

## **Решение задачи с помощью АРИЗ-85В, способ выхода на идею решения.**

Скуратович Александр Иванович,  
сертифицированный специалист по ТРИЗ (сертификат МАТРИЗ №66),  
e-mail: ais99@mail.ru

### **Аннотация**

В докладе показано применение АРИЗ-85В для решения задачи по упрощению конструкции механизма принудительного движения сепаратора в прямолинейной направляющей трения качения. Акцент сделан на сложности выхода на подходящую идею и способ, который помог это сделать. В результате были получены идеи принципиально новых конструкции механизма принудительного движения сепаратора и конструкции самого сепаратора.

### **Предисловие**

Задача, разбор которой частично будет показан в этом докладе, решалась давно. Я столкнулся с ней, когда работал инженером-конструктором приборов точной механики.

В то далекое время я только недавно закончил базовое обучение по ТРИЗ в объеме 144 часов и очень хотел применить полученные знания на практике. И вот в конструкторском бюро, где я работал, мы столкнулись с реальной производственной задачей, связанной с необходимостью придумать компактный механизм принудительного движения сепараторов для шариковой направляющей трения-качения или сделать так, чтобы сепараторы не сдвигались случайным образом под действием внешних ударов, колебаний и вибрации.

Задача оказалась сложной, и для её решения я решил использовать самый мощный инструмент решения изобретательских задач из ТРИЗ – АРИЗ-85В.

Подробный разбор этой задачи по шагам АРИЗ-85В опубликован в журнале «ТРИЗ-профи: эффективные решения», №1, 2005 г. в статье «Требуется идеальность. Задача о несмещаемом сепараторе» [1]. Но в той статье показан только один из возможных вариантов выхода на решение.

В данном докладе я хочу показать, как был сделан переход от формулировок микро-ФП и ИКР к подходящей идее решения задачи. Как двигалась изобретательская мысль, следуя за шагами и правилами АРИЗ и какой способ помог выйти на идею решения?

### **Описание исходной ситуации.**

В оптических приборах для плавного и точного перемещения оптических элементов (например, линз, объективов, призм) часто используют прямолинейные шариковые направляющие трения-качения (см. Рис. 1, 2) [2].

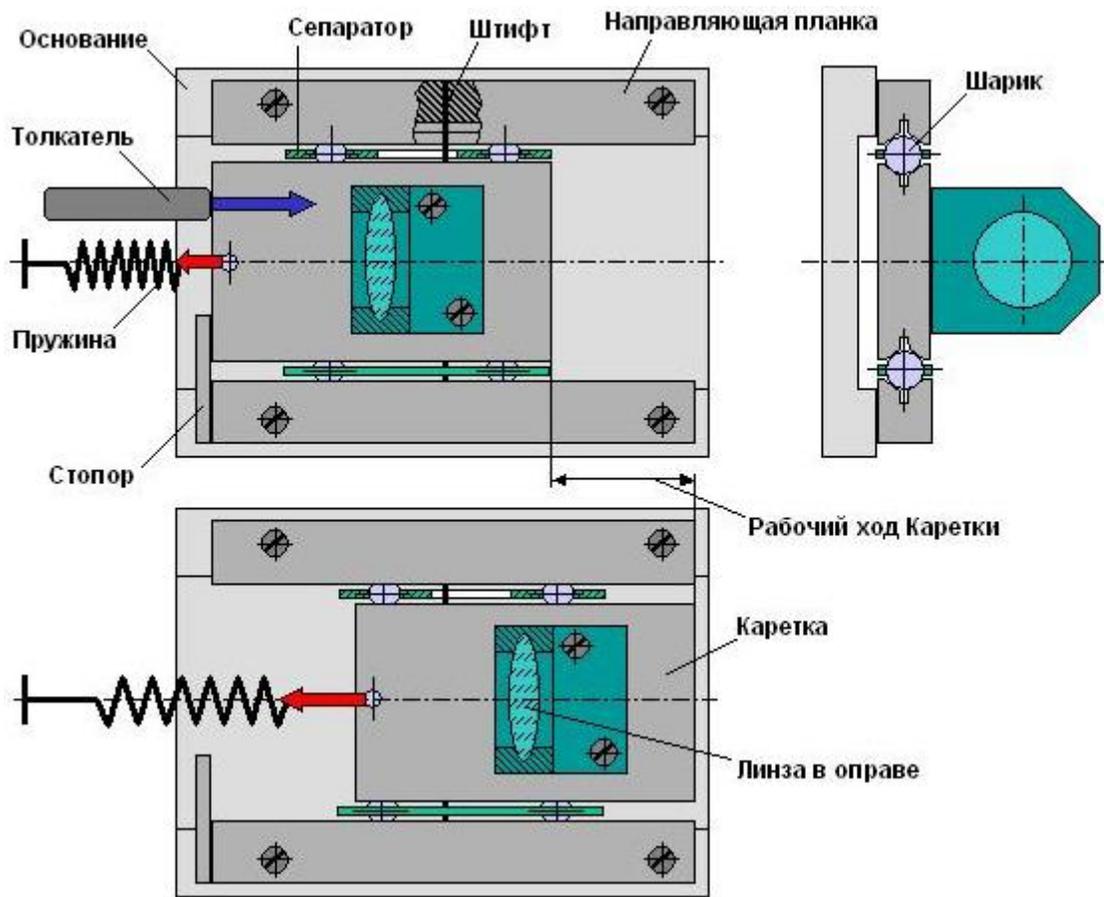


Рис. 1. Общий вид шариковой направляющей трения-качения.

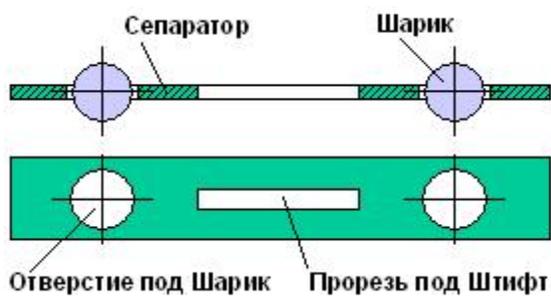


Рис. 2. Конструкция сепаратора.

Такая направляющая состоит из направляющих планок, прикрепленных к основанию, каретки, шариков и сепараторов, которые удерживают шарики на определенном расстоянии друг от друга.

Линзу в оправе закрепляют на каретке, а, во время работы прибора, специальный толкатель передвигает каретку с определенной скоростью на заданное расстояние.

Затем толкатель отводится в сторону, и каретка под действием пружины возвращается в исходное положение. После этого цикл работы повторяется.

Практика применения таких направляющих показала, что иногда, под действием внешних ударных и вибрационных нагрузок она перестает работать. Удары и вибрации вызывают продольное смещение шариков с сепараторами, причем, для каждого сепаратора с шариками это смещение может быть разным как по направлению, так и по величине (см. Рис. 3).

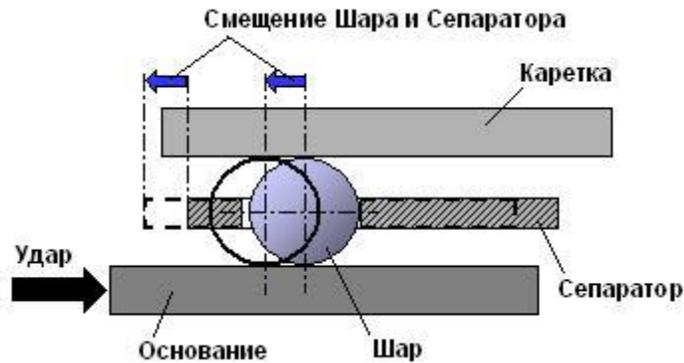


Рис. 3. Удары и вибрации смещают шарики с сепаратором (на рисунке показан один шар).

Кроме того, отклонение формы шариков от правильной геометрической формы и разность их диаметров в пределах технологических допусков вносят дополнительные ошибки в синхронность движения шариков.

С течением времени, величина неравномерного смещения шариков может накапливаться. Это, в свою очередь, приводит к неравномерному смещению сепараторов, что приводит к перекосу каретки и ее заклиниванию из-за перераспределения сил упругого сжатия шариков, действующих на каретку. В результате возвратная пружина не может вернуть каретку в исходное положение, каретка не прижимается к толкателю и перестает перемещать линзу.

Для предотвращения этого нежелательного эффекта в конструкцию направляющей вводят механизм принудительного движения сепараторов. Этот механизм, задает синхронное перемещение сепараторов с шариками в направлении движения каретки со скоростью вдвое меньшей, чем у каретки.

Известно много разных вариантов конструкций механизмов принудительного движения сепараторов, один из них - зубчатый механизм принудительного движения сепаратора [3], который показан на Рисунке 4.

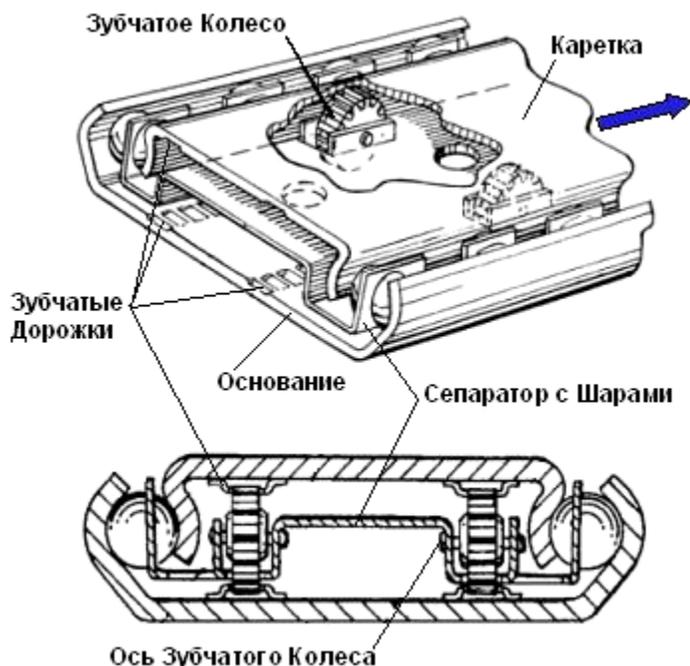


Рис. 4. Зубчатый механизм принудительного движения сепаратора.

Этот механизм состоит из следующих элементов:

- сепаратора, общего для двух рядов шариков;
- зубчатых колес, на осях которых закреплен сепаратор;
- зубчатых дорожек, выполненных на внутренних поверхностях каретки и основания.

Во время работы, каретка перемещается относительно основания и её зубчатые дорожки сдвигаются относительно зубчатых дорожек основания, что приводит к вращению зубчатых колес. Зубчатые колеса катятся по зубчатым дорожкам основания и перемещают сепаратор с шариками, который закреплен на осях зубчатых колес.

При перекачивании зубчатого колеса по зубчатой дорожке ось колеса движется с вдвое меньшей скоростью, чем наружные точки колеса около поверхностей каретки и основания, поэтому и сепаратор, закрепленный на оси колеса движется в том же направлении, что и каретка, и тоже с вдвое меньшей скоростью, чем каретка.

В результате перемещение сепаратора не зависит от движения шариков и задается только смещением каретки относительно основания. Такой управляемый сепаратор ограничивает неравномерность движения шариков и полностью исключает возможность их проскальзывания от случайных внешних воздействий (см. Рис. 5).

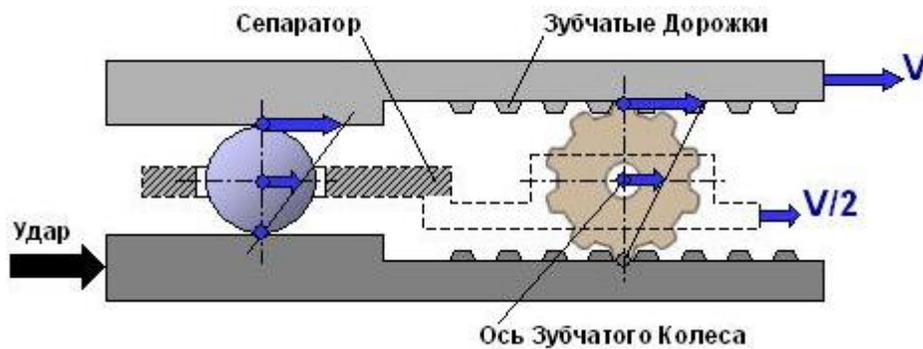


Рис. 5. Сепаратор, закрепленный на зубчатом колесе, удерживает шар от смещения.

Однако, описанный выше механизм принудительного движения сепараторов, с учетом конкретных ограничений проектируемого прибора и имеющихся возможностей производства, обладает следующими недостатками:

- большая трудоемкость изготовления высокоточных зубчатых дорожек и зубчатых колес малого диаметра;
- большая высота направляющей, задающаяся минимальными толщинами основания и каретки, и минимальным диаметром зубчатых колес.

Анализ других конструкций принудительного движения сепараторов [2] показал, что их применение либо недопустимо усложняет конструкцию направляющей, либо увеличивает ее размеры, либо не обеспечивает заданную точность и рабочий ход каретки. Как быть?

**Решение задачи с помощью АРИЗ 85-В [3], некоторые основные шаги.**

### ЧАСТЬ 1. Анализ задачи.

#### Шаг 1.1. Условие мини-задачи (без специальных терминов).

##### 1.1.1. Замена специальных терминов на функциональные:

Специальные термины:	Функциональные термины:
Шариковая направляющая трения-качения	Направляющая
Основание направляющей	Основание
Направляющая планка	Направлялка
Каретка	Перемещалка
Сепаратор	Разделитель
Штифт	Ограничитель
Стопор	Стопор
Пружина	Пружина
Шарик	Шарик
Толкатель	Толкатель
Механизм принудительного движения сепаратора	Управлялка

### 1.1.2. Техническая система – «Направляющая» (см. Рис. 6) – предназначена для:

- прямолинейного плавного и точного перемещения оптической детали,  
включает в себя: Основание; 2 «Направлялки»; 4 Шарика; 2 «Разделителя»; 2 «Ограничителя»; «Перемещалку»; Стопор; Пружину; Толкатель; «Управлялку» (на рисунке не показана - её надо спроектировать).

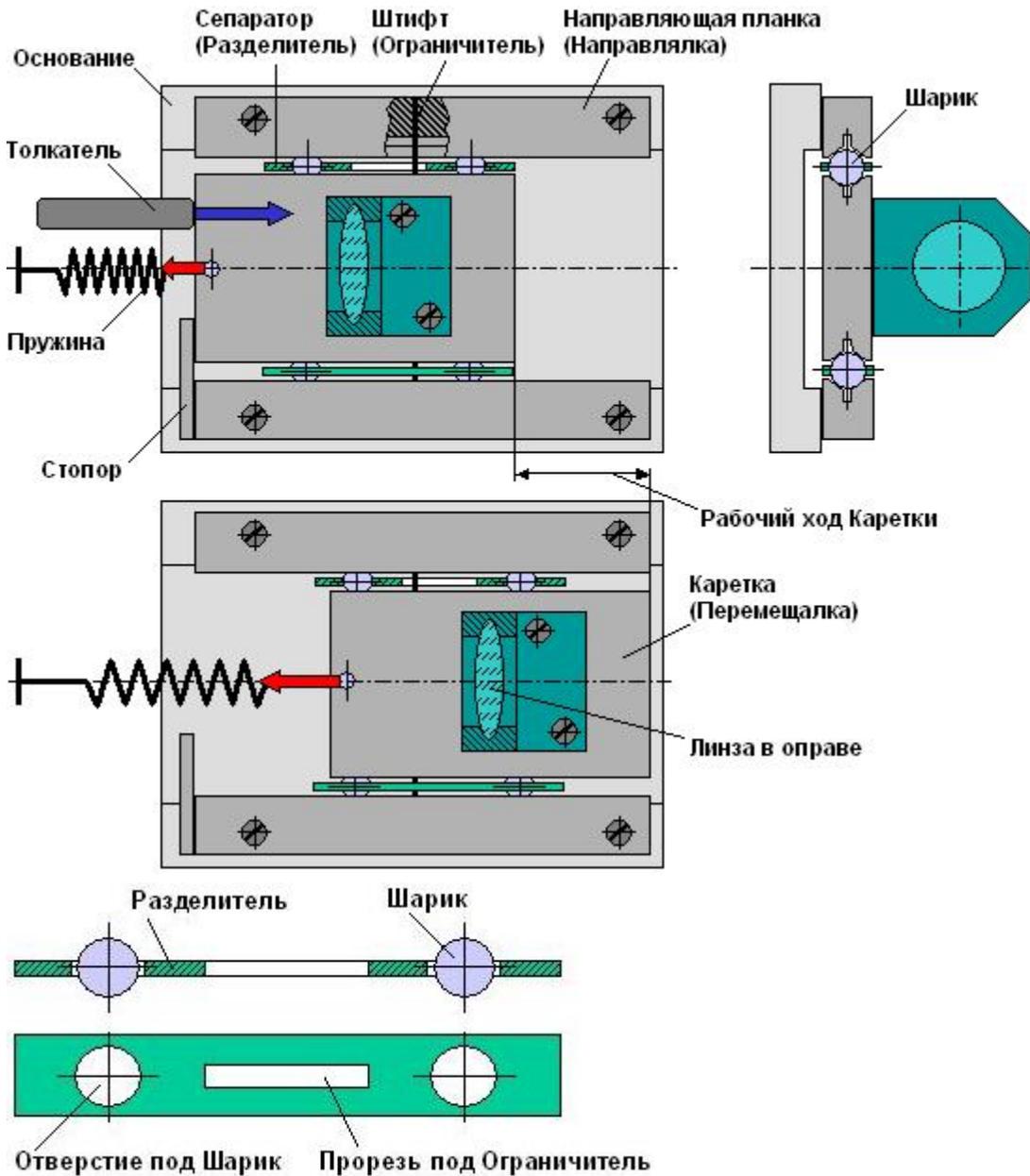


Рис. 6 Шариковая направляющая трения-качения с функциональными терминами.

### 1.1.3. Техническое противоречие (ТП):

**ТП-1:** Если Направляющая имеет «Управлялку», то «Разделители» движутся управляемо, но при этом увеличивается сложность конструкции и размеры Направляющей.

**ТП-2:** Если у Направляющей нет «Управлялки», то «Разделители» могут двигаться случайно, но это не усложняет конструкцию Направляющей и не увеличивает ее размеры.

**1.1.4. Необходимо:** при минимальных изменениях в Направляющей, обеспечить управляемое движение «Разделителя» без усложнения конструкции Направляющей и без увеличения ее размеров.

**Шаги 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 не показаны.**

### **Шаг 1.6. Модель задачи.**

- 1.6.1. Даны: «отсутствующая Управлялка» - «инструмент» и «Разделитель» - «изделие»;
- 1.6.2. «Отсутствующая Управлялка» не усложняет Направляющую, но и не управляет движением «Разделителя»;
- 1.6.3. Необходимо найти такой X-элемент, который, сохраняя способность «отсутствующей Управлялки» не усложнять Направляющую и не увеличивать ее размеры, обеспечивал бы управление движением «Разделителя» (см. рис. 7).

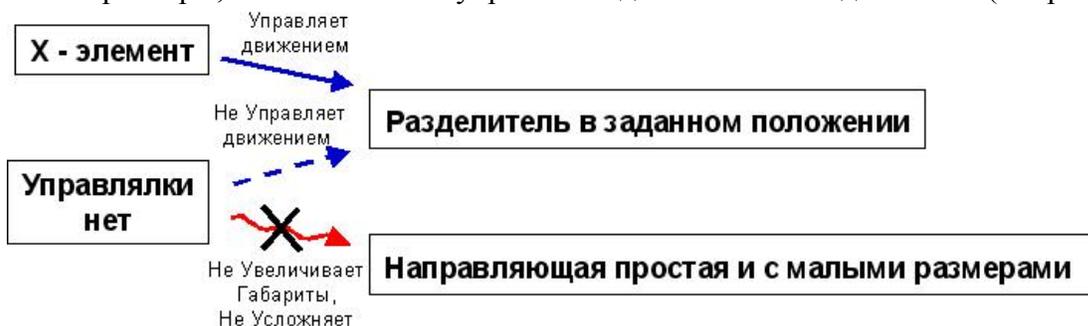


Рис. 7. Графическая схема Модели Задачи.

### Примечание 2:

«Управление движением Разделителя» означает, что «Разделитель» должен двигаться:

- только тогда, когда «Перемещалка» движется относительно «Направлялки» (т.е. задавать положение Шариков независимо от их ошибок движения);
- в том же направлении, что и «Перемещалка»;
- со скоростью в 2 раза меньшей, чем у «Перемещалки».

Различные известные конструкции «Управлялок», применяемые в Направляющих, как раз и обеспечивают перемещение «Разделителя» в соответствии с перечисленными требованиями (см. Рис. 4, 5).

В соответствии с Примечанием 2, п.п.1.6.3. можно сформулировать точнее:

### **Уточненная формулировка п.п. 1.6.3.:**

Необходимо найти такой X-элемент, который, сохраняя способность «отсутствующей Управлялки» не усложнять конструкцию Направляющей и не увеличивать ее размеры, обеспечивал бы движение «Разделителя»:

- только тогда, когда «Перемещалка» движется относительно «Направлялки»;
- в том же направлении, что и «Перемещалка»;
- со скоростью в 2 раза меньшей, чем у «Перемещалки».

**Шаг 1.7 не показан.**

## **ЧАСТЬ 2. Анализ модели задачи**

### **Шаг 2.1. Оперативная зона (ОЗ)**

Оперативная зона (ОЗ) – это пространство, в пределах которого возникает конфликт, указанный в Модели Задачи.

Для нашей задачи ОЗ - это пространство между «Перемещалкой» и «Направлялкой», в котором расположены Шарики и «Разделитель» (см. рис. 8).

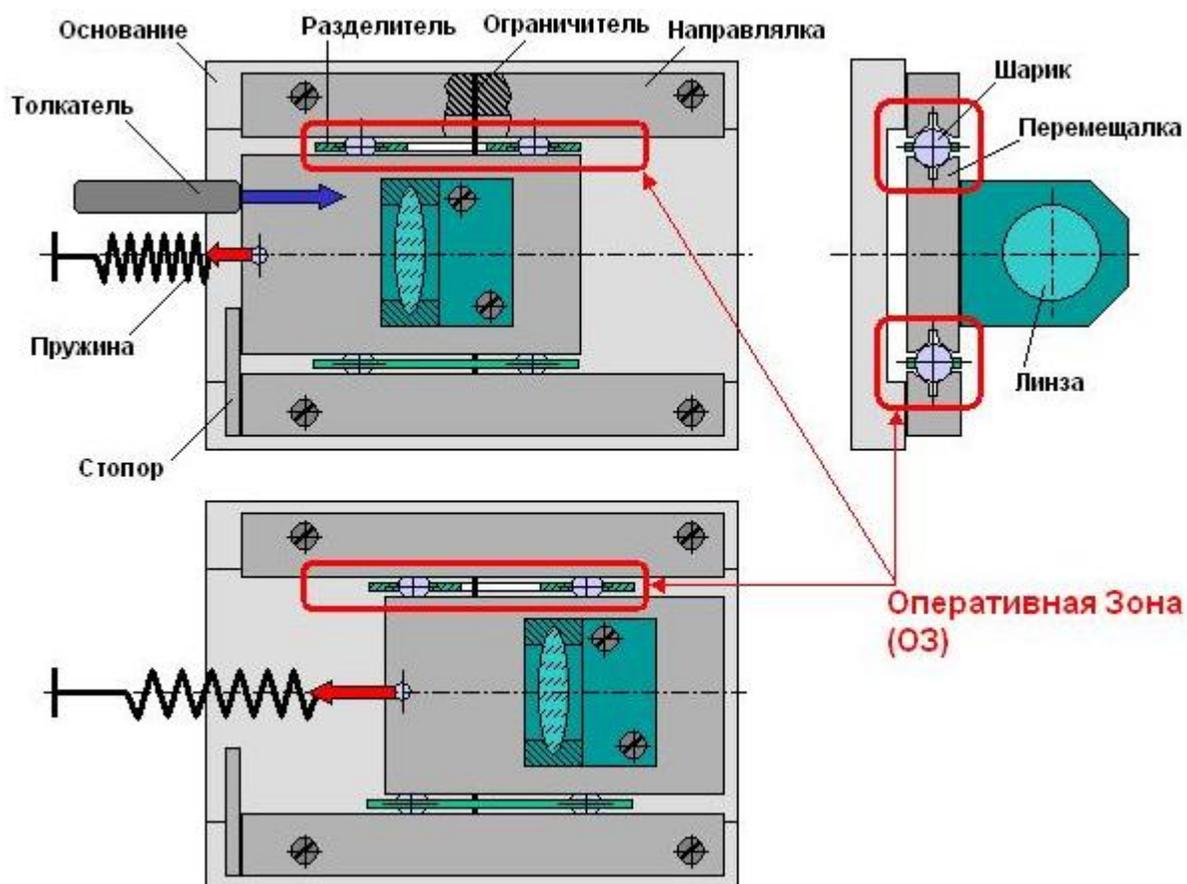


Рис. 8. Оперативная зона.

### **Шаг 2.2. Оперативное время (ОВ)**

Конфликтное время  $T_1$  – это время нахождения Направляющей в приборе. «Разделители» могут быть неуправляемо сдвинуты под действием любого сильного удара или вибрации, которые может испытывать прибор как во время работы, так до и после него.

### **Шаг 2.3. Список вещественно-полевых ресурсов (ВПр)**

#### **Внутрисистемные ВПр:**

**ВПр инструмента** – «отсутствующая Управлялка» - пространство и воздух вокруг Разделителя между «Перемещалкой» и «Направлялкой».

**ВПр изделия** – «Разделитель». Ресурсами Разделителя могут быть:

- материал, из которого он сделан и его свойства – латунь или сталь;
- форма и размеры – металлическая пластинка толщиной не более 1 мм с отверстиями, в которые вложены Шарики. У «Разделителя» есть прорезь под «Ограничитель», который ограничивает его максимальное продольное перемещение (см. рис. 2 и 6);
- расположение в пространстве – «Разделитель» находится в пространстве между «Перемещалкой» и «Направлялкой» и Шарики держат «Разделитель» на себе.

#### **Внешнесистемные ВПр:**

- Поля внешних сил - ударов и вибраций;
- Силы трения между Шариками и «Направлялкой», Шариками и «Перемещалкой», Шариками и «Разделителем»;
- Гравитационное поле;
- Воздух.

#### **Надсистемные ВПр:**

Отходы посторонней системы – таких нет.

“Копеечные” – очень дешевые посторонние предметы – таких нет.

В этой задаче, в выделенную Оперативную Зону попадают такие надсистемные для Инструмента и Изделия объекты как:

- Шарики, которые держат на себе и перемещают «Разделители» во время своего движения;
- Поверхности неподвижных «Направлялок», по которым катятся Шарики;
- Поверхности подвижной «Перемещалки», по которым катятся Шарики.

### **ЧАСТЬ 3. Определение ИКР и ФП**

**Шаг 3.1, 3.2, 3.3 не показаны.**

#### **Шаг 3.4. Физическое противоречие на микроуровне**

##### **Формулировка микро-ФП (вариант 1):**

У Разделителя во время нахождения Направляющей в приборе

- должны быть частицы, прочно сцепленные с поверхностями «Перемещалки» и «Направлялки», чтобы исключить свободный сдвиг «Разделителя» относительно «Перемещалки» и «Направлялки», и

- должны быть частицы не сцепленные с поверхностями «Перемещалки» и «Направлялки», в пространстве между «Перемещалкой» и «Направлялкой», чтобы «Разделитель» был подвижным относительно поверхностей «Перемещалки» и «Направлялки» и двигался со скоростью  $V/2$ .

Примечание 5:

Здесь появляется полезная информация о том, что у «Разделителя» должны быть частицы сцепленные с поверхностями «Перемещалки» и «Направлялки» (это видимо частицы расположенные около этих поверхностей) и должны быть частицы, не сцепленные с поверхностями и подвижные между поверхностями.

Эта информация наводит на Идею о том, что противоречивые требования к частицам «Разделителя» могут быть разделены в пространстве - частицы должны быть неподвижные (закрепленные) на поверхностях и подвижные (свободные) между ними.

**Уточненная формулировка микро-ФП (вариант 2):**

У «Разделителя» во время нахождения Направляющей в приборе должны быть частицы:

- **прочно сцепленные с поверхностями «Перемещалки» и «Направлялки»,** чтобы исключить сдвиг и проскальзывание «Разделителя»,
- **и должны быть подвижные, поворачивающиеся частицы,** как на поверхности Шаров, Роликов и Зубчатых Колес, чтобы «Разделитель» был подвижным относительно поверхностей «Перемещалки» и «Направлялки» и двигался со скоростью  $V/2$ .

**Итак, частицы «Разделителя» должны быть:**

**- неподвижные и закрепленные на поверхностях «Перемещалки» и «Направлялки» и подвижные между ними.**

**Шаг. 3.5. Формулировка идеального конечного результата ИКР-2.**

Во время движения «Перемещалки» частицы «Разделителя» неподвижные у поверхностей «Перемещалки» и «Направлялки» САМИ становятся подвижными в пространстве между поверхностями и движутся со скоростью  $V/2$ .

**ЧАСТЬ 4. Мобилизация и применение ВПР**

**Переход от микро-ФП и ИКР-2 к идее решения задачи.**

И вот тут начинается самое интересное. Как отталкиваясь от микро-ФП и ИКР-2 выйти на конструктивно-подходящую и реализуемую идею решения задачи?

Попробую показать, как в действительности шел поиск пути выхода к подходящему решению.

Итак, переходим к четвертой части АРИЗ под названием «Мобилизация и применение вещественно-полевых ресурсов (ВПР)».

Напомню, в тексте АРИЗ-85В написано, что «Ранее - на шаге 2.3. - были определены имеющиеся ВПР, которые можно использовать бесплатно. Четвертая часть АРИЗ включает планомерные операции по увеличению ресурсов: рассматриваются производные ВПР, получаемые почти бесплатно путем минимальных изменений имеющихся ВПР.»

#### Шаг 4.1. Метод моделирования маленькими человечками (ММЧ).

Если промоделировать схему конфликта, описанного в микро-ФП с помощью «метода маленьких человечков», то связь «Разделителя» с поверхностями «Перемещалки» и «Направлялки» можно представить как цепочку маленьких человечков, прочно держащихся друг за друга, крайние человечки которой прочно держатся за поверхности «Перемещалки» и «Направлялки» (см. Рис. 9).

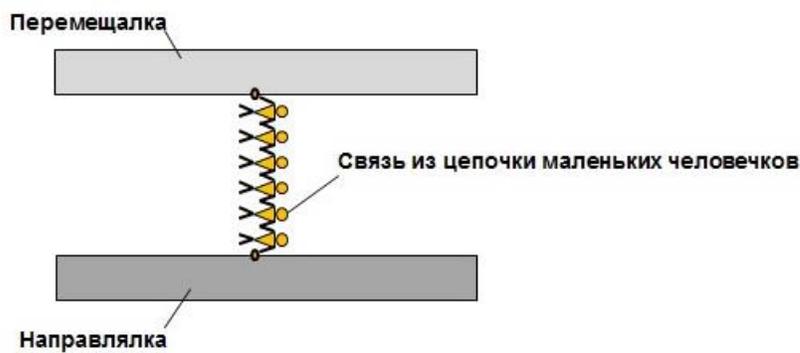


Рис. 9. Связь образована из цепочки маленьких человечков.

При смещении «Перемещалки» относительно «Направлялки» из нейтрального положения в крайнее, цепочка прочно сцепленных друг с другом человечков будет растягиваться, а затем, при возвращении «Перемещалки» к нейтральному – сжиматься (см. Рис. 10).

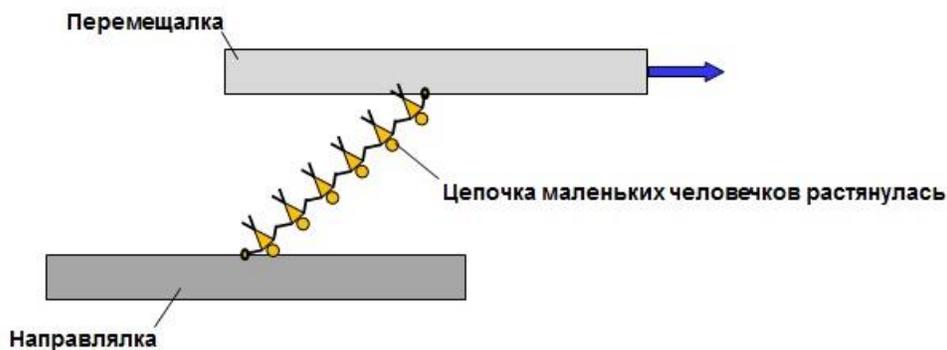


Рис. 10. «Перемещалка» сместилась - цепочка маленьких человечков растянулась.

Мы получили идею растягивающейся/сжимающейся цепочки маленьких человечков!

Эта идея (при абстрагировании от реальных толщин и рассмотрении только кинематики механизма) наводит на следующие возможные её технические воплощения:

- 1) «Разделитель» соединён с «Перемещалкой» и «Направлялкой» посредством некой «растягивающейся связи». Например, это может быть тонкая резинка (см. Рис. 11).

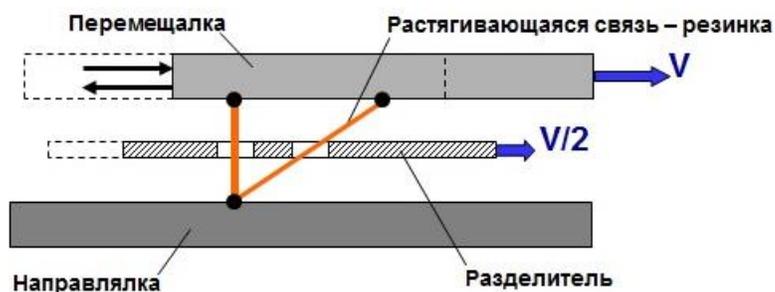


Рис. 11. Растягивающаяся связь в виде тонкой резинки.

При смещении «Перемещалки» она будет растягиваться, а точка, находящаяся на её середине переместится на вдвое меньшее расстояние со скоростью  $V/2$ . Однако, такая связь не является жесткой и, при ударах извне, она не будет в состоянии удержать «Разделитель» в заданном положении. Нужна связь между «Перемещалкой» и «Направлялкой», которая не только может увеличиваться по длине, но и остается жесткой в продольном направлении.

Как это могло бы выглядеть?

- 2) Одна из возможных конструкций – телескопический механизм (см. Рис. 12).

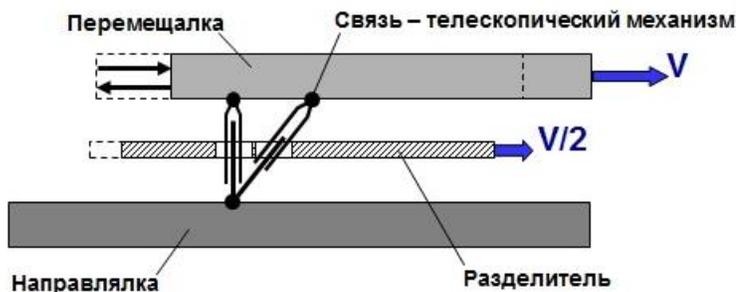


Рис. 12. Связь в виде телескопического механизма.

Она может увеличиваться в длину при сдвигании «Перемещалки» относительно «Направлялки» и оставаться достаточно жесткой в продольном направлении. Формально все требования Микро-ФП и ИКР-2 выполнены!

Задачу можно считать в принципе решенной!

Однако, как выполнить такой механизм из реальных материалов, имеющих сколько-нибудь подходящие толщины и габариты? Для направляющих больших габаритов это возможно. Правда это решение приводит к усложнению механизма – нужно делать

телескопическую конструкцию с минимальными зазорами и предусмотреть достаточно большое отверстие в Разделителе, чтобы телескопическая связь могла наклониться и не погнуть при этом Разделитель.

Но в нашей задаче направляющая малых размеров и, к сожалению, поместить такую телескопическую связь между «Перемещалкой» и «Направлялкой» практически невозможно. Как быть?

Продолжаем поиск возможных конструкций дальше.

- 3) Можно ещё предложить жесткую связь, выполненную из тонкой и прочной стальной проволочки достаточной длины, которая шарнирно закреплена в «Разделителе» и проходит через отверстия и ниши в «Направлялке» и «Перемещалке» (см. Рис. 13).

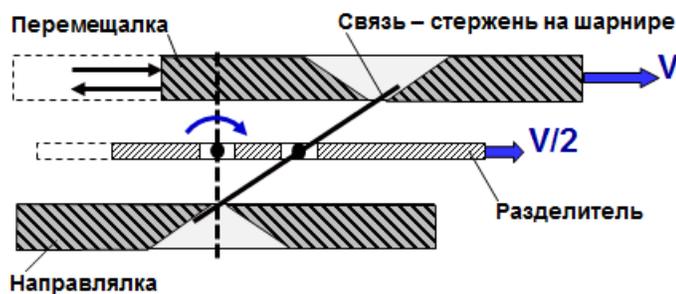


Рис. 13. Связь – стержень в виде телескопического механизма.

Но и эта конструкция имеет свои недостатки:

- нужно организовать нишу для выдвижения стержня внутри «Направлялки» и «Перемещалки», а это усложняет их конструкцию;
- нужно делать шарнир, а это приводит к усложнению конструкции и увеличению габаритов «Разделителя» и Направляющей.

Как быть? Как получить идею связи подходящей конструкции между «Направлялкой», «Разделителем» и «Перемещалкой», соответствующей требованиям Микро-ФП?

При моделировании конфликта, описанного в Микро-ФП с помощью ММЧ мы рассмотрели движение «Перемещалки» из нейтрального положения в крайнее и получили идею «растягивающейся связи».

А если рассмотреть движение «Перемещалки» не из нейтрального положения к крайнему, а наоборот - из крайнего в нейтральное? Ведь «Перемещалка» во время работы может занимать два положения – нейтральное и крайнее.

Представим, что «Перемещалка», находясь в своем крайнем положении, соединена с «Направлялкой» изначально нерастянутой связью, концы которой каким-то образом жестко закреплены на их поверхностях (см. Рис. 14).

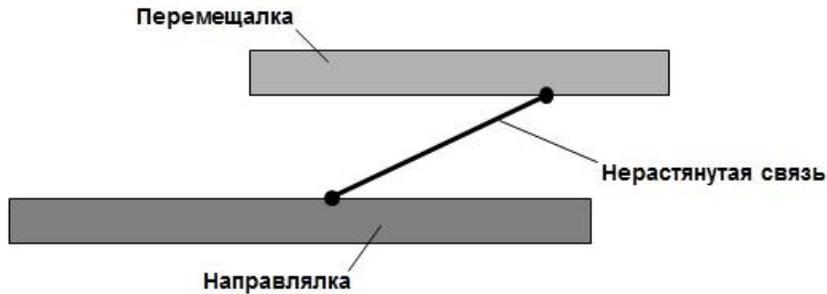


Рис. 14. Нерастянутая связь.

Что произойдет с этой нерастянутой связью при движении «Перемещалки» из крайнего положения в нейтральное? Как в этом случае будет вести себя жесткая нерастянутая связь, например, тонкая стальная проволочка?

Она начнёт изгибаться и, в конце концов, превратится в петлю (см. Рис. 15)!

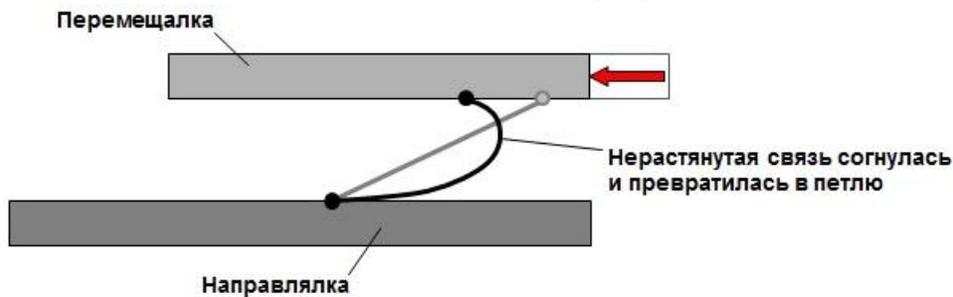


Рис. 15. Нерастянутая связь согнулась в петлю.

А далее средняя точка такой петли будет двигаться за «Перемещалкой» с вдвое меньшей скоростью. Это ещё одна идея решения – связь в виде гибкой упругой петли (см. Рис. 16)!

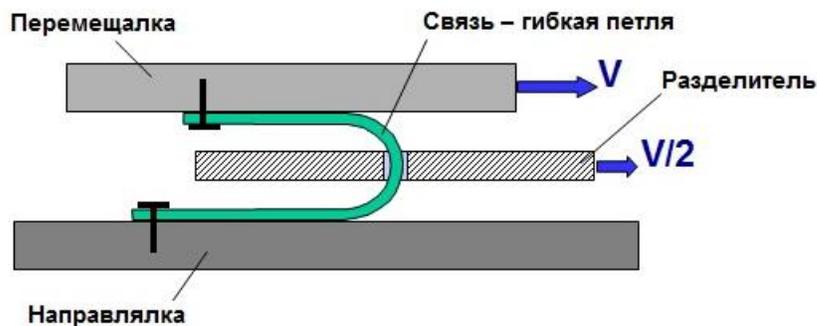


Рис. 16. Связь в виде упругой и гибкой перекатывающейся петли.

Итак, для удовлетворения условий Микро-ФП, надо выполнить связь между «Перемещалкой» и «Направлялкой» в виде перекатывающейся петли, сделанной из тонкого, гибкого и упругого материала, например из полоски пружинной стали, проволоки, струны или пластмассовой ленты, концы которой закреплены на поверхностях «Перемещалки» и «Направлялки»! Такая петля будет проходить через отверстие в «Разделителе», удерживать его от случайных смещений и перемещать с вдвое меньшей

скоростью, чем у «Перемещалки». В результате мы получили простой и принципиально новый компактный механизм принудительного движения «Разделителя», который может быть размещен между «Направлялкой» и «Перемещалкой».

Эту идею можно развить и ещё более упростить конструкцию направляющей, если применить процедуру «Свертывания конструкции» [5] и вовсе удалить «Разделитель». Функцию «Разделителя» - «удерживать шарики в заданном положении» могут выполнять петли механизма принудительного движения «Разделителя». Но поскольку в этом случае, самого «Разделителя» в виде пластины с отверстиями для Шариков уже нет, «Разделителем» становятся эти две петли. В результате мы получили «гибкий Разделитель», которому не нужен механизм принудительного движения, поскольку он САМ точно задает свое движение и управляет движением Шариков (см. Рис. 17).

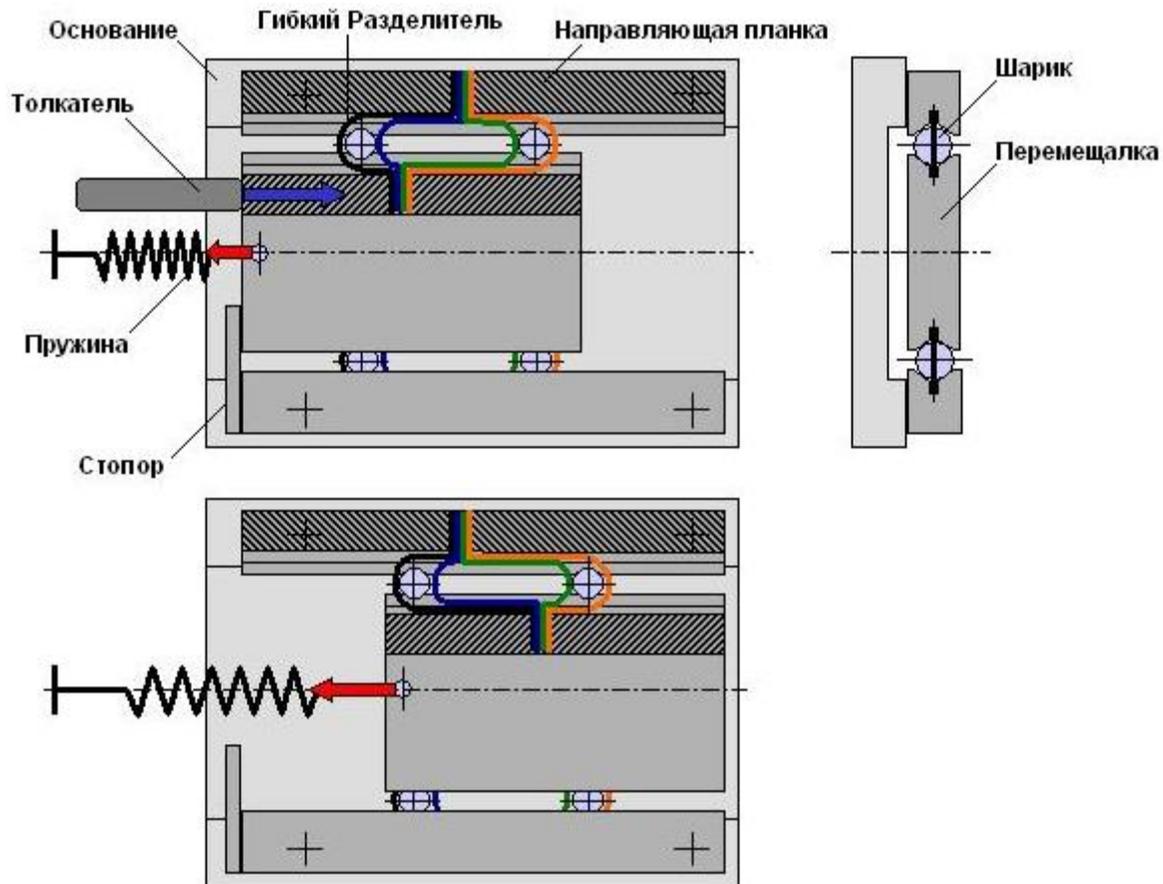


Рис. 17. Гибкий «Разделитель» (сепаратор).

## Выводы

1. Применение АРИЗ–85В позволило выйти на идею принципиально новой конструкции механизма принудительного движения сепаратора в линейных направляющих трения качения в виде упругой перекатывающейся петли.

2. Дальнейшим развитием идеи, изложенной в пункте 1, является полный отказ от механизма принудительного движения сепаратора, если сам сепаратор выполнить из двух петель, удерживающих шарики между собой. Такой «гибкий и упругий сепаратор» САМ управляет своим движением и задает необходимую скорость движения Шарикам. Получился “идеальный” механизм принудительного движения сепаратора – его нет, но его функция выполняется «гибким сепаратором».
3. Получена методическая рекомендация - При устранении конфликта с помощью приема моделирования маленькими человечками (ММЧ), если у устройства есть несколько крайних положений (или режимов работы), то модель маленьких человечков надо построить для каждого крайнего положения устройства и рассмотреть, как будут вести себя человечки в динамике при переходе устройства из одного положения в другое. Это может помочь выйти на идею решения.
4. Дополнительным полезным результатом решения этой задачи является формулирование нового «Геометрического эффекта», связанного с применением «Перекатывающихся гибких тел» - лент, струн и т.п.:  
“Если сложенное гибкое тело (струна, лента, спираль, оболочка и т.п.), разместить между двумя поверхностями и прикрепить к ним его концы, то при смещении одной поверхности относительно другой со скоростью  $V$ , гибкое тело будет перекатываться между поверхностями, а его точка, находящиеся посередине между поверхностями будет смещаться в том же направлении, что и смещаемая поверхность со скоростью  $V/2$ .”

## Литература

1. А. Скуратович, «Требуется идеальность. Задача о несмещаемом сепараторе», журнал «ТРИЗ-профи: эффективные решения», №1, 2005. Zip файл со статьями журнала: <https://www.trizland.ru/trizba/books/1739/>, стр. 138 – 145. В статье показан подробный разбор задачи по АРИЗ-85В до получения идеи решения. Показан один из возможных вариантов выхода на решение. Первую часть разбора задачи, опубликованную в виде кейса «Несмещаемый сепаратор для направляющей трения-качения» и размещенную в открытом доступе можно найти здесь: <https://www.trizland.ru/cases/77/>
2. Литвин Ф.Л. Проектирование механизмов и деталей приборов. Л., “Машиностроение”, 1973, стр. 473 – 475.
3. Патент США 3857618.
4. Альтшуллер Г.С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач. – 3-е изд., дополненное. – Петрозаводск: Скандинавия, 2003.
5. Основные положения методики проведения функционально-стоимостного анализа: Методические рекомендации. – М.: Информ-ФСА, 1991. – 40 с.