, 01, 30, 05	32, 07, 01, 30	-	-	22, 40, 08, 01
23. Время действия подвижного объекта	22, 10, 04, 29	12, 01, 35	-	-	40, 02, 04, 06	12, 01, 02, 17	13, 13, 12, 06	11, 12, 02	08, 05, 01	08, 12, 16	08, 35, 13	-	08, 01, 15, 31	05, 08, 23, 01	08, 11, 01, 30	04, 20, 01, 06	-	-	-
24. Время действия неподвижного объекта	-	14, 24, 22, 11	-	-	04, 40, 02, 16	12, 01, 31	13, 16, 31, 17	-	23, 12, 01, 36	-	19, 24, 07	31, 24, 08, 16	20, 13, 08, 16	08, 06, 26, 17	-	16, -	-	-	-
25. Потери времени	24, 02, 15, 19	04, 11, 02, 24	40, 02, 04, 06	04, 40, 02, 16	01, 30, 06, 16	01, 06, 16	14, 12, 17, 35	01, 12, 04, 06	01, 12, 21, 35	02, 27, 26, 35	27, 26, 24	02, 40, 27, 01	02, 40, 10, 35	01, 14, 33, 06	03, 08, 10, 19	01, 40, 08, 06	01, 30, 08, 06	03, -	02, 35, 06, 09
26. Количество вещества	01, 22	01, 14, 15, 04	12, 01, 02, 17	12, 01, 31	01, 30, 06, 16	-	20, 12, 02, 18	22, 01, 15, 02	07, 05, 19, 17	01, 22, 12	02, 26, 22, 12	01, 20, 06, 31	13, 10, 06, 01	12, 19, 23, 23	01, 04, 25, 31	01, 0	15, 14, 16, 06	12, 01, 31	34, 06, 29
27. Потери вещества	14, 01, 12, 35	02, 11, 04, 30	13, 16, 12, 06	06, 30	07, 06, 01, 02	20, 12, 02, 18	01, 04, 31, 17	05, 22, 25, 17	22, 07, 06, 17	12, 26, 27, 02	01, 20, 36, 17	01, 20, 36, 17	33, 26, 21, 09	03, 20, 23, 31	11	04, 13, 06, 30	01, 06, 18, 35	04, 13, 37, 31	01, 13, 05, 31
28. Прочность	02, 25, 01, 17	32, 11, 10, 22	13, 12, 10	-	14, 12, 04, 02	14, 02, 13	01, 04, 31, 17	-	11, 19, 12, 22	02, 06, 12, 22	02, 12, 06, 17	03, 32, 17, 07	17, 10, 13, 03	25, 02, 13, 03	01, 08	02, 10, 08, 01	01, 04, 02	01, -	01, -
29. Устойчивость состава объекта	21, 03, 06, 24	38, 07, 04, 06	11, 13, 02, 01	23, 12, 01, 36	01, 13, 07, 09	01, 13, 07, 09	05, 22, 25, 17	19, 39	-	02, 01, 33, 16	05, 01, 17	33, 01, 05, 23	10, 23, 03, 17	01, 03, 09	09, 12, 13, 07	09, 01, 13, 31	11, 08, 13, 31	13, 24, 14, 06	22, 05, 23, 20
30. Огн	02, 01, 17, 15	11, 04, 07, 37	08, 05	-	02, 27, 06, 26	22, 14, 06, 26	32, 01, 17, 35	01, 02, 22, 13	01, 02, 33	06, 33, 28	32, 03, 27, 06	06, 11, 03, 04	01, 02, -	-	08, 01, 06, 27	08, 19, 02	03, 16, 26, 27	22, 07	
31. Напряжение, давление	01, 24, 07, 02	20, 01, 26	08, 12, 13	-	27, 26, 24	02, 22, 26	02, 26, 12, 27	39, 06, 05, 17	01, 38, 33	26, 01, 33	-	02, 26, 27, 17	11, 14, 02, 06	01, 23, 08, 05	-	02, 01, 22, 22	22, 18, 01, 37	-	05, 26, 29
32. Вес подвижного объекта	02, 22, 01, 17	05, 32, 07, 30	35, 15, 31, 01	-	02, 01, 40, 04	12, 10, 06, 31	35, 01, 12, 31	04, 13, 06, 17	03, 01, 08, 23	32, 02, 06, 27	02, 26, 27, 17	-	20, 14, 24, 30	08, 03, 09	37, 26, 15, 31	01, 37, -	-	-	20, 05, 15, 08
33. Вес неподвижного объекта	11, 02, 14, 22	01, 19, 25	-	05, 13, 08, 20	02, 40, 08, 20	08, 20, 06, 10	35, 32, 11, 25	04, 05, 02, 13	10, 23, 03, 17	32, 02, 08, 01	11, 14, 03	17, 31, 03	04, 08, 09, 21	01, 08, 08	07, 08, 06, 21	-	06, 08, 04, 03	06, 08, 04, 07	
34. Температура	22, 21, 08, 09	05, 04, 26, 25	08, 11, 23	08, 06, 26, 17	01, 04, 33, 06	12, 19, 25, 23	33, 26, 14, 31	02, 25, 21, 17	03, 01, 09	01, 02, 12, 33	01, 23, 08, 05	26, 21, 20, 30	21, 01, 09	09, 25, 33, 16	05, 22, 19, 29	08, 07, 12, 19	07, -	-	33, 19, 01, 30
35. Свечищенность	09, 25	02, 11, 08	05, 08, 20	-	08, 03, 10, 19	03, 08	11, 03, 01, 08	09, 12, 13	10, 08, 20	25, 01, 37	08, 03, 09	05, 01, 09	09, 01, 08	09, 01, 08	09, 0	09, 03, 13, 31	09, 03, 08	09, 01, 03, 07	08, 16, 03, 20
36. Мощность	14, 22, 05, 17	07, 01, 05	08, 01, 02, 3																

**Каталог Навигаторов (приемов)
Catalog of Navigators (receptions)**

1	Изменение агрегатного состояния	а) Изменить агрегатное состояние объекта б) Изменить концентрацию или консистенцию в) Изменить степень гибкости г) Изменить температуру
2	Предварительное действие	а) Заранее выполнить требуемое изменение объекта (полностью или хотя бы частично) б) Заранее расставить объекты так, чтобы они могли вступить в действие с наиболее удобного места и без затрат времени на доставку
3	Дробление	а) Разделить объект на независимые части б) Выполнить объект разборным в) Увеличить степень дробления объекта
4	Замена механической среды	а) Заменить механическую систему оптической, акустической или «запаховой» б) Использовать электрические, магнитные и электромагнитные поля для взаимодействия с объектом в) Перейти от неподвижных полей к движущимся, от фиксированных – к меняющимся по времени, от неструктурных -- к имеющим определенную структуру г) Использовать поля в сочетании с ферромагнитными частицами
5	Вынесение	Отделить от объекта «мешающую» часть («мешающее» свойство) или, наоборот, выделить единственно нужную часть (нужное свойство)
6	Использование механических колебаний	а) Привести объект в колебательное движение б) Если такое движение уже совершается, увеличить его частоту (вплоть до ультразвуковой) в) Использовать резонансную частоту г) Применить вместо механических вибраторов пьезовибраторы д) Использовать ультразвуковые колебания в сочетании с электромагнитными полями
7	Динамизация	а) Характеристики объекта (или внешней среды) должны меняться так, чтобы быть оптимальными на каждом этапе работы б) Разделить объект на части, способные перемещаться относительно друг друга
8	Периодическое действие	а) Перейти от непрерывного действия к периодическому (импульсному) б) Если действие уже осуществляется периодически - изменить периодичность в) Использовать паузы между импульсами для другого действия
9	Изменение окраски	а) Изменить окраску объекта или внешней среды б) Изменить степень прозрачности объекта или внешней среды в) Для наблюдения за плохо видимыми объектами или процессами использовать красящие добавки г) Если такие добавки уже применяются, использовать меченые атомы
10	Копирование	а) Вместо недоступного, сложного, дорогостоящего, неудобного или хрупкого объекта использовать его упрощенные и дешевые копии б) Заменить объект или систему объектов их оптическими копиями (изображениями) Использовать при этом изменение масштаба (увеличить или уменьшить копии) в) Если используются видимые оптические копии, перейти к копиям инфракрасным или ультрафиолетовым
11	Наоборот	а) Вместо действия, диктуемого условиями задачи, осуществить обратное действие (например, не охлаждать объект, а нагревать) б) Сделать движущуюся часть объекта (или внешней среды) неподвижной, а неподвижную – движущейся в) Перевернуть объект «вверх ногами»
12	Местное качество	а) Перейти от одной структуры объекта (или внешней среды, внешнего воздействия) к неоднородной б) Разные части объекта должны иметь (выполнять) различные функции в) Каждая часть объекта должна находиться в условиях, наиболее благоприятных для ее работы
13	Дешевая недолговечность вместо дорогой долговечности	Заменить дорогой объект набором дешевых объектов, поступившись при этом некоторыми качествами (например долговечностью)
14	Использование пневмо- и гидроконструкций	Вместо твердых частей объекта использовать газообразные и жидкие: надувные и гидронаполняемые, воздушную подушку, гидростатические и гидрореактивные
15	Отброс и регенерация частей	а) Выполнившая свое назначение или ставшая ненужной часть объекта должна быть отброшена (растворена, испарена и т. д.) или видоизменена непосредственно в ходе работы б) Расходуемые части объекта должны быть восстановлены непосредственно в ходе работы
16	Частичное или избыточное действие	Если трудно получить 100% требуемого эффекта, надо получить «чуть меньше» или «чуть больше». Задача при этом может существенно упроститься
17	Применение композиционных материалов	Перейти от однородных материалов к композиционным

18	Посредник	Использовать промежуточный объект-переносчик а) Использовать промежуточный объект, переносящий или передающий действие б) На время присоединить к объекту другой (легко удаляемый) объект.)
19	Переход в другое измерение	а) Трудности, связанные с движением (или размещением) объекта по линии, устраняются, если объект приобретает возможность перемещаться в двух измерениях (т. е. на плоскости). Соответственно, задачи, связанные с движением (или размещением) объектов в одной плоскости, устраняются при переходе к пространству трех измерений б) Многоэтажная компоновка объектов вместо одноэтажной в) Наклонить объект или положить его «набок» г) Использовать обратную сторону данной площади д) Использовать оптические потоки, падающие на соседнюю площадь или на обратную сторону имеющейся площади
20	Универсальность	Объект выполняет несколько разных функций, благодаря чему отпадает необходимость в других объектах
21	Обратить вред в пользу	а) Использовать вредные факторы (в частности вредное воздействие среды) для получения положительного эффекта б) Устранить вредный фактор за счет сложения с другим вредным фактором в) Усилить вредный фактор до такой степени, чтобы он перестал быть вредным
22	Сфероидальность	а) Перейти от прямолинейных частей объекта к криволинейным, от плоских поверхностей к сферическим, от частей, выполненных в виде куба или параллелепипеда, к шаровым конструкциям б) Использовать ролики, шарики, спирали в) Перейти к вращательному движению, использовать центробежную силу
23	Применение инертной среды	а) Заменить обычную среду инертной б) Вести процесс в вакууме
24	Асимметрия	а) Перейти от симметричной формы объекта к асимметричной б) Если объект асимметричен, увеличить степень асимметрии Машины рождаются симметричными. Это их традиционная форма. Поэтому многие задачи, трудные по отношению к симметричным объектам, легко решаются нарушением симметрии
25	Использование гибких оболочек и тонких пленок	а) Вместо обычных конструкций использовать гибкие оболочки и тонкие пленки б) Изолировать объект от внешней среды с помощью гибких оболочек и тонких пленок
26	Применение фазовых переходов	Использовать явления, возникающие при фазовых переходах, например изменение объема, выделение или поглощение тепла и т.д.
27	Применение теплового расширения	а) Использовать термическое расширение (или сжатие) материалов б) Если термическое расширение уже используется, применить несколько материалов с разными коэффициентами термического расширения
28	Заранее подложенная подушка	Компенсировать относительно невысокую надежность объекта заранее подготовленными аварийными средствами
29	Самообслуживание	а) Объект должен сам себя обслуживать, выполняя вспомогательные и ремонтные операции б) Использовать отходы (энергии, вещества)
30	Применение сильных окислителей	а) Заменить обычный воздух обогащенным б) Заменить обогащенный воздух кислородом в) Воздействовать на воздух или кислород ионизирующими излучениями г) Использовать озонированный кислород д) Заменить озонированный (или ионизированный) кислород озоном
31	Применение пористых материалов	а) Выполнить объект пористым или использовать дополнительные пористые элементы (вставки, покрытия и т.п.) б) Если объект уже выполнен пористым, предварительно заполнить поры каким-то веществом
32	Антивес	а) Компенсировать вес объекта соединением с другими объектами, обладающими подъемной силой б) Компенсировать вес объекта взаимодействием со средой (за счет аэро-, гидродинамических и других сил)
33	Проскок	Вести процесс или отдельные его этапы (например вредные или опасные) на большой скорости
34	Матрешка	а) Один объект размещен внутри другого объекта, который, в свою очередь, находится внутри третьего и т.д.; б) Один объект проходит сквозь полость в другом объекте
35	Объединение	а) Соединить однородные или предназначенные для смежных операций объекты б) Объединить во времени однородные или смежные операции
36	Обратная связь	а) Ввести обратную связь б) Если обратная часть есть, изменить ее

37	Эквипотенциальность	Изменить условия работы так, чтобы не приходилось поднимать или опускать объект
38	Однородность	Объекты, взаимодействующие с данным объектом, должны быть сделаны из того же материала (или близкого ему по свойствам)
39	Предварительное антидействие	Заранее придать объекту напряжения, противоположные недопустимым или нежелательным рабочим напряжениям
40	Непрерывность полезного действия	а) Вести работу непрерывно (все части объекта должны все время работать с полной нагрузкой) б) Устранить холостые и промежуточные ходы

Заключение. Метод ТРИЗ вполне надежно выводит изобретателя на расстояние «выстрела с высокой вероятностью попадания в цель». В статье содержится все необходимое, чтобы читатель мог попробовать самостоятельно найти решение какой-либо задачи, т.е. изучать литературу по ТРИЗ более чем желательно, однако не обязательно для первых проб. Необходимо знать алгоритм, иметь навыки его практического использования, также желательно знать физические, химические и геометрические эффекты.

В мире, по статистике [10], в год подается около 20 тыс. патентных заявок на изобретения, связанные с ЭМ. Это говорит о том, что потенциал для новых изобретений в электромеханике неисчерпаем, несмотря на более чем двухсотлетний возраст этой науки.

В истории изобретательства достаточно много «серийных» изобретателей, имеющих сотни, а в некоторых случаях даже тысячи патентов. Многие из них активны и в настоящее время. Особенности их личных качеств и методов работы были изучены посредством ряда интервью. Обычно серийные изобретатели характеризуются следующим набором качеств: устойчивость к критике, энергичность, неудовлетворенность статусом-кво, любопытство, желание принимать и адаптировать все новое, нетрадиционное.

Умения и навыки «серийных» изобретателей:
умение синтезировать новые концепции, думать и «видеть поверх барьеров» различных областей техники и научных дисциплин;

умение комбинировать различные объекты в уме, визуализировать в воображении;

изучение патентов в «своей» области и «смежных» областях;

выработка представлений о том, что может быть достаточно новым, чтобы быть запатентованным;
приобретение навыков из смежных областей.

Их принципы:

упрямство в достижении цели – не бросать задачу, несмотря на ряд неудач;

не перекладывать задачу на других, пытаться найти решение самому;

не признавать, что есть непреодолимые препятствия;

понимать, что сотрудничество с коллегами абсолютно необходимо.

Их источники идей:

выбор больших целей и попытки их достичь;

поиск проблем и их решение;

сотрудничество с другими для нахождения проблем и генерации идей.

У выдающихся изобретателей стоит учиться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Harrison S.S., Sullivan P.H. Edison in the boardroom revisited: how leading companies realize value from their intellectual property, El. 2, John Wiley & Sons, 2011.
2. Орлов М.А. Нетрудная ТРИЗ. Универсальный практический курс. М.: Солон-Прессб 2011, 384 с.
3. Поисковая система Федерального Института Промышленной Собственности [Электрон. ресурс] <https://www.fips.ru/elektronnye-sevisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/> (дата обращения 03.12.2020).
4. Альтшуллер Г.С., Шапиро Р.Б. О психологии изобретательского творчества. – Вопросы психологии, 1956, № 6.
5. Альтшуллер Г.С. Алгоритм изобретения, 2-е изд. М.: Московский рабочий, 1973.
6. Орлов М.А. Основы классической ТРИЗ. М.: Солон-Пресс, 2006, 432 с.
7. Brockschmidt M., Kempen S., Pohlmann F., Schmidt G., Staubach C. Self-healing insulating layer for an electrical machine. Патент заявки WO2013/117373A1, поданная компанией Siemens.
8. Kumagai A. et al. Switching device of winding for motor in machine tool. Патент Японии JP3596711B2, выданный компании Yaskawa.
9. Fedoseyev K., Pearce E.M. Jr, Rotor assembly with heat pipe cooling system. Патент США US9331552B2, выданный компании Tesle.
10. Поисковая система Европейского Патента Агенства [Электрон. ресурс] <https://worldwide.espacenet.com/> (дата обращения 03.12.2020).

[11.01.2021]



Автор: **Матвеев Алексей Вячеславович** – директор Drive Constructor.

Application of the Compositional Contradictions Method of TRIZ to Search for New Solutions in the Field of Electrical Machines

MATVEEV Alexey V. (*Drive Constructor, Norway*) – Director

The aim of this work is to increase the quantity and quality of innovations in the field of electrical machines by increasing the quantity and quality of ideas in this field. The application of the theory of inventive problem solving (TRIZ) in electromechanics is demonstrated as one of the ways to achieve the goal. The TRIZ is an empirical, constructive, qualitative, and universal methodology for generating effective ideas and solving problems based on models of contradictions and methods for resolving them, which are extracted from known examples of effective solutions. The application of one of the TRIZ algorithms is demonstrated on examples of solving three complex engineering problems: improving the reliability of electrical machine insulation, extending the operational ranges of electric drive torques and rotation frequencies, and achieving better cooling of an electric vehicle rotor. The accompanying complexities and the ways to overcome them are shown. The minimum necessary tools for conducting independent work in this area are given. The principle of drawing up the new professional vocabulary “TRIZ-Electromechanics” is shown. A brief overview of the skills of inventors and methods of their work is given.

Key words: *electrical machines, inventions, TRIZ, algorithms, formulations of problem situations, contradictions, principles and techniques, physical and chemical effects*

REFERENCES

1. **Harrison S.S., Sullivan P.H.** Edison in the boardroom revisited: how leading companies realize value from their Intellectual Property, Ed. 2, John Wiley & Sons, 2011.
2. **Orlov M.A.** Netrudnaya TRIZ. Universal'nyy prakticheskiy kurs (Easy TRIZ. Universal practical course). M.: Solon-Press, 2011, 384 p.
3. **Poiskovaya sistema Federal'nogo Instituta Promyshlennoy Sobstvennosti** (Search engine of the Federal Institute of Industrial Property) [Electron Resource] <https://www.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/> (Date of appeal 03.12.2020).
4. **Al'tshuller G.S., Shapiro R.B.** *Voprosy psikhologii – in Russ. (Questions of Psychology)*, 1956, No. 6.
5. **Al'tshuller G.S.** *Algoritm izobreteniya, 2-ye izd.* (Algorithm of invention, 2nd ed.). M.: Moskovskiy rabochiy, 1973 (2-ye izd.).
6. **Orlov M.A.** *Osnovy klassicheskoy TRIZ* (Basic classical TRIZ). M.: Solon-Press, 2006, 432 p.
7. **Brockschmidt M., Kempen S., Pohlmann F., Schmidt G., Staubach C.** Self-healing insulating layer for an electrical machine. Patent application WO2013 /117373A1 filed by Siemens.
8. **Kumagai A. et al.** Switching device of winding for motor in machine tool. Japanese Patent JP3596711B2 issued to Yaskawa Company.
9. **Fedoseyev L., Pearce E.M. Jr.** Rotor assembly with heat pipe cooling system. US patent US9331552B2 issued to Tesla.
10. **Poiskovaya sistema Yevropeyskogo Patentnogo Agenstva** (Search engine of the European Patent Agency [Electron. Resource] <https://worldwide.espacenet.com/> (Date of appeal 03.12.2020).

[11.01.2021]