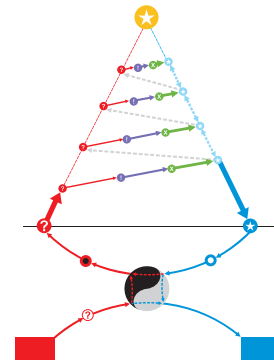


Производство стекла для плоских мониторов



Задача решена с помощью алгоритма исправления проблемных ситуаций

Проблемная ситуация

Одна компания производила тонкое стекло для плоских мониторов. Максимальная ширина пластин готового стекла была 0,7 м. Оборудование для изготовления пластин стекла устроено так: со специальной длинной направляющей плоским потоком стекает жидкое стекло и застывает, образуя стеклянную полосу. Полоса движется вниз, ускоряясь двумя парами роликов. Далее полоса затвердевшего стекла разрезается на куски необходимого размера. Затем стекло упаковывается в ящики.

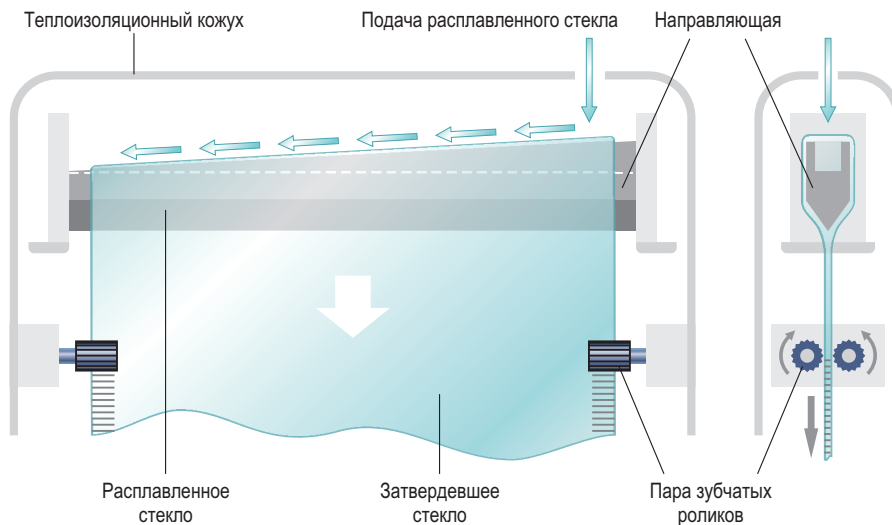
Компания приступила к выпуску стеклянных пластин большего размера — шириной около 1,5 м. Было разработано необходимое оборудование, аналогичное применявшемуся ранее. Опыты показали, что качество стекла удовлетворительно по всем параметрам, кроме одного — поверхность стекла получалась недостаточно ровной.

Обобщим полученную от заказчика информацию о проблемной ситуации.

Главный продукт машины. Пластины тонкого стекла.

Технологический процесс. Расплавленное стекло стекает вниз, застывает и образует полосу шириной 1,5 м. Полоса разрезается на куски нужного размера.

Нежелательный эффект. Стекло получается неровным.



Шаг 1.1. Выявить проблемную область

1.1А. Описание устройства и функционирования машины

Основная часть машины — это направляющая. Снизу она имеет клинообразную форму. В верхней её части выполнена продольная выемка. Направляющая заключена в теплоизоляционный кожух. Жидкое стекло через сопло подаётся на направляющую, растекается по ней, образует ленточный поток и стекает вниз, постепенно застывая.

Ниже направляющей установлены две пары зубчатых роликов, которые ускоряют движение формируемой полосы стекла. Каждая пара роликов приводится электромотором через редуктор. Далее установлены разрезающий и упаковочный модули (на рисунке не показаны).

Пример решения изобретательской задачи

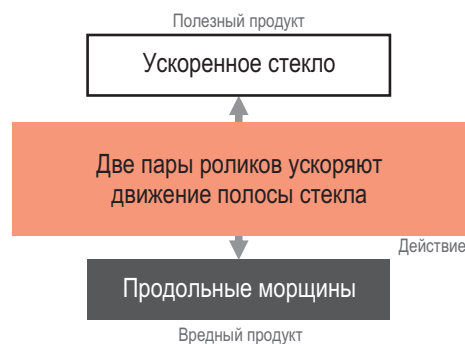
Деформация стекла имеет постоянный характер — продольные морщины. Морщины — это **вредный продукт**.



Чтобы выяснить, в какой момент эти морщины возникают, разберёмся, как организован технологический процесс.



Морщины не могут возникнуть, когда стекло окончательно отвердело. Они не могут возникнуть и в жидком стекле. Соответственно, нужно рассматривать ту часть процесса, когда стекло находится в переходном состоянии. Это этап, когда полоса стекла движется вниз, ускоряемая роликами, и постепенно твердеет. Следовательно, проблемное действие — ускорение движения полосы стекла.



Нужно выяснить, что является вредным действием, создающим на стекле морщины. Для этого попробуем разобраться в сути происходящих процессов. Полоса твердеющего стекла по какой-то причине сморщивается, как если бы её с боков сжимала некая сила. Исследования показали, что средняя часть полосы сморщивается больше, чем её края. Подобное явление может возникнуть, если ускоряющие ролики каким-то образом начнут сжимать незатвердевшую полосу стекла, уменьшать её ширину (так сморщивается сжимаемый с боков кусок ткани). Но ролики установлены довольно точно, положение их не меняется. В чём тогда дело?

1.1Б. Уточнение вредного продукта

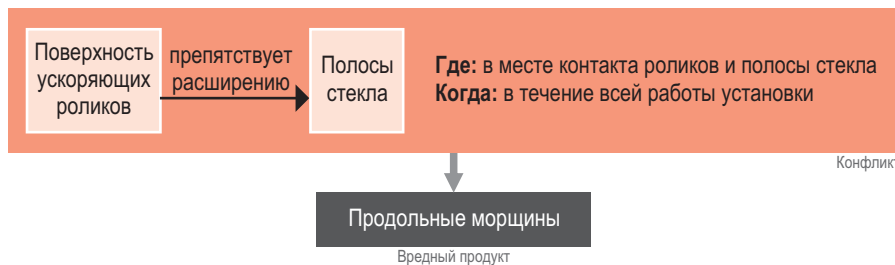
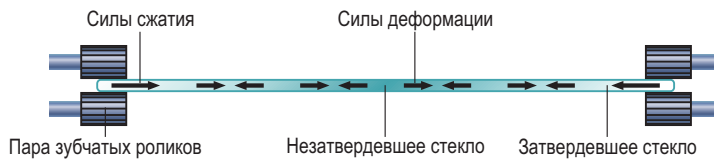
1.1В. Определение вероятной конфликтной зоны

Шаг 1.2. Определить конфликт

1.2А. Описание конфликта

Пример решения изобретательской задачи

Любое нагретое тело, в том числе и полоса стекла, остывает неравномерно. Сначала остывают краевые участки полосы, а середина дольше остаётся горячей и мягкой. Из-за этого стеклянная полоса претерпевает сложные внутренние деформации, в том числе и расширение. А ролики препятствуют этому расширению.

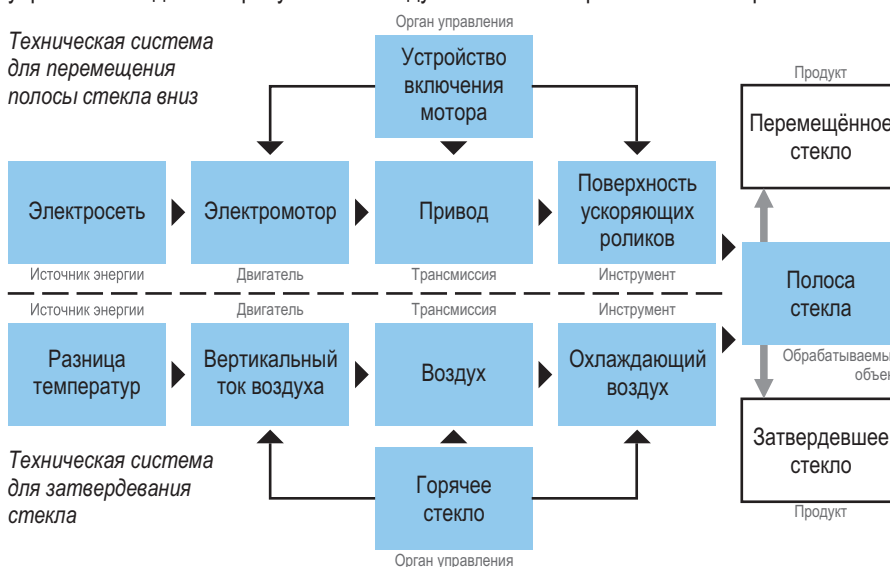


Нежелательный эффект — неровное стекло — приводит к тому, что на экране дисплея возникают блики, и искажается изображение. Такое ухудшение качества конечного продукта недопустимо, конфликт требуется устранить.

Полезное действие — ускорение роликами полосы стекла — сопровождается вредным: созданием препятствия свободному расширению стекла. Конфликтное взаимодействие третьего типа — вредное действие, сопровождающее полезное.

В данном случае действие на обрабатываемый объект комплексное. Одна полезная система работает на перемещение полосы стекла вниз, а другая — на его затвердевание. Чтобы не упустить ничего важного, построим модели обеих полезных систем. «Инструмент», который движет полосу стекла вниз,—это поверхность ускоряющих роликов. Ролики приводятся в действие электромотором («двигатель» полезной системы), энергия от которого передаётся приводом. Энергия в систему поступает от электросети, а управляется система устройством для включения мотора. «Инструмент», обеспечивающий затвердевание стекла, — охлаждающий воздух, который соприкасается со стеклом. «Двигатель» — это вертикальный ток воздуха, обеспечивающий постоянное поступление новых порций холодного воздуха. «Трансмиссия» — воздух. Энергия для работы обеспечивается разницей температур (нагревающийся воздух идёт вверх, холодный подсасывается снизу). «Орган управления» здесь — присутствие в воздушной массе нагретого тела — горячего стекла.

Техническая система для перемещения полосы стекла вниз



1.1Б. Оценка необходимости устранения конфликта

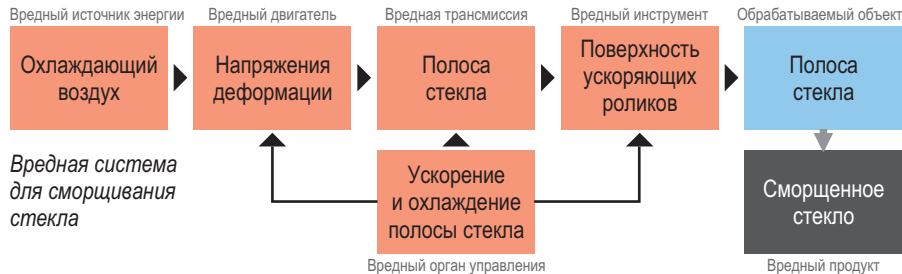
Шаг 1.3. Изучить проблемную область

1.3А. Определение характера конфликта
1.3Б. Моделирование полезной системы

Пример решения изобретательской задачи

Проверим, верно ли мы поняли природу конфликта. Построим модель вредной системы, которая вызывает сморщивание стекла. «Обрабатываемый объект» — полоса стекла. «Вредный инструмент» — поверхность ускоряющих роликов. «Вредным двигателем» являются напряжения деформации полосы стекла при затвердевании. Эти силы передаются к инструменту через саму стеклянную полосу («трансмиссия»). «Вредный источник энергии» — охлаждающий воздух. Управляют работой системы совместные действия: ускорение стекла роликами и его охлаждение.

1.3В. Моделирование вредной системы



Резюмируем: причины появления конфликта в том, что в стекле возникают расширяющие напряжения, а ролики препятствуют свободному расширению полосы стекла.

Чтобы устранить сморщивание полосы, нужно найти способы «сломать» вредную систему. Полосу стекла («вредную трансмиссию») нельзя ни удалить, ни преобразовать. Напряжения, возникающие при деформации застывающего стекла («вредный двигатель»), обусловлены законами природы, их устранить невозможно. А охлаждающий воздух («вредный источник энергии») необходим для работы полезной системы. Единственный компонент вредной системы, который можно преобразовывать — пары роликов («вредный инструмент»).

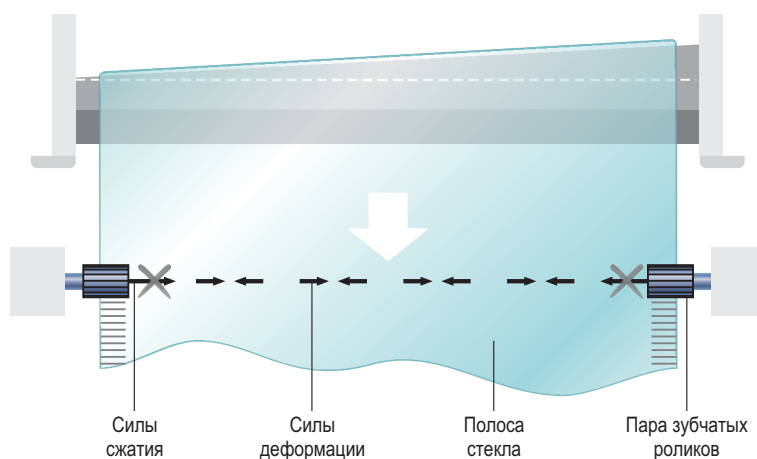
Гипотеза 1. Конфликт можно устранить, если ролики не будут мешать свободному увеличению ширины полосы.

Описание обстоятельств. При производстве пластин стекла плоский поток стеклянного расплава движется сверху вниз и постепенно застывает. При остывании и кристаллизации стекла возникают внутренние напряжения, которые вызывают расширение стеклянной полосы. Зубчатые ускоряющие ролики удерживают края полосы и не дают ей свободно расширяться. Это вызывает сморщивание стекла.

Указание конфликта. Поверхность ускоряющих роликов препятствует расширению полосы стекла.

Гипотеза. Конфликт можно устранить, если ролики не будут мешать свободному увеличению ширины полосы.

Вопрос. Как обеспечить свободное увеличение ширины полосы стекла?



Шаг 1.4. Сформулировать задачи

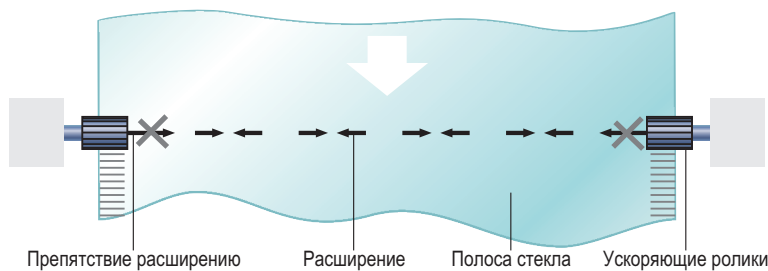
1.4А и 1.4Б Выдвижение гипотез и выбор перспективных гипотез

1.4В. Формулирование задач на основе гипотез



Пример решения изобретательской задачи

Краткая формулировка	Движущаяся полоса стекла стремится расширяться при затвердевании. Ускоряющие ролики препятствуют этому. Нужно обеспечить свободное расширение полосы стекла			
Оперативная зона	Ролики и часть полосы стекла между ними			
Ресурсы	Вещественные	Полевые	Временные	Пространственные
	Ролики; расплавленное стекло; затвердевающее стекло; готовая полоса стекла; технологические дорожки по краям полосы; воздух; кожух; направляющая; электромотор; привод	Сила тяжести; тепловое поле; внутренние напряжения в стекле; поток воздуха; электричество	Всё время производства	Область вокруг роликов
Ограничения	Нельзя изменять температуру, поскольку условия оптимизированы; создавать вибрацию и резкие ударные нагрузки			



Как создать такие условия, чтобы полоса свободно расширялась в боковых направлениях? Самый надёжный способ — удалить компонент, который этому мешает: ускоряющие ролики.

Модель решения 1а
Удалить из конструкции ролики.

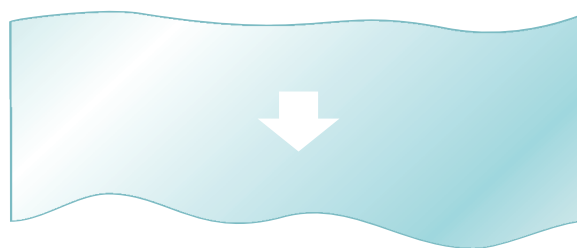
Поскольку компонент, который надо преобразовать, ясен, то нет необходимости составлять список требований к ресурсам.

Предварительное решение 1а

Устранить ролики из конструкции оборудования для производства стекла.



Ускоряющие ролики



Достоинства: стеклянная полоса не деформируется.

Недостатки: из-за того, что ролики не ускоряют полосу стекла при движении вниз, производительность недопустимо снижается.

Очевидно, что это решение неработоспособно. Продолжим работу с задачей, используя данное решение только как основание для формулирования технического противоречия.

Итерация 1. Работа с формализованной моделью задачи

Шаг 2.1. Построить формализованную модель задачи



Шаг 2.1.1. Преобразовать формализованную модель задачи в модель решения



Шаг 2.1.2. Сформулировать требования к ресурсу



Шаг 2.1.3. Сгенерировать предварительное решение



Пример решения изобретательской задачи

В предыдущем решении мы добились того, что стеклянная полоса стала ровнее, т. е. улучшили параметр «форма стеклянной полосы». Однако при этом ухудшилась производительность.

Улучшение параметра «форма стеклянной полосы» приводит к недопустимому ухудшению параметра «производительность».

По таблице противоречий находим рекомендуемые приёмы:

Приём 17. Принцип перехода в другое измерение.

Приём 26. Принцип копирования.

Приём 34. Принцип отброса и регенерации частей.

Приём 10. Принцип предварительного исполнения.

Рекомендацию приёма 17 можно применить к направлению усилий, приложенных к полосе: направить их не только вниз, но и в стороны. Приём 34 не дал подсказок, а вот приёмы 26 и 10 подсказывают две идеи, которые усиливают и развивают предыдущую идею.

Модель решения 2а

Направить усилия от ускоряющих роликов не только вниз, но и в стороны.

Модель решения 2б

Обеспечить боковые усилия введением копии какого-то компонента.

Модель решения 2в

Расположить растягивающие стеклянную полосу компоненты перед парами ускоряющих роликов.

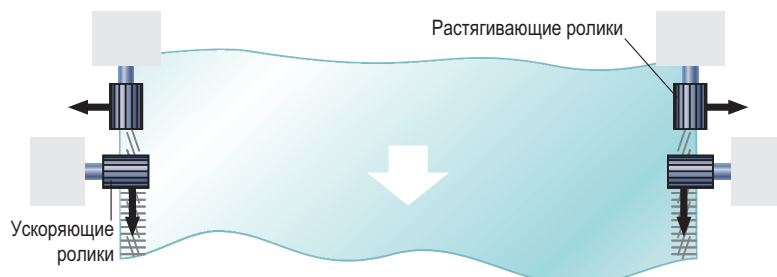
Для реализации этих моделей решения требуется какой-то ресурс. Составим список требований к нему.

Действие и особенности	Растягивать полосу стекла в ширину.
ИКР	Ролики и полоса стекла без дополнительных устройств обеспечивают растягивание полосы в ширину.
Место	Для модели решения 2в: перед парами ускоряющих роликов.
Время	Постоянно
Ограничения	Нет
Доп. требования	Нет

Все модели решения этой итерации можно объединить в одном предварительном решении.

Предварительное решение 2а.

Расположить перед каждой основной парой ускоряющих роликов дополнительную пару аналогичных роликов. Установить дополнительные ролики так, чтобы их оси были параллельны направлению движения полосы, а вращение роликов создавало усилия, растягивающее полосу стекла в стороны.



Достоинства: устраняется деформация стеклянной полосы.

Недостатки: введение дополнительного привода усложняет оборудование; трудно согласовать работу продольных и поперечных роликов.

Итерация 2. Работа с двух-параметрической моделью задачи

Шаг 2.2. Построить двухпараметрическую модель задачи



Шаг 2.2.1. Преобразовать двухпараметрическую модель задачи в модель решения



Шаг 2.2.2. Сформулировать требования к ресурсу

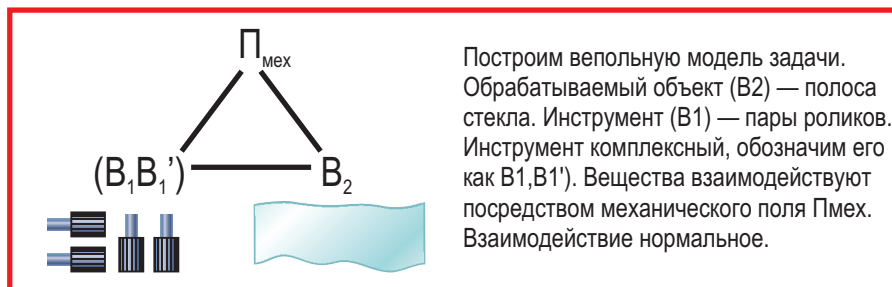


Шаг 2.2.3. Сгенерировать предварительное решение



Пример решения изобретательской задачи

Согласно решению 2а для движения полосы стекла вниз и её растягивания в боковых направлениях применяются четыре пары роликов: по две пары с каждой стороны полосы, при этом одна пара имеет горизонтальную ось вращения, другая — вертикальную. Конструкция получается сложной.



Итерация 3. Работа со структурной моделью задачи

Шаг 2.3. Построить структурную модель задачи



Необходимо упростить систему, представленную веполем. Среди 76 стандартных решений нужно найти подходящий стандарт.

Мы имеем полный веполь, и в нём нет вредных связей, поэтому класс 1 рассматривать не будем. Это не задача на измерение, значит, класс 4 также можно исключить. Стандарты класса 2 предлагают усложнение и форсирование веполей, а наш веполь уже сложный. Остаётся класс 3.

В третьем классе есть два стандарта, описывающих веполи, в которых присутствует полисистема (у нас четыре пары роликов, что соответствует полисистеме).

Стандарт 3.1.3. Увеличение различия между элементами бисистем и полисистем. Эффективность бисистем и полисистем повышается при увеличении различия между элементами системы: от одинаковых элементов к элементам со сдвинутыми характеристиками, затем — к разным элементам и инверсным сочетаниям типа «элемент и антиэлемент».

Наш случай соответствует варианту «элементы со сдвинутыми характеристиками» (разные направления роликов). Следовательно, нужно перейти к разным элементам: функцию растягивания выполняет не ролик, а другой компонент.

Стандарт 3.1.4. Свёртывание бисистем и полисистем. Эффективность бисистем и полисистем повышается при их свёртывании, прежде всего за счёт сокращения вспомогательных частей. Полностью свёрнутые бисистемы и полисистемы снова становятся моносистемами.

Согласно этому стандарту нужно сократить число компонентов — например, объединить разнонаправленные ролики или какие-то их части.

Модель решения 3а

Заменить растягивающий ролик другим компонентом.

Модель решения 3б

Выполнять и продольное, и поперечное движение полосы только двумя парами роликов.

Действие и особенности	Растягивать и ускорять полосу стекла.
ИКР	Две пары роликов без дополнительных устройств обеспечивают ускорение и растягивание полосы в ширину.
Место	В месте контакта с полосой.
Время	Постоянно
Ограничения	Нет
Доп. требования	Нет

Модель решения 3а не рассматриваем, поскольку она не предполагает упрощения системы. Согласно модели решения 3б для ускорения и растягивания стекла нужно использовать только сами ролики, не вводя дополнительные компоненты. Какой атрибут роликов может быть использован в качестве ресурса? Скорее всего, их положение.

Шаг 2.3.1. Преобразовать структурную модель задачи в модель решения



Шаг 2.3.2. Сформулировать требования к ресурсу

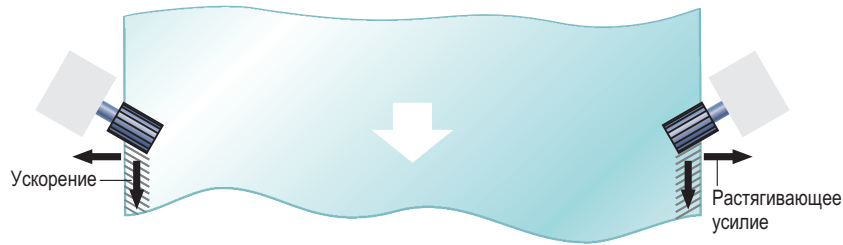


Шаг 2.3.3. Сгенерировать предварительное решение



Предварительное решение 3а.

Установить пары ускоряющих роликов наклонно.



Достоинства: устраняется деформация стеклянной полосы; для привода роликов достаточно двух моторов и редукторов (вместо четырёх).

Недостатки: хотя система в целом упрощается, конструкция самого привода остаётся сложной. Дело в том, что ролики должны стоять наклонно, а это требует переделки станины.

Физическое противоречие строим, исходя из недостатков предварительного решения 3а. Противоречивые требования предъявляются к положению роликов:

- оси роликов должны быть расположены наклонно, чтобы ролики растягивали полосу стекла;
- оси роликов должны быть расположены горизонтально, чтобы не усложнять привод.

Это противоречие можно разрешить системным переходом, который предлагает изменить состояние части компонента, оставив весь компонент в исходном состоянии.

Модель решения 4а

Ролик имеет горизонтальную ось вращения, а его рабочая поверхность обладает свойством «наклонности».

Уточняется ИКР:

ИКР	Рабочие поверхности роликов без дополнительных устройств обеспечивают ускорение и растягивание полосы в ширину.
------------	---

В качестве ресурса можно использовать особенности рельефа поверхности. В исходном варианте системы ролики имеют мелкие зубья, расположенные параллельно оси. Можно изменить их форму.

Предварительное решение 4а.

Установить ускоряющие ролики горизонтально, а зубья на их рабочих поверхностях нарезать по спирали.



Достоинства: устраняется деформация стеклянной полосы.

Недостатки: значимых недостатков нет.

Итерация 4.
Работа с однопараметрической моделью задачи

Шаг 2.4. Построить однопараметрическую модель задачи



Шаг 2.4.1. Преобразовать однопараметрическую модель задачи в модель решения



Шаг 2.4.2. Сформулировать требования к ресурсу



Шаг 2.4.3. Сгенерировать предварительное решение



Пример решения изобретательской задачи

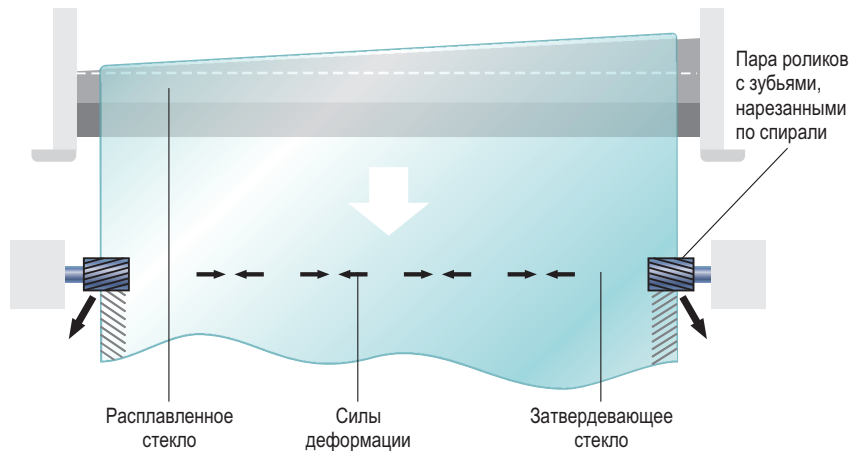
Из всей совокупности предварительных решений только решение 4a не имеет значимых недостатков. Оно наиболее близко к идеальному, поскольку не требует введения новых компонентов, изменения конструкции или технологического процесса. Необходимо только изменить форму рабочей поверхности ролика. Следовательно, указанное решение можно принять в качестве финального.

Шаг 2.6.
Построить
финальное
решение



Финальное решение

В существующей конструкции оборудования для производства стеклянных пластин заменить ускоряющие ролики. Вместо них установить ролики, у которых зубья на рабочих поверхностях нарезаны по спирали.



Переход от финального решения к техническому предложению не вызвал больших сложностей. Параметры зубьев (высота, шаг, форма) уже оптимизированы ранее для роликов с прямыми зубьями.

Поскольку растягивающее усилие зависит от угла наклона спиральных зубьев роликов, для оптимизации их установки понадобились расчёты и несколько экспериментов.

Предложенное решение технологично — необходимо лишь изготовить новые ролики. Устройство привода менять не нужно. Для изготовления новых роликов специальное оборудование не требуется.

Шаг 3.1.
Составить
техническое
предложение

Применение роликов со спиральными зубьями обеспечивает устойчивое движение полосы стекла вниз с её одновременным растягиванием в стороны. Поверхность стекла получается ровной.

Анализ улучшенной ситуации полностью удовлетворил заказчика. Он отметил, что решение почти идеально: затраты на устранение проблемы минимальны.

Проблемная ситуация исправлена.

Шаг 3.2.
Оценить
устранение
конфликта