

(от Девойно) УСЛОЖНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ 1. Введение Развитие технические систем (ТС) есть сложный диалектический процесс, в котором сочетаются одновременно несколько противоположных тенденций [1]: свертывание подсистем и систем и усложнение. Линия свертывания систем соответствует закону повышения идеальности ТС [2]. Механизмы свертывания ТС являются сейчас объектом тщательного изучения и в этом направлении достигнуты определенные результаты. В частности, в [1] свертывание представляется как результат образования "идеальных веществ". В [3] для совершенствования ТС и технологических процессов сформулированы конкретные правила следующего типа: деталь можно не делать, если [условия выполнения правила]; технологическую операцию можно не делать, если [условия выполнения правила] и пр. Что касается реализации тенденции усложнения ТС, то и в этом направлении сделаны определенные шаги. Одна из наиболее существенных выявленных линий - объединение систем по линии моно-, би-, полисистемы [4]. Сама классификация би- и полисистем достаточно развернута и сложна. Би- и полисистемы бывают однородные и разнородные, однофункциональные и многофункциональные и т. д. Классификация охватывает все встречающиеся типы сложных систем и дает ответ на вопрос, какими бывают сложные системы. В работе [5] рассматриваются возможности бисистем. В настоящее время наиболее интенсивные исследования ведутся по вопросам синтеза сложных ТС и, в частности, по вопросам проявления системных свойств при объединении технических систем. В настоящей работе с функциональной точки зрения рассматривается вопрос, какие системы объединятся в сложные системы при развитии ТС. Вопрос рассмотрен для систем иерархического уровней "одно-родный механизм", "неоднородный механизм", "машина", "агрегат" по классификации Г. С. Альтшуллера [7], но основные положения применимы и для других уровней иерархии. 2. Усложнение ТС как процесс объединения ТС Появление любой ТС связано с процессами усложнения: традиционно рассматриваемую схему (двигатель, трансмиссия, рабочий орган, управление), отражающую состав ТС, можно представить как сложную многофункциональную неоднородную полисистему. В процессе синтеза ТС более простые системы объединяются, обеспечивая минимальную работоспособность создаваемой ТС. Другими словами, первым

этапом создания любой ТС является объединение разнородных разнофункциональных систем, обеспечивающих ее минимальную работоспособность - "функциональный центр" [6]. Конечно, при этом одновременно происходит процесс свертывания, в результате чего образуются частично (очень редко - полностью) свернутые системы. Дальнейшее наращивание дополнительных подсистем связано с несколькими направлениями развития ТС. Во-первых, при усложнении достигается повышение эффективности выполнения функций уже существующих подсистем за счет их свертывания в более сложные, но и более эффективные системы. Это не приводит к появлению новых функций ТС.

Пример 1. Мощные диоды снабжают радиаторами для интенсификации охлаждения. Дальнейшее развитие подсистемы радиатор связано, например, с использованием в нем тепловой трубы, что позволяет на несколько порядков интенсифицировать процесс теплоотвода. Эффективность радиатора возросла за счет его разворачивания в более сложную систему. Вторым случаем, при котором происходит появление дополнительных подсистем, является взаимодействие с надсистемами: принятие ТС на себя выполнения функций надсистемы. ТС может выполнять часть функций надсистемы или, наоборот, передавать свои функции надсистеме. Эти варианты более подробно рассмотрены ниже.

3. Взаимосвязи ТС с внешней средой Взаимосвязи ТС с окружающими ее техническими и другими системами можно упрощенно отразить с помощью схемы, показанной на рис. 1.

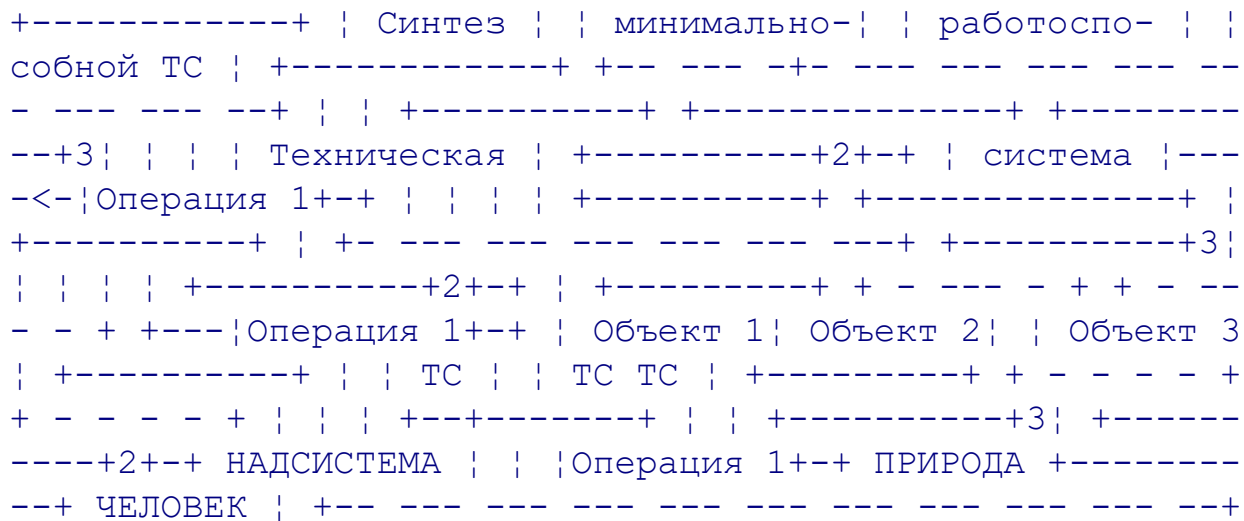
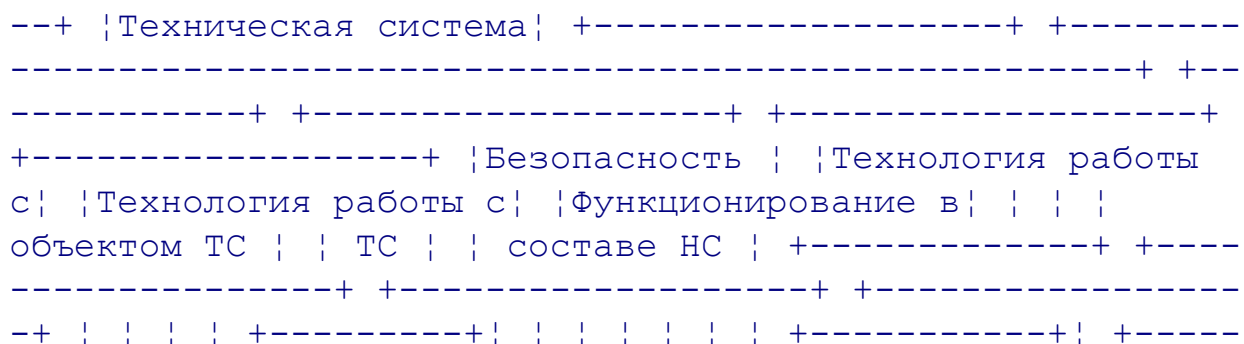


Рис.1. Схема взаимодействия ТС с внешней средой. ТС предназначена для осуществления для выполнения своей главной функции - воздействия на какой-то объект 1 или на целую группу объектов (1, 2, 3...). Эти объекты могут несколько отличаться и поэтому воздействия на них

требуются различные. Воздействие на один объект характерно для специализированных ТС. Ими могут быть как "отдельные" ТС, так и системы, являющиеся подсистемами более крупных ТС. Системы, которые предназначены для воздействия на целую группу объектов, более универсальны. Действия, выполняемые рабочими органами такой системы, могут в определенной степени изменяться в зависимости от обрабатываемого объекта. Вместе с тем, главная функция технической системы представляет собой чаще всего лишь одну или несколько операций над обрабатываемым объектом, в то время как для полного преобразования этого объекта из "сырья" в "изделие" требуется гораздо большее количество операций. С самой ТС осуществляют целый ряд операций, не относящихся к процессу выполнения ей главной функции: хранить, перевозить, обслуживать, ремонтировать и пр. В окружающей ТС надсистеме также есть много технических и природных систем, имеющих (или потенциально имеющих) отношение к функционированию данной ТС. Эти системы могут оказывать на ТС вредное воздействие или, наоборот, подвергаться вредному воздействию со стороны ТС, "требовать" каких-то согласованных действий и пр. Анализ ТС показывает, что их усложнение связано как раз с выполнением описанных выше трех классов дополнительных функций, тех, которых не было в минимально работоспособной ТС. То есть в состав ТС могут быть введены подсистемы, которые выполняют функции:

"обработки" объекта функции или класса объектов функций (что должна делать ТС над объектом или группой объектов); обслуживания самой ТС на разных этапах жизненного цикла (что нужно делать с самой ТС для поддержания работоспособности); операций, выполняемых в надсистеме ТС (что должна делать ТС для функционирования в условиях надсистемы или нескольких надсистем). Рассмотрим более подробно эти функции. 4. Дополнительные функции ТС На рис 2 показаны функции, которыми может выполнять ТС, исходя из ее взаимодействий с внешней средой. +-----



```

-----+ | |транспор-|| | | | +-----+ | |
|воздействие|| |воздействие| | |тировка || | | |
|реализация|| | |ТС на внеш-|| |на 1 объект| | +-----
+| | | | |функций НС|| | | |нюю среду || +-----+ | +
-----+| | | +-----+| | +-----+| +-----
+ |хранение|| | | +-----+| | |воздействие| +-----
+| | | |взаимодей-|| +-----+ |на разные | +-----
---+| | | |ствие с || |воздействие | |классы |
|эксплуата-|| | |другими ТС|| !!! |внешней сре-| |
объектов | | |ция || | +-----+| | |ды на ТС | +-----
-----+ +-----+| | | +-----+ +-----+| +-----
-----+ |обслужи-|| |использование| |вание ||
|ресурсов ТС | +-----+| +-----+ +-----+
|утилизация| +-----+

```

Рис. 2. Основные виды дополнительные функций ТС. На этом рисунке помимо выделенных трех классов дополнительных функций ТС в отдельный класс вынесены функции надежности и безопасности ТС. Это сделано в связи с тем, что они должны отслеживаться буквально на всех этапах жизненного цикла ТС и при выполнении всех операций. Для выполнения этих функций в ТС могут появляться специальные подсистемы. Рассмотрим более подробно каждую из указанных на рис. 2 функций.

4.1. Безопасность ТС

Технические системы – источник различных воздействий на внешнюю среду (человека, природу, другие ТС). Эти воздействия во многих случаях являются вредными (некоторые экологи считают, например, что любое воздействие на природу, выходящее за пределы естественных флюктуаций самой природы – нежелательно и вредно). Более того, ТС могут быть опасными не только во время функционирования, но и потенциально опасными. С ТС случаются аварии и катастрофы, последствия которых могут быть самые печальные. В связи с этим в ТС появляются специальные подсистемы, определяющие их действие в нештатных ситуациях (например, аварийное освещение). Кроме того, ТС должны защищаться от нежелательного воздействия на них внешней среды. Безопасность должна отслеживаться на всех этапах жизненного цикла.

4.1.1. Воздействие ТС на внешнюю среду.

ТС – источник вредных воздействий на человека, внешнюю среду и другие технические системы. Поэтому в них появляются подсистемы, выполняющие функции снижения или устранения этих опасных воздействий. Пример 2. Металлорежущие станки имеют предохранительные экраны и щитки для предотвращения попадания отлетающей стружки и

ка- пель СОЖ на оператора. Пример 3. Глушитель автомобиля снижает уровень шума. В автомобиле встраивают различные устройства для снижения концентрации выделяемых токсичных веществ. Для повышения безопасности пользования автомобилем в их различных моделях предусматривается множество предохранительных устройств: ремни безопасности, мгновенно надувающиеся пневматические подушки на рулевом колесе, складывающиеся рулевые колонки, энергопоглощающие бампера, системы автоматического слежения за расстоянием до препятствия и многое другое. Пример 4. В электробритвы встраивают специальные экраны для снижения помех в сети. В ряде случаев эти подсистемы приводят даже к некоторому ухудшению эффективности выполнения главной функции ТС (глушитель !!! автомобиля снижает как его КПД, так и отношение веса перевозимого груза к весу автомобиля). Однако такие "потери" оправдываются на уровне надсистемы: необходимо меньше затрат на ликвидацию вредных воздействий ТС.

4.1.2. Воздействие внешней среды на ТС Внешняя среда также может воздействовать на ТС нежелательным образом. Поэтому ТС "защищаются" и в них появляются специальные подсистемы. Пример 5. Для предохранения электрических подстанций, антенн и другого оборудования от ударов молнии в них встраивают молниеотводы. Пример 6. Блоки питания ответственных электронных устройств имеют встроенную защиту от ошибочных действий оператора: при подаче на них напряжения, отличающегося от номинального, они отключаются, предотвращая выход из строя электронного устройства. Пример 7. Известны утюги, в которых встроенный таймер производит их отключение от сети через определенный промежуток времени. Опасность возникновения пожара при пользовании таким утюгом снижается. Пример 8. Транспортировка портящихся веществ (например, окисляющихся порошков) требует специальных устройств для поддержания вакуума или нейтральной атмосферы. Соответственно, в "опасных" ТС, например, мощных боеприпасах встраиваются системы, исключающие детонацию при транспортировке. Как и в предыдущем случае реализация этих функций может приводить к некоторому снижению эффективности выполнения основной функции ТС. Из примеров можно заметить, что в ряде случаев подсистема, выполняет одновременно две функции (транспортировка и безопасность), что является отражением одной из закономерностей развития ТС -

свертывания. 4.4. Технология работы с объектом ТС 4.3.1. Воздействие ТС на один объект Как уже говорилось, действие, оказываемое ТС на объект, может быть лишь отдельной операцией, выполняемой с объектом. В ТС появляются подсистемы, которые начинают выполнять и другие смежные операции над этим объектом. Такие преобразования технических систем приводят к повышению эффективности обработки объекта ТС. Пример 9. Отвертка предназначена для завинчивания и отвинчивания шурупов и винтов. "Технология" работы включает: установить отвертку в шлиц, удерживать ее там и поворачивать. Есть конструкции отверток, в которых автоматизирована операцию поворота и удержания шурупа. Вертикальное поступательное перемещение рукоятки отвертки преобразуется во вращательное движение ее жала. Пример 10. Электронные устройства состоят из подсистем, реализующих технологию обработки электрических сигналов (фильтрацию, усиление, модуляцию, сравнение и пр.). 4.3.2. Воздействие ТС на разные классы объектов, выполнение нескольких функций одного класса. Функции ТС позволяют использовать ее не только для обработки одного объекта (выполнения одной операции), но и для обработки некоторого класса объектов (выполнения некоторого класса сходных операций). В ТС появляются специальные подсистемы, специализирующие ее для выполнения таких операций. Пример 11. Металлорежущие станки обеспечивают выполнение различных операций, что достигается использованием наборов специальных механизмов, приспособлений и инструментов. Пример 12. В универсальные наборы отверток может входить несколько лезвий для завинчивания шурупов и винтов, а также шило, маленький буравчик и т.д. Пример 13. Для расширения функциональных возможностей мясорубок в них применяются различные насадки для обработки различных продуктов - овощей, фруктов, кофе, а также выполнения различных операций - выдавливания сока, наполнения колбас и пр. Такие системы сочетают в себе противоречивые свойства: вся система в целом универсальна, так как предназначена для обработки многих объектов, но и достаточно специализирована, так как высокая эффективность выполнения отдельной операции обеспечивается специальным механизмом. 4.4. Технология работы с ТС "Жизнь" ТС включает не только стадию эксплуатации. Существует масса действий, которые выполняются для поддержания ее работоспособности, хранения, перевозки и т. д. Имеется

тенденция по- явления в ТС таких подсистем, которые выполняют или облегчают выполнение этого класса функций. Отдельным классом функций этого рода, не рассматриваемым ни- !!! же, являются "технологические" подсистемы, которые нужны для обе- спечения процессов изготовления объекта техники. Рассмотрим ряд примеров подсистем, облегчающих работу с ней на разных этапах жизненного цикла. !!! 4.4.1. Транспортировка Актуальность усовершенствования операции транспортировки не является одинаковой для всех ТС. Наиболее важна она для систем, которые из-за конструктивных особенностей трудно перемещать (напр., негабаритные изделия) или необходимо часто перемещать. Пример 14. Для облегчения перемещения сумок и чемоданов к ним прик- репляют колесики и специальные ручки. Пример 15. Для транспортировки хрупких стеклянных изделий изготавли- вают специальную тару. Пример 16. Чаще всего катера не используются для перемещения по су- ше. Однако в тех из них, которые предназначаются для переме- щения по суше с одного водоема на другой встраиваются специ- альные колеса, чтобы можно было их перевозить аналогично ав- томобильному прицепу. Однако и для менее подверженных перемещениям ТС предусматри- вают минимальные подсистемы, позволяющие более удобно доставить их к месту назначения или переместить с места на место. Пример 17. Тяжелые механизмы, как правило, имеют встроенные устрой- ства для облегчения транспортировки: специальные "лапы" для крепления их к днищу тары, рымболты - для транспортировки кра- ном. Применение специальных транспортных подсистем приводит к по- вышению удобства пользования ими, росту безопасности, степени со- хранности при перевозке и т.д.

4.4.2. Хранение Операция хранения очень часто является актуальной для ТС с циклическим характером работы, а также при наличии специальных требований к хранению (минимизация места, удобство хранения, пре- дохранение от коррозии и пр.) Пример 18. Для уменьшения занимаемой площади при хранении и пере- возке велосипедов их делают складными. Пример 19. В ручках зубных щеток изготавливают отверстие, предназ- наченное для ее подвешивания при хранении, но функционально бесполезное при чистке зубов. Подсистемы для хранения обеспечивают удобство пользования ТС и увеличение срока службы.

4.4.3. Эксплуатация !!! В ТС появляются подсистемы, которые принимают на себя ряд функций ТС которые прямо не относятся к главной функции

ТС. То !!! есть они механизмируют или автоматизируют ранее выполняющиеся вру- чную операции или операции, выполняющиеся ранее отдельными ТС. Пример 20. Системы автоматической смены инструмента в металлорежу- щих станках позволяют автоматически производить их замену по заранее заданной программе. Пример 21. Устройство автоматического сматывания электрического шнура в пылесосах обеспечивает удобное и быстрое наматывание шнура на специальную бобину. Пример 22. В первых металлорежущих станках для изменения скорости вращения шпинделя или величины подачи применяли сменные шес- терни. При дальнейшем развитии станков стали применяться ко- робки передач, в которых для получения определенной скорости необходимо было установить в определенное положение несколько рычагов. Далее появились коробки передач, с одним рычагом, затем - с электромагнитными муфтами и кнопочным переключением ско- ростей и т.д.

4.4.4. Обслуживание Поддержание техники в работоспособном состоянии требует выполнения определенного набора работ: смазки, регулировки; за- мены изнашиваемых частей и расходуемых материалов и т.д. Имеется тенденция к появления в ТС подсистем, выполняющих эти операции или облегчающих их выполнение. Пример 23. Системы автоматической смазки механизмов коробок передач и редукторов.

4.4.5. Утилизация Для многих ТС (оказывающих вредное воздействие на окружающую среду, разового использования) проблема утилизации чрезвычайно актуальна, для чего в них предусматривают специальные подсис- темы. Пример 24. Крупнейшие автомобильные компании разрабатывают концеп- цию полного жизненного цикла автомобиля, при котором заранее в конструкцию закладываются технические решение облегчающие его утилизацию, и обеспечивающие возможность использования образующегося сырья в новом цикле производства. Результатом действия таких подсистем является повышение эко- логичности ТС. В ряде случаев утилизация направлена не только на ликвида- !!! цию отрицательного воздействия, но и на возобновление ресурсов. То есть иногда ТС специально несколько усложняют, чтобы их можно было после переработки использовать.

4.5. Функционирование в составе надсистемы

4.5.1. Реализация функций НС ТС очень часто вынуждены работать в очень специализиро- ванных условиях. В таких ситуациях они вынуждены принимать на се- бя функции надсистемы, иногда весьма далекие от

первоначально- го назначения ТС. Строго говоря, ТС могут работать в рамках нескольких надсис- тем и каждая из них может "снабжать" ТС своими функциями. Пример 25. Некоторые марки часов для спортсменов фирмы Cassio вклю- чают встроенные системы для определения кровяного давления и пульса - функционирование в рамках надсистемы "спорт". Часы этой же фирмы могут обеспечивать возможность погру- жения на глубину до 200 м (надсистема "подводное плавание"). Пример 26. Многие ТС наряду со своей главной функцией несут допол- !!! нительно эстетическую функцию. Это очень сильно выражено в архитектуре. Многие архитектурные детали зданий, специализи- рованы именно для выполнения этой функции и малозначимы для выполнения главной функции (надсистема "архитектура"). !!! В значительной части случаев введение таких подсистем обус- лавливает превращение ТС в специализированное устройство. 4.5.2. Взаимодействие с другими ТС Входя в состав надсистемы ТС очень часто приобретают подсис- темы, необходимые для взаимодействия с другими подсистемами. Эти системы выполняют чаще всего функции согласования раз- личных ТС. Пример 27. Видеоаппаратура имеет специализированные устройства, преобразующие сигналы из одних стандартов в другие. В телеви- зорах же помещают специальные разъемы и соответствующие ус- тройства, позволяющие их сопрягать с компьютерами, магнитофо- нами и т.д. 4.5.3. Использование ресурсов ТС Одно из направлений усложнения ТС - реализация тех дополни- тельных ресурсов, которые имеются в ТС - "отходов" полей, ве- ществ. Кроме того, есть тенденция создания безотходных ТС (техноло- гических процессов), в которых предусматривается утилизация или переработка вредных отходов ТС. Образующиеся системы чаще всего реализуют функции ближайшей надсистемы. Пример 28. Пылесос может не только всасывать воздух с пылью, но еще и нагнетать. Этот ресурс используется для создания к пылесосу таких подсистем, которые реализуют функции разбрызгивателя, насоса и пр. Другой ресурс пылесоса - его объем используют при изго- товлении пылесосов- пуфиков: в свободное от очистки пыли время пылесос используется как сиденье. Использование ресурсов ТС - чрезвычайно выгодное с точки зрения повышения идеальности ТС направление совершенствования, так как в этом случае новые функции являются "очень дешевыми". 5. Введение новых функций ТС Идеальность ТС, как известно,

описывается соотношением [3]: $\Phi_{И1} = \frac{Z}{\sum Z_i}$ (1) Z или соотношением [4]: $\Phi_{И2} = \frac{Z}{\sum Z_i}$ (2), где I_1, I_2 - показатели описывающие уровень идеальности ТС; Φ - количество и качество функций, выполняемых ТС; $\sum Z$ - сумма затрат на изготовление ТС; $\sum Z_i$ - количество элементов ТС. Формулы (1) и (2) несколько отличаются. Формула (2) является частным случаем (1), так как затраты снижаются не только при уменьшении количества деталей в системе, но и их стоимости, снижение которой может быть результатом свертывания технологии изготовления деталей ТС. Эти зависимости отражают один и тот же процесс: идеальность возрастает при увеличении количества функций, выполняемых ТС, и/или снижении затрат на изготовление. Современные методики ФСА [3] в значительной мере ориентированы на снижение величины знаменателя. Этому подчинена стратегия свертывания ТС при функционально идеальном моделировании: часть подсистем ТС исчезает вместе с частью своих функций, а оставшиеся передаются другим подсистемам или элементам надсистемы. При проведении анализа ТС и при совершенствовании объектов техники можно сознательно учитывать закономерности появления новых функций в ТС. На первом этапе каждой новой функции будет соответствовать новая подсистема и количество затрат на систему будет возрастать, что в худшем случае может привести к снижению идеальности ТС. Используя методику свертывания, можно добиваться снижения затрат и в ТС при введении новых подсистем, тем самым увеличивая идеальность ТС. Нужно отметить, что при повышении идеальности за счет введения новых функций, как уже отмечалось выше, может наблюдаться некоторое снижение эффективности действия ТС. Кроме того, затраты на производство объекта техники могут не только не уменьшиться, но и несколько возрасти. С этой точки зрения производителю может быть невыгодно делать такие усовершенствования. Однако такие усовершенствования приводят к росту конкурентоспособности изделия, что имеет существенное значение при прогнозировании развития ТС. Нужно отметить, что введение новых функций в ТС может быть не напрямую связано с увеличением степени идеальности. Причиной введения новых функций и, соответственно, новых подсистем может быть, например, исчерпание возможностей человека. То есть если по каким-то условиям (безопасности, точности, скорости реакции и пр.) человек не может выполнить любую из перечисленных в

разделе 4 функций, а ее введение необходимо, то вводится соответствующая подсистема. Можно предложить следующий порядок формулирования возможных дополнительных функций ТС.

1. Проводится поиск вредных воздействий, которые оказывает на человека и окружающую среду рассматриваемая ТС на всех этапах жизненного цикла (транспортировке, хранении, функционировании, обслуживании, утилизации ТС). Проводится поиск потенциальных вредных воздействий на внешнюю среду – аварий, катастроф (для такого поиска можно использовать методики, разработанные кишиневской школой ТРИЗ). Каждому найденному вредному воздействию соответствует функция устранения или предотвращения его.
2. Проводится анализ вредных воздействий внешней среды на ТС на всех этапах жизненного цикла (транспортировке, хранении, функционировании, обслуживании, утилизации). Каждому найденному вредному воздействию соответствует функция устранения или предотвращения его.
3. Проводится анализ операций, которые выполняются с ТС при транспортировке, хранении, функционировании, обслуживании, утилизации? Для выполнения каждой из этих операций требуется введение дополнительной функции механизации или автоматизации.
4. Производится анализ воздействия ТС на объект или класс объектов: какие операции над какими объектами нужно выполнять и какие дополнительно классы объектов может обрабатывать данная ТС; какие операции входят в технологию изготовления каждого из рассматриваемых объектов. "Новые" функции ТС могут быть связаны с дополнительными операциями, направленными на обработку нового класса объектов и дополнительными смежными операциями обработки объекта.
5. Производится анализ возможных надсистем, в которых может функционировать рассматриваемая ТС, и формулируется список дополнительных операций, которые могут выполняться в каждой из этих ТС: – по последовательности исполнения; – по функциональной однородности; – по потребностям потребителя. Каждая из этих операций может являться источником дополнительной функции ТС.
6. Производится анализ ТС, с которыми может "сотрудничать" ТС и формулируются характеристики, по которым они должны быть согласованы с ТС. Новые функции ТС обеспечивают согласование с другими ТС.
7. Анализируются вещественные и полевые ресурсы ТС. Анализируются возможности их использования для введения новых функций. В результате

получается большой список возможных дополнительных функций ТС. 6. Введение дополнительных подсистем в ТС

Большинство ТС не выполняют всех найденных возможных функций. Это происходит по нескольким причинам. Во-первых, для различных систем степень актуальности в выполнении их изменяется в очень широком диапазоне. Так функции безопасности могут иметь чрезвычайно существенное значение в одних ТС (атомный реактор) и гораздо меньшее значение в других (корзина для сбора ягод). Актуальность в данном случае определяется величиной возможных последствий. Во-вторых, представленный набор функций может быть несовместен. Так, введение в ТС специальных подсистем, выполняющих дополнительные операции по переработке объекта, приводят к специализации и поэтому ограничивают функции, обеспечивающие универсализацию. В-третьих, введение дополнительных функций может, не изменяя величину И1 соотношения между количеством функций и затратами, приводить к росту абсолютной величины затрат. А это сказывается на стоимости ТС – что является одним из критериев оценки ТС. То есть критериями введения новых функций в ТС являются: степень актуальности, совместимость, соотношение повышения идеальности и затрат на данную функцию. При этом величина последнего критерия зависит от того насколько дешево удалось ввести новую функцию. Всеми описанными возможными дополнительными функциями одновременно может чаще всего обладать не отдельная ТС, а целый класс ТС, у которых главная функция совпадает. Пример 29. Примером класса объектов с одинаковой главной функцией, но с различными подсистемами могут быть шариковые ручки. В некоторых из них есть подсистемы для предохранения от загрязнения одежды пастой: колпачки, механизмы выдвижения стержней и пр. В других – подсистемы, реализующие надсистемные функции: авторучки-часы, авторучки-фонарики; авторучки-приемники и т.д. В третьих реализована возможность выполнения сходных операций: рисование стержнями различного цвета. В четвертых встроена дополнительная система вытеснения пасты из стержня, которая позволяет писать ими в условиях невесомости (ручки американской фирмы Fisher Space Pen). Это перечисление можно продолжить. В этом плане формулирование дополнительных возможных функций ТС фактически является одним из способов прогнозирования дальнейшего функционального развития ТС (наряду с

прогнозированием изменения ТС в связи с увеличением главной полезной функции). Конкретный выбор вводимых функций может быть осуществлен лишь при анализе потребностей, которые также развиваются и меняются. Так, последнее время все большее значение приобретают подсистемы, связанные с уменьшением вредного воздействия ТС на среду и с утилизацией ТС. Вводимые дополнительные подсистемы обеспечивают повышение качества и производительности выполнения наиболее часто выполняемых операций, что отражает закономерность вытеснения человека из техники. Пример 30. Одно из наиболее массово встречающихся применений ТС "молоток" - забивать гвозди. Это обуславливает возможность создания специализированной системы для забивания гвоздей, которая ориентирует гвоздь, забивает, подает к бойку следующий гвоздь, то есть делает то, что ранее делал потребитель. На вводимые в ТС подсистемы действуют закономерности развития ТС. Это обуславливает тенденцию к их частичному или полному свертыванию. Для сознательного использования этой закономерности можно использовать инструментарий, применяемый при свертывании в ФСА. Особенностью введения новых подсистем в ТС является первоначальная необходимость выбора принципа действия вводимой ТС. Ведь одна и та же новая функция (например, в мясорубке - затачивать режущие пары) может быть реализована многими конкурирующими подсистемами с различным принципом действия. Выработка детальных рекомендаций по этому вопросу требует отдельного исследования, но исходя из условий свертывания можно предположить, что для создания новых подсистем должны быть использованы ресурсы ТС. Поэтому при введении новой подсистемы целесообразно ставить задачи вида: как при минимальных изменениях в ТС обеспечить выполнение новой функции. В этом случае, анализируя ресурсы, можно в определенной степени судить о принципе работы новой подсистемы. Если вводятся подсистемы, принцип действия которых не позволяет избежать введения новых элементов в ТС (например, датчики времени в кодовых замках), то в этом случае происходит частичное свертывание хотя бы по вспомогательным элементам системы. Особый случай представляет введение новых подсистем в виде уже готовых технических устройств. В этом случае уровень свертывания определяется экономическими (стоимость необходимых переделок или выпуска специализированных комплектующих), организаци-

онными, функциональными (улучшение качества и потребительской стоимости) критериями. 7. Пример формулирования набора потенциальных функций При анализе ТС "электрокипятильник" был сформулирован следующий набор возможных дополнительных функций: - защита от поражения током; - предохранение от касания горячих частей; - устройство предохранения от ударов; - устройство предохранения от коррозии; - устройство предохранения шнура от излома; - система отключения от сети при перегреве; - система предотвращения окисления и осаждения накипи; - устройство для снятия накипи или предотвращения ее образования; - устройство быстрой и плотной укладки шнура; - форма корпуса - удобна для упаковки в тару; - инструкция; - элементы предназначенные для повышения удобства хранения (опорные поверхности и пр.); - устройство для крепления на сосуде с жидкостью; - устройство, закрывающее сосуд с чаем при заваривании; - устройство для облегчения выливания (непроливания, предохранение от ожогов); - зеркальце; - эстетический вид; - встроенный(е) сосуд(ы) для жидкости, ложечка(и); - встроенный контейнер для пакетиков с чаем и сахара; - устройство для облегчения выливания (непроливания, предохранение от ожогов); - подставка для какого-либо предмета; - встроенный контейнер для пакетиков с чаем и сахара; - крышка для сосуда с жидкостью; - устройство для облегчения выливания (непроливания, предохранение от ожогов); - переключатель величины напряжения - 220/127 В. Список возможных подсистем можно продолжить, анализируя более тщательно различные надсистемы. Однако даже из этого списка можно сформулировать набор предложений по развитию ТС "кипятильник". Эти предложения должны реализовываться не за счет введения большого количества новых подсистем, а, как уже говорилось выше, посредством использования механизмов свертывания. При использовании этих механизмов можно получить идею о том, что инструкция может быть написана не на отдельной бумажке, а на корпусе в виде пиктограмм. Футляр для кипятильника должен одновременно являться стаканчиком для кипячения чая. Он должен иметь крышку для закрывания стаканчика при заваривании чая. Дополнительно он должен отвечать целому ряду требований: быть эстетичным; быть удобным для хранения (иметь элементы крепления к чему-либо или хорошие опорные поверхности); быть прочным для предохранения кипятильника от повреждений при транспортировке; должен

обеспечить непроливание жидкости при переливании в другую емкость. Этот же футляр может иметь дополнительно встроенные емкости для хранения небольшой порции чая (кофе) и сахара, а так же иметь встроенную ложечку. Аналогично можно рассмотреть и другие возможные подсистемы: устройство для быстрой и плотной укладки шнура по всей видимости может выполнять функцию предохранения последнего от излома и т. д. Совершенно необязательно, чтобы в ТС "кипятильник" реализовывались все сформулированные функции. Но введение хотя бы некоторых из них повышает удобство и безопасность использования рассматриваемой ТС. Для введения некоторых из сформулированных функций требуется решить ряд задач. В частности, такой задачей может быть задача о том, как избежать перегрева кипятильника в случае выкипания в сосуде жидкости или ошибочного включения кипятильника при отсутствии последней. Задачи возникнут и при проведении свертывания вводимых подсистем.

8. Заключение

Представленная выше линия представляет отражение и некоторую детализацию лишь одной из линий усложнения выполнения ТС функций надсистемы. За пределами работы остался ряд проблем связанных с нюансами практической реализации. Так, например, не определены критерии выбора вида вводимой подсистемы (одна и та же вводимая функция может быть обеспечена различными подсистемами). Линии усложнения ТС, связанные с передачей функций в надсистему более подробно рассмотрены в работах Ю. П. Саламатова. Полученные результаты могут быть использованы в методиках прогнозирования развития ТС и при постановке задач на усовершенствование ТС. Автор выражает благодарность сотрудникам НИЛИМ С.С.Литвиню, В. М. Герасимову, Д. А. Кучерявому, И. А. Ковалеву за высказанные ими замечания и рекомендации, направленные на совершенствование работы. Литература. 1. Саламатов Ю. П. Идеализация технических систем. Исследование и разработка пространственно-временной модели эволюции технических систем (Модель "бегущей волны идеализации") на примере развития ТС "Тепловая труба". Красноярск. 1984. 2. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука. М.: Советское радио, 1979. 3. Герасимов В. М., Литвин С. С. Учет закономерностей развития техники при проведении функционально-стоимостного анализа технологических процессов. В кн.: Практика проведения функционально-стоимостного анализа в электротехнической промышленности.

М.: Энергоатомиздат, 1987, с.193-210. 4. Верткин И.М. Механизмы свертывания ТС. 5. Торгашев А.С. Что могут бисистемы. 1979. 6. Злотин Б. Л., Зусман А. В. Законы развития и прогнозирования технических систем: методические рекомендации. Кишинев: Карта Молдавии: МНТЦ "Прогресс", 1989 - 114 с. 7. Г. С. Альтшуллер. Дерзкие формулы творчества. - В кн.: Дерзкие формулы творчества. Петрозаводск: Карелия, 1987, с.17.