

Как выбрать задачу

(из картотеки Волгоградской школы ТРИЗ)

©, А. Кудрявцев

Весной 1978 года я проводил занятия в школе изобретательского творчества на одном из предприятий города. Группа подобралась сильная - половина слушателей уже прошли обучение по 40 - часовой программе, получили книги и массу учебных пособий. Они знали ответы многих задействованных в курсе учебных задач и мне приходилось разрываться между необходимостью давать задачи попроще - для новичков, и посложнее - для "профессионалов".

Так, разрываясь, мы прошли две трети пути. И вот тут мне показалось, что надо как-то изменить, оживить обстановку.

И возникла светлая идея. Пусть профессионалы поварятся в собственном соку, а я пока займусь с новичками.

На очередном занятии я заявил:

- С сегодняшнего дня начинаем решать задачи, которые волнуют производство в настоящее время. У кого есть такая задача?

Тишина. Я повторил вопрос. Класс подавленно молчал. И верно, для того, чтобы сформулировать задачу, подготовиться к рассказу о ней - надо время. А тут - вопросы в лоб. Оставалось одно - уйти от этой темы. Я совсем было собрался обратить вред в пользу и произнести короткое, но энергичное наставление о необходимости искать задачи, как вдруг из - за последнего стола поднялась симпатичная девушка в желтой пушистой кофте и сказала:

- У меня есть задача.

- Очень хорошо, - сказал я, - идите к доске, сейчас мы ее решим.

Она подошла к доске и начала рассказывать.

- При производстве одного **ОЧЕНЬ ВАЖНОГО ПРОДУКТА** необходимо иметь как полуфабрикат вещество "Ф" (и она написала на доске длинную формулу). Чистота этого вещества должна быть не ниже 98%. А у нас получается 20-30% примеси.

Здесь девушка замолчала, потом с надеждой посмотрела на меня и добавила

- Как быть?

- Понятно... И где же очищают это самое "вещество Ф"?

Оказалось, что очищают его в ректификационной колонне. Я потребовал разъяснений. Например, очень интересно узнать, как работает эта самая колонна. Девушка удивилась. Наверное тому, что есть еще такие безграмотные люди.

Мне стало стыдно. Я стал оправдываться тем, что в общих чертах знаю, как она работает, но наверняка здесь есть масса тонкостей.

Народ оживился. Тонкости действительно были. В итоге к доске выскочило еще три человека, они принялись рисовать колонны и рассказывать о них. Остальные помогали

с места. Стихийно вспыхивали споры. Я подумал о том, что занятие пропало, и стал слушать и задавать вопросы.

Задача, которая первоначально звучала: "В продукте много примесей", довольно быстро заменилась другой: "Колонна не обеспечивает...". Здесь профессионалы забуксовали. С большим трудом удалось выяснить, что если бы в колонне, в верхней ее части, удалось повесить вакуум еще на 400 мм водного столба, то все было бы хорошо.

Это уже было кое-что. Мы выходили на физику процесса.

- Почему же не удастся повесить этот вакуум? - спросил я.

Установленный специально для этой цели насос не обеспечивает нужных параметров, - веско сказал солидный дядя, главный приборист одного из производств.

- Поставьте более мощный насос, - блеснул я гениальной идеей. - Или все равно не получается?

- Не знаю, - сказала девушка в желтой кофте. - Мы еще не пробовали.

- Ну, так пусть попробуют, да и дело с концом.

- А у них все равно ничего не получится, - сказал солидный дядя. - У тарелок слишком большое гидросопротивление.

Так задача снова изменилась. Теперь она была про тарелки.

Итак, ректификационная колонна - это вертикально стоящая труба, заполненная большим количеством перегородок - тарелок.

Снизу колонна подогревается, сверху охлаждается. Очищаемый продукт вводят в среднюю часть, а забирают полученные в результате разделения вещества сверху и снизу.

Если говорить очень упрощенно, то в колонне можно наблюдать два встречных потока. Снизу вверх поднимаются пары, сверху вниз спускается жидкость. Они контактируют друг с другом на тарелках. Во время контакта происходит тепло- и массообмен. Жидкость нагревается, часть ее переходит в пар и идет вверх. Пар охлаждается, часть его переходит в жидкость и спускается вниз. Так, постепенно из жидкости вымываются наиболее легкокипящие компоненты, которые и достигают верха колонны. Их отсасывают насосом, охлаждают. Часть продукта отводится, часть поступает обратно в колонну и орошает ее сверху для более качественной очистки поднимающегося пара. В нижнем нагреваемом контуре происходит накопление другого компонента, который тоже отводится...

В задаче все ясней проступало противоречие, лежащее в принципе работы тарелки. Увеличивая гидросопротивление, мы улучшаем тепло- и массоперенос во встречных потоках жидкости и пара, но закрываем путь пару наверх. Уменьшив гидросопротивление, мы создадим равномерный перепад давления по всей высоте колонны, но ухудшим тепло- и массообмен.

В нашей колонне перепад давлений существовал только по краям, в центре колонны тарелки были заполнены жидкостью, пар не рвался вверх и продукт выходил не очищенным в нужной степени. Сложность заключалась еще и в том, что очищенный продукт имел почти ту же температуру кипения, что и примесь. В высоких инстанциях было решено, что нужно ставить вторую такую же колонну для дальнейшей очистки. А пока предприятие систематически не выполняло план по одному из продуктов.

Окончание рабочего дня прервало наши разговоры. По дороге домой я зашел в заводскую библиотеку и взял толстую книгу по технологии ректификации. До следующего занятия оставалось два дня, это время я провел, читая специальную литературу и формулируя различные варианты решений.

У меня ничего не получалось. Впереди светила хорошенькая перспектива опозориться на первой же практической задаче. Интересно, как тогда посмотрит на меня девушка в желтой кофте?

И вдруг все стало ясно и понятно. Ясно, где в рассуждениях кроется ошибка и понятно, как действовать дальше. Сам виноват - практическую задачу принялся решать как учебную - с шага 2.1. (Поясню для сегодняшнего читателя, что речь в повествовании идет о версии алгоритма - "АРИЗ-77". В этой модификации все еще была первая часть, отвечающая за обработку исходной ситуации. В последующих модификациях алгоритма эта часть была удалена, анализ начинается сразу с построения модели в форме технического противоречия - А.К.) Сбило с толку обсуждение в классе. На задачу о тарелках вышли специалисты. А что они понимают в задачах - эти специалисты? Тарелка - это же до блеска вылизанный элемент - начал я на радостях каламбурить. Противоречие, с таким трудом выявленное мной, лежит для специалистов на поверхности, именно его и пытаются разрешить конструктора. Нет, не пойду я по этому скользкому пути. А по какому идти? Начнем решать с первой стадии, а там посмотрим.

На следующем занятии мы стали решать задачу с шага 1.1. (АРИЗ-77)

Шаг 1.1.

А) Объект, характеристики которого мы будем менять - ректификационная колонна.

Мы решили, что нужно обеспечить равномерный перепад давлений по всей высоте колонны.

Б) Нельзя уменьшать число тарелок, степень очистки продукта, температуру вверху и внизу, менять химический состав участвующих элементов.

В) Если задача будет решена, цех сможет дать продукцию.

Г) Установка дополнительной колонны должна занять по расчетам не меньше 6 месяцев. За это время цех недодаст продукции на сумму в 8,1 миллиона рублей.

То есть, если бы можно было бы включить производство завтра, то завод пошел бы на расходы в 6-7 миллионов рублей.

Предположим, что решение будет отработываться, согласовываться и выполняться в течение четырех месяцев. Значит затраты не должны будут превышать 1 миллион рублей. Вдохновляющие цифры.

Д) Надо повысить качество очистки - выпускать продукт нужной чистоты (98%).

Шаг 1.2.

А) Для колонны надсистемой будет вся технологическая схема. Для нее можно сформулировать задачу: получение продукта Ф, не требующего очистки.

Б) Подсистема - мы взяли в качестве подсистемы входящее в колонну вещество Ф + загрязнения.

Задача, которую можно решать здесь - обеспечение самостоятельного отделения загрязнений от продукта.

В) Обратные задачи:

В.1. Для системы - Обеспечить резкопеременный перепад давления по высоте или вообще отсутствие перепада давления в колонне.

Для надсистемы - получить продукт с примесями, которые невозможно удалить. Использовать эти примеси для придания конечному изделию дополнительных функций.

Для подсистемы - эта задача совпала с обратной задачей в надсистеме.

Шаг 1.3.

Мы тщательно проанализировали все поставленные задачи. Наиболее заманчиво звучала прямая задача для надсистемы. "Получить сразу чистый продукт, освободиться вообще от ректификационной колонны".

Эту задачу и выбрали для дальнейшего решения. Отдельные робкие голоса, прочившие неуспех, радовали меня. Что может больше говорить о близости решения, чем скептицизм специалиста?

Выход в надсистему потребовал новых знаний. Начался новый цикл работы. Теперь предстояло выяснить как получается "вещество Ф".

Вот итоги этого расследования:

Чтобы получить "вещество Ф" надо провести химическую реакцию.

Запишем ее так: $A + B = \Phi$

Один из компонентов (например В) сам по себе является неустойчивым соединением. Время его существования - 3 секунды. Итак, сначала делают вещество "В". Необходимые компоненты подаются в смеситель (длинную трубу с завихрителями), где сильно турбулизуются. Двигаясь по трубе, вещества взаимодействуют друг с другом. Рассчитано, что полностью они прореагируют через две секунды. Таким образом, части "В", образовавшейся первой, останется существовать не больше секунды. За это время "В" должно прореагировать с "А" или безвозвратно разложиться на простые составляющие. Большая стоимость вещества "В" приводит к необходимости обеспечить стопроцентное взаимодействие его с "А". И вот для того, чтобы за 1 секунду все вещество "В" успело встретиться с "А", во вторую ступень смесителя подают в 20 раз больше "А", чем надо для обеспечения реакции.

И получается $A(20) + B(1) = \Phi(1) + A(19)$.

Девятнадцать частей ни с чем не прореагировавшего и прекрасно растворяющего в себе "Ф" вещества, которое затем с муками отделяют в известной нам колонне.

Наконец-то мы сформулировали задачу:

Как смешать А и В за 1 секунду без избыточного количества А?

Шаг 1.4.

Время - 1 сек.

Количество реагирующих компонентов 150 куб см *2.

Шаг 1.5.

Время остается тем же - 1 сек.

Количество компонентов может быть увеличено до 500 см сек * 2.

Шаг 1.6.

А) Должна быть возможность изготовления устройства на предприятии и эксплуатации его без переучивания персонала.

Б) Масштаб внедрения - одна установка.

Шаг 1.7.

Задача не решается прямым применением стандарта.

Шаг 1.8.

Во время решения были просмотрены учебники по химической технологии. Использовался также личный опыт решающих.

А) Основными средствами перемешивания жидкостей являются:

1. Механическое перемешивание
2. Барботаж
3. Встречные струи

Ускорение процесса перемешивания решается повсеместно также, как и в данной нам исходной ситуации - увеличением количества одного из компонентов. Начинают использовать также и ультразвук.

Б) В ракетной технике перемешивание топлива и окислителя (в ЖРД) происходит при впрыске компонентов в камеру под давлением примерно в 200 атмосфер. В нагретой камере происходит испарение компонентов и смешение паров.

Шаг 1.9. Оператор РВС

А) Дано по 1 молекуле каждого вещества. Для того, чтобы они прореагировали, надо чтобы они встретились. Выстрелим одной молекулой в другую - задача решена.

Б) Каждого из компонентов - помногу тонн.

Распределим каждый из компонентов по поверхности в виде пленки толщиной в одну молекулу. Схлопываем эти поверхности - реакция произошла.

В) Время, отведенное на встречу = 0. Предположим, одна десятитысячная секунды. Молекулы надо соединить заранее, но оставить между ними какую-то "подпорку". В нужный момент "подпорка" выбивается. Т.е время на поиск сведено к нулю.

Г) Задача исчезает.

Д) Молекулы сами ищут друг друга (родство душ).

Е) Здесь может быть все, что угодно. Следящая система определяет, где находится еще не прореагировавшая молекула и выстреливает в нее молекулой - партнером.

По итогам применения оператора РВС можно определить направление решения. Нам нужна система, которая производила бы ориентацию молекул в пространстве или осуществляла бы их взаимный поиск. Хаотичное движение здесь не годится.

На запись приведенных выше шагов ушло полтора часа. Продолжали решать задачу уже на следующем занятии.

На следующем занятии решение начали с привычной всем аналитической стадии.

Шаг 2.1.

Задача

Для получения продукта "Ф" необходимо смешать компоненты "А" и "В", но необходимое для реакции количество "А" не успевает прореагировать с "В" до начала его разложения. Как смешать "А" и "В" за 1 секунду без избыточного количества "А"?

В комментарии к задачам третьего выпуска сборника учебных задач (Волгоград, 1979 год) были даны некоторые разъяснения, позволяющие проследить дальнейший ход решения этой задачи. Привожу их ниже.

Техническое противоречие (ТП)

А) Обеспечение полного (100%) использования неустойчивого вещества "В" за счет использования избыточного количества устойчивого вещества "А" приводит к загрязнению конечного продукта "Ф".

Б) Улучшение чистоты конечного продукта "Ф" за счет уменьшения количества вещества "А" (до нормативного для реакции синтеза) ведет к недопустимым потерям непрореагировавшей части вещества "Ф".

Изменяемый элемент (ИЭ)

Вещества "А" и "В" нельзя менять, выбираем Внешнюю среду (ВС)

Из второй формулировки ТП следует, что требуется заставить все молекулы (частицы) вещества "В" одновременно вступить в реакцию. И для этого их необходимо как-то разделить предварительно, чтобы они не мешали друг другу. Так же следует поступить с веществом "А". Это действие должна совершить ВС.

ИКР:

ВС сама способствует соединению разнородных веществ, предотвращая соединение частиц одного вещества.

Физическое противоречие (ФП)

Выделенная зона ВС должна быть, чтобы препятствовать соединению однородных частиц вещества и ее не должно быть, чтобы не препятствовать соединению разнородных веществ.

Решение:

При решении ответ стал очевиден после четкой формулировки ИКР: частицы "А" и "В" надо заряжать электрическими зарядами разных знаков.

Интерес представляет обзор последующих событий, произошедших вокруг этой задачи.

В задачнике, который подготовила Волгоградская школа ТРИЗ, задача была помещена на почетное первое место. Во многом этому способствовало наличие анализа ситуации по первой части АРИЗ-77 - количество таких примеров тогда было катастрофически недостаточным. Заканчивался разбор скромным упоминанием о том, что оформляется заявка на авторское свидетельство.

ТРИЗовским сообществом разбор был встречен в целом позитивно. Предложение использовать поля в качестве инструмента отвечает основному направлению развития систем, повышению идеализации через переход инструмента на микроуровень.

Появились даже ссылки на решение этой задачи в некоторых изданиях, она приводилась уже как пример решенной задачи, как иллюстрация именно использования электростатических полей в качестве инструмента для соединения компонентов при химическом синтезе.

Однако, в реальности ситуация была совсем не радужной. Заявка на изобретение так и не была подана, эксперименты затянулись и привели к неожиданным для меня выводам. Чистота продукта на выходе из ректификационной колонны была увеличена до требуемого по регламенту, но сделано это было совсем на других принципах. Параллельно всему шло строительство второй ректификационной колонны, то есть народные деньги сберечь также не удалось.

Об этих событиях мы и поговорим.

Сразу после получения идеи об использовании электростатики в качестве средства соединения разнородных молекул, в учебной группе также произошла поляризация. Мнения по поводу решения резко разделились. Молодые инженеры и технологи были потрясены открывающимися перспективами, а народ посолиднее был настроен скептически. Общий настрой этой части населения я тогда охарактеризовал словами А. Платонова из рассказа "Лампочка Ильича": "Изобретатели... Землю липистричеством мазать хотят, дождю пущать. Да только ни хрена не выйдет, тут иностранец нужен". На производстве к этому времени уже был принят свой план работ по повышению качества продукта. Основная ставка делалась на него. Нашу идею руководство комбината посчитало авантюрой, но проверять ее не запретило.

Нужны были решающие эксперименты.

Они проводились на базе нашей лаборатории. План работ включал в себя несколько пунктов. Во-первых, нужно было наладить установку, обеспечивающую распыл и "электризацию" жидкости. Эти работы проводились на дистиллированной воде. Эжектор распылял воду, факел распыла охватывало металлическое кольцо, на которое подавалось высокое напряжение. Несмотря на элементарную принципиальную схему, сил и времени этот этап отнял очень много. Поиски оптимального места размещения высоковольтного электрода потребовали разработки и проведения внутренней подпрограммы исследований. Так, самостоятельной подзадачей (и довольно сложной в практической реализации) стало решение вопроса об измерении уровня электризации капель в распыле.

Уже на этой стадии работ произошли некоторые конфликты, пока внутрिलाбораторного характера. Распыляемые облака воды мигрировали по лаборатории и передавали заряд на шкафы, стенды, мебель, даже на комнатные растения. Сотрудников било током при

соприкосновении с самыми неожиданными предметами, например оконными стеклами. Поэтому работы было настоятельно рекомендовано перенести на вечернее время или выходные дни.

По выходным в лаборатории визжал эжектор, жили своей таинственной жизнью заряженные облака и пахло утренней свежестью.

Уже на этой стадии стало ясно, что легкой победы не предвидится. Даже повышение напряжения на электродах до предельных для наших условий 30 киловольт, не давало требуемого эффекта. Постепенно пришло осознание того, что даже мелкая капля - это макрообъект. Наши теоретики считали и доказывали, что размещение на капле заряда дает возможность изменять траекторию только на расстояниях в несколько миллиметров от капли - антагониста. А учитывая значительные скорости, на которых капли пролетают мимо друг друга, можно получить оценки повышения эффективности всего в несколько процентов. Более заметен эффект распушения струи, происходящий в связи с отталкиванием друг от друга летящих рядом капель.

Если же учесть, что распыл жидкости сам по себе уже создает значительно меньшие плотности распределения условных объемов вещества (капель) в пространстве, чем при их плотной упаковке в собственно жидкости, то становится ясным, что предложенный принцип не может быть эффективно использован для решения конкретной задачи.

Несмотря на такую "теоретическую" обреченность было решено опыты продолжать, и после отработки установки на дистиллированной воде перейти к экспериментам на реальных компонентах. Вернее, на одном - долгоживущем и наименее вредном для здоровья человека. Тем не менее, эксперименты пришлось перенести из лаборатории на открытую площадку.

Окончательно погубило данную идею то обстоятельство, что компонент, представлявший собой довольно сложное химическое соединение, активно взаимодействовал с воздухом в процессе распыла. Окисленный, он становился для нас неинтересным. Примерно по той же причине не устраивало использование водяного пара. Переход промышленного эжектора на работу от азота или углекислого газа, по расчетам экономиста должен был разорить комбинат в самое ближайшее время. (Оставалось еще несколько возможных путей получения факела вещества. Например, распыление через фильтр под действием высокого давления, или создание мелких капель ультразвуком. Но первую из этих альтернатив загубили технологи производства, а от второй пришлось отказаться самим - реально достигнутые в лаборатории объемы распыления были на пару порядков меньше, чем требуемые по условиям 300 кубических сантиметров в секунду).

После этой стадии эксперименты по электростатическому соединению разнородных компонентов были прекращены.

А цех примерно в то же самое время вышел на производство продукта требуемой чистоты. Основную роль в этом сыграл технолог производства (вышеупомянутая девушка в желтой кофте), однако присутствовали и скромные усилия нашей лаборатории.

Программа повышения качества продукта включала в себя следующие пункты:

Определение в реакции синтеза минимально достаточной избыточности долгоживущего компонента. (При проведении скрупулезного анализа технических условий настораживала "круглая цифра" - долгоживущего компонента требовалось добавлять в 20 раз больше). Решено было проверить - может быть достаточно и 19,5? В реальности оказалось, что достаточно иметь коэффициент превышения в 15 - 17. Это уже чуть облегчило работу ректификационной колонны.

Следующим направлением работ было определение условий, при которых продляется "жизнь" короткоживущего компонента. Оказалось, что существует набор внешних условий (температура, давление), при которых компонент живет свыше четырех секунд, а возможности для эффективного синтеза на следующей стадии еще не потеряны. Это позволило снизить коэффициент избыточности сразу в несколько раз - до пяти. С таким соотношением уже вполне могло справиться имеющееся на производстве оборудование.

Обеспечение скрупулезного соблюдения этих условий в реальных цеховых условиях потребовало реализации большого количества мероприятий, часто мелких и очень технически не интересных. Их выполнение растянулось на много месяцев. За это время была установлена вторая ректификационная колонна и цех начал давать план в условиях первоначального регламента. А работа по обеспечению нового регламента все продолжалась...

И только через полтора года задача была решена окончательно. Вторую ректификационную колонну отключили от схемы и использовали в других целях.

Я привожу этот разбор и рассказываю о событиях, которые происходили вокруг и за кадром для того, чтобы еще раз обратить внимание решателей, использующих методы, на два очень важных обстоятельства:

Во-первых, предварительная работа с исходной ситуацией является критически важной и никогда не может считаться законченной.

Во вторых, выход на стандартное средство решения не может сам по себе гарантировать успешности и эффективности. Обязательно необходима адаптация принципа к конкретной ситуации, оценка возможностей и ограничений. Методы могут эффективно работать только в ситуации полной ясности о всем комплексе реально влияющих факторов. Без углубленной и детальной проработки особенностей ситуации, использование методов вместо победного марша может быстро превратиться в отступление по всем фронтам.

Всем красивых и реальных решений!

* * *

<http://www.trizland.ru>