

ПОДХОД К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ ЦЕПОЧЕК НЕДОСТАТКОВ

Аннотация

На базе идеи/гипотезы о том, что недостатки-причины обычно связаны с теми же (или с непосредственно взаимодействующими с ними) компонентами, что и недостатки-следствия, разработаны схемы возможных видов недостатков-причин и недостатков-следствий. Для проверки идеи/гипотезы предложен статистический подход, заключающийся в оценке частоты появления недостатков в реальных причинно-следственных цепочках (ПСЦ), построенных при выполнении проектов в компании "Алгоритм"/GEN3 Partners. В ходе анализа проводилась идентификация схемы конкретного недостатка-причины и недостатка-следствия, а также подсчет частоты их появления. Получены первые результаты анализа. Исследования по статистическому анализу ПСЦ необходимо продолжить для получения более устойчивых значений относительной частоты появления для всех схем недостатков.

ТЕКСТ

Причинно-следственный анализ (ПСА) это эффективный инструмент для выявления причин возникновения целевых недостатков технической системы (ТС) с целью определения ее ключевых недостатков. Разработка методики ПСА выполнена Литвиным С.С. и Аксельродом Б.М. [1]. В дальнейшем уточнение и усовершенствование методики выполнялось Кисловым А.В., Пиняевым А.М., Кудряшовым Е.Е., Петий И.И., Павловым В.В. и рядом др. авторов в форме методических рекомендаций и статей [2,3,4,5,6].

Философия ПСА – устранение всех целевых недостатков ТС путем решения задач по устранению небольшого числа ключевых недостатков, порождающих все остальные недостатки ТС, связанные друг с другом причинно-следственным образом.

Причинно Следственный Анализ (ПСА) широко и эффективно используется при выполнении консультационных проектов в компании "Алгоритм"/GEN3 Partners. Количество выполненных с его использованием проектов исчисляется несколькими сотнями. Также методика ПСА активно применяется сотрудниками отечественных и зарубежных компаний, прошедшими обучение по специальным программам, во внутренних проектах по совершенствованию продукции своих фирм.

Однако заметим, что ПСА, а точнее этап построения ПСЦ, на практике, является одной из самых времязатратных процедур на аналитической части любого консультационного проекта. Это и понятно, если принять во внимание, что исследователям необходимо удерживать в памяти и свободно оперировать большим массивом информации о системе в целом, о слагаемых ее компонентах, о их структуре на глубинных уровнях иерархии, о их функциях (полезных, вредных, об уровнях их выполнения), о физических (химических, электрических и т.п.) процессах как в отдельных компонентах, так и в системе в целом. Как действует в этих условиях человеческий мозг, какими внутренними алгоритмами он пользуется для анализа и систематизации информации, как определяет причины недостатков, как выявляет связи между причинами и следствиями – все это современной наукой о человеке в полной мере не исследовано. Тем не менее грамотный исследователь строит адекватные ПСЦ на основе существующей недостаточно алгоритмизированной и не глубоко детализированной методики, ориентированной на использование аналитических способностей человеческого мозга. Информация о многолетнем успешном опыте использования ПСА в консультационных проектах хранится и пополняется в компании "Алгоритм"/GEN3 Partners. Анализ этой информации может помочь в выявлении закономерностей в действиях аналитиков при построении ПСЦ с целью усовершенствовать существующую методику.

Попытаемся сформулировать задачу исследования более детально.

Типовая схема ПСЦ представлена на Figure 1. Видна структура графов ПСЦ, целевой недостаток, недостатки нижележащих уровней и дуги, показывающие причинно-следственные связи между недостатками. В этой структуре можно выделить элементарную ячейку из двух недостатков: недостаток-причина порождает недостаток-следствие. Этот непрерывный ряд элементарных ячеек недостатков можно увидеть любой зоне ПСЦ. Там имеются недостатки-следствия, ниже которых располагаются недостатки-причины их порождающие. На следующем, более низком уровне картина повторяется, здесь роль недостатков-следствий выполняют недостатки-причины предыдущего уровня и уже для них выявляются порождающие их недостатки-причины. Эта логика сохраняется до финального недостатка-причины конкретной причинно-следственной цепочки.

Согласно методическим рекомендациям ПСЦ строятся не для всей системы, а только для ее части – зоны взаимодействия определенных компонентов системы, где возникает нежелательное, с точки зрения целей проекта, явление. Целевой недостаток проекта это первый недостаток-следствие в причинно-следственной цепочке, а первый недостаток-причина связан с конкретным компонентом ТС имеющим определенный недостаток, выявленный на функциональном или потоковом анализе.

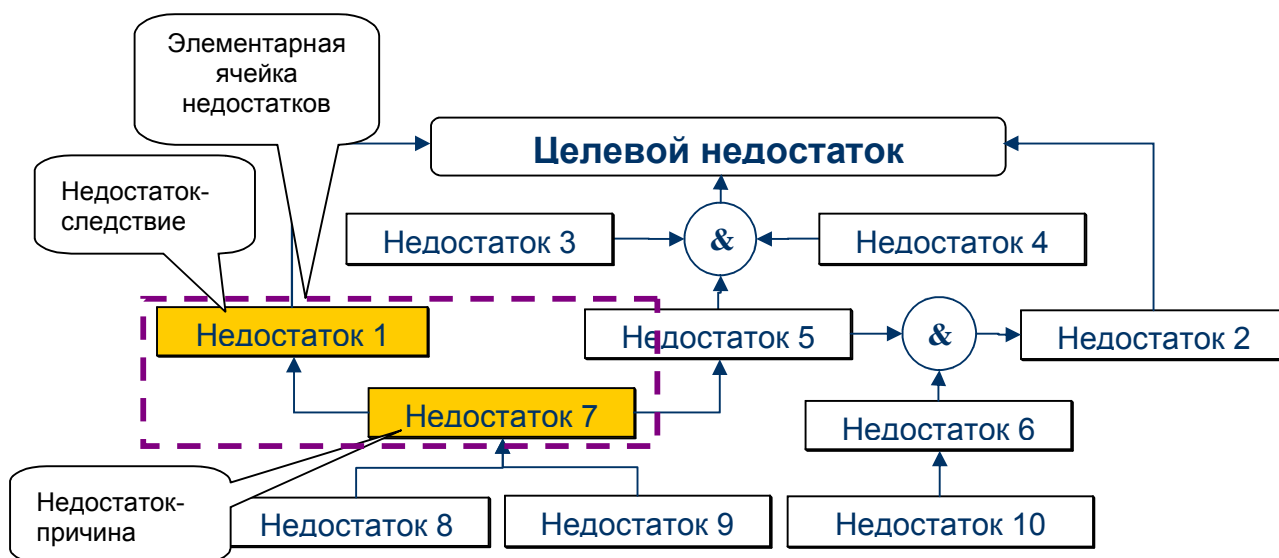


Figure 1. Типовая схема ПСЦ

При дальнейшем анализе недостаток-причина конкретного компонента переходит в категорию недостаток-следствие, и производится выявление уже порождающего его недостатка-причины (одного или нескольких). Цикл выявления недостатка-причины для соответствующего недостатка-следствия повторяется. При этом анализируются сперва выявленные функциональные и потоковые недостатки, как самого компонента носителя недостатка-следствия, так и взаимодействующих с ним компонентов на предмет наличия причинно-следственных связей между их недостатками. А при отсутствии таковых начинается углубленное рассмотрение носителя недостатка-следствия на более низком иерархическом уровне, т.е. анализируются свойства и действия слагающих конкретный компонент субкомпонентов или функциональных зон этого компонента.

Вышеизложенное позволяет сделать важный вывод, что недостатки-причины обычно связаны с теми же (или с непосредственно взаимодействующими с ними) компонентами, что и недостатки-следствия.

Если это так, то при построении ПСЦ круг компонентов, недостатки которых должен выявлять и анализировать исследователь сокращается. А именно, имея недостаток-следствие, связанный с конкретным компонентом исследователь имеет три возможных пути для поиска недостатка-причины. Во-первых, целенаправленно проанализировать уже выявленные (или еще не выявленные) недостатки самого компонента носителя недостатка-следствия, во-вторых, спуститься вниз по иерархической структуре этого компонента и проанализировать недостатки (выявленные или еще не выявленные) слагающих его субкомпонентов. И, в-третьих, проанализировать недостатки (выявленные или еще не выявленные) для компонентов непосредственно взаимодействующих с компонентом носителем недостатка-следствия.

Взглянем подробнее на структуру недостатка в ПСЦ. В существующей методике построения ПСЦ под недостатком понимается нежелательная особенность технической системы (ТС), проявляющихся в виде вредных свойств или действий как ТС в целом, так и составляющих ее компонентов. Несмотря на отсутствие правил формулирования недостатков ПСЦ на практике при проверке правильности построения цепочек или при их анализе всегда можно идентифицировать какой компонент системы является носителем конкретного недостатка т.к. в его формулировке обязательно присутствует название этого компонента (или ТС в целом).

В качестве одной группы недостатков в ПСЦ рассматриваются вредные действия компонентов (или ТС в целом). Как известно, функция - это действие материального объекта по изменению параметра другого материального объекта. В работах по функциональному анализу было показано, что проблемы в функционировании материальных систем связаны с наличием в них компонентов с вредными функциями или недостаточным выполнением полезных. Отсюда можно заключить, что в части формулировок недостатков реальных ПСЦ мы, скорее всего, найдем типичные недостатки функционального анализа: компонент 1 вредно (недостаточно, избыточно) «воздействует» на компонент 2.

В качестве другой группы недостатков в ПСЦ рассматриваются вредные свойства компонентов (или ТС в целом), а под мерой свойства рассматривается параметр. По аналогии с функциональными недостатками можно предположить, что у конкретного компонента наблюдается вредное свойство, если значение параметра, являющегося мерой этого свойства, принимает недостаточное, избыточное или неадекватное значение. Если это так, то можно заключить, что в части формулировок недостатков реальных ПСЦ мы, скорее всего, найдем недостатки типа недостаточное (избыточное, неадекватное) значение определенного параметра конкретного компонента.

Просуммируем приведенные выше гипотезы:

1. ПСЦ состоит из элементарных ячеек парных недостатков: недостаток-причина порождает недостаток-следствие
2. Недостатки-причины обычно связаны с теми же (или с непосредственно взаимодействующими с ними) компонентами, что и недостатки-следствия.

При этом в возможных вариантах структуры недостатка-следствия ключевую роль будет играть конкретный компонент (или система в целом) с которым связан этот недостаток. Назовем его «Компонентом А».

Тогда структуры недостатка описывающего вредное свойство примут вид:

Недостаточное значение параметра «Компонента А»	IP A
Избыточное значение параметра «Компонента А»	EP A
Неадекватное значение параметра «Компонента А»	InP A

В структуре недостатка описывающего вредное действие, как и в описании функции должны присутствовать два компонента. Поскольку для описания недостатка типа вредное свойств выбран «компонент А», то вполне логично использовать его в качестве компонента носителя вредного действия/функции. А в качестве компонента на который оно оказывается, используем «Компонент В».

Тогда структуры недостатка описывающего вредное действие примут вид:

«Компонент А» недостаточно воздействует на «Компонент В» $A \rightarrow V$

«Компонент А» избыточно воздействует на «Компонент В» $A = > V$

«Компонент А» вредно воздействует на «Компонент В» $A \sim > V$

При этом в возможных вариантах структуры недостатка-причины будут участвовать три компонента: «Компонент А», «Компонент В» и «Компонент С».

Введение «Компонента С» связано с необходимостью описать ситуацию, при которой и недостаток-следствие и недостаток-причина являются вредными действиями/функциями, в которых потенциально могут быть задействованы разные компоненты. По структуре недостатка-причины, описывающие вредные действия/функции, в основном будут похожи на недостатки-следствия. Отличия будут, во-первых, в носителе действия/функции - им может быть любой из компонентов А, В или С, а во-вторых, в направленности действия/функции – каждый из компонентов А, В или С потенциально может воздействовать на любой из двух оставшихся компонентов. Еще одно важное дополнение, внесенное вначале в список недостатков-причин, а затем перешедшее в недостатки-следствия связано с возможной ситуацией, при которой причиной некоего недостатка-следствия может оказаться некое адекватное воздействие одного компонента на другой. Например, насос перекачивая жидкость с необходимой производительностью еще ее и нагревает, что недопустимо по условиям задачи. Учитывая тот факт, что на следующем шаге анализа недостаток-причина становится недостатком следствием, дополним структуры недостатка-следствия описывающего вредное действие структурой вида:

«Компонент А» адекватно воздействует на «Компонент В» $A \rightarrow V$

Структуры недостатка-причины описывающего вредное свойство будут иметь тот же вид, что и аналогичные структуры для недостатка-следствия. Однако, для описания возможной ситуации, при которой и недостаток-следствие и недостаток-причина являются вредными свойствами разных компонентов предлагается ввести дополнительную группу структур недостатка описывающего вредное свойство для «Компонента В»:

Недостаточное значение параметра «Компонента В» $IP \ V$

Избыточное значение параметра «Компонента В» $EP \ V$

Неадекватное значение параметра «Компонента В» InP В

Методически анализ ПСЦ выполненных проектов должен состоять из постоянно повторяющейся процедуры состоящей из четырех шагов:

1. Выделение элементарной ячейки недостатков
2. Идентификация по шаблону структуры недостатка-следствия
3. Идентификация по шаблону структуры недостатка-причины
4. Переход к нижележащей элементарной ячейке недостатков (недостаток-причина только что проанализированной ячейки становится недостатком-следствием)

Если в процессе анализа будут идентифицированы описанные выше структуры и будет установлен факт, что реальные ПСЦ в основном состоят из этих структур, то высказанные гипотезы можно будет считать доказанными. Однако возникает вопрос о количественной стороне планируемого исследования: сколько реальных ПСЦ необходимо проанализировать. Ответ на этот вопрос может дать теория вероятности.

Наши повторяющиеся процедуры анализа, в которых мы выявляем появление той или иной структуры недостатка-следствия (недостатка-причины) из конечного числа их возможных структур являются наблюдениями за случайными событиями. В теории вероятности [8, 9, 10] существует понятие – относительная частота события, это отношение числа испытаний, в которых событие появилось, к общему числу фактически произведенных испытаний. Как следует из определения, эта величина определяется опытным путем.

Длительные наблюдения [8, 9, 10] показали, что если в одинаковых условиях производят опыты, в каждом из которых число испытаний достаточно велико, то относительная частота обнаруживает свойство устойчивости. Это свойство состоит в том, что в различных опытах относительная частота изменяется мало (тем меньше, чем больше произведено испытаний), колеблясь около некоторого постоянного числа. Оказалось, что это число и есть вероятность появления события. Таким образом, если опытным путем установлена относительная частота события, то полученное число можно принять за приближенное значение вероятности.

Главными требованиями [8, 9, 10] для существования статистической вероятности конкретного события являются:

- возможность производить неограниченное число испытаний, в каждом из которых это конкретное событие наступает или не наступает.
- устойчивость относительных частот появления этого конкретного события при достаточно большом числе испытаний.

В нашем исследовании мы будем анализировать элементарные ячейки недостатков. Их количество в ПСЦ базы данных выполненных проектов (несколько сотен проектов) компании "Алгоритм"/GEN3 Partners относительно велико. Поэтому первое условие из выше указанных можно считать

выполнимым. Достижение же устойчивости относительных частот появления конкретных схем недостатков мы будем считать целью нашего исследования, или, другими словами, наши повторяющиеся процедуры анализа будут продолжаться до тех пор, пока не будут получены устойчивые значения относительных частот появления для конкретных схем недостатков.

Еще раз уточним задачи исследования.

Первой задачей будет идентификация схем недостатков-следствий и недостатков-причин с целью удостовериться, что все они, выявленные сперва логически, действительно присутствуют в реальных ПСЦ.

Вторая задача - количественная – необходимо, на весьма большой базе циклов анализа, убедиться, что основная масса недостатков реальных ПСЦ состоит из идентифицируемых по схемам недостатков, или, что доля не идентифицируемых недостатков невелика.

Третья задача – собрать достаточное количество данных для оценки устойчивости относительных частот появления того или иного недостатка-следствия и недостатка-причины.

Четвертая задача – собрать достаточное количество данных для оценки устойчивости относительных частот появления той или иной схемы недостатка-причины в зависимости от конкретной схемы недостатка-следствия.

В соответствии с задачами исследования выполнен анализ причинно-следственных цепочек 26 проектов, состоящих из более 1000 элементарных ячеек. При этом установлено, что все схемы недостатков-следствий и недостатков-причин, выявленные логически, идентифицируются и реально присутствуют в ПСЦ выполненных проектов. Это можно видеть на Figure 2 и Figure 2, где приведены данные о частоте появления различных схем недостатков на базе анализа.

Число недостатков, не идентифицированных по тем или иным причинам, составляет ~ 9,3 %. В большинстве случаев найти соответствие недостатка разработанным схемам можно. Однако в рамках конкретной элементарной ячейки эти недостатки соседствовать не могут согласно логике, при которой недостаток-следствие вызывается недостатком-причиной. При этом наиболее часто встречается ситуация повторения недостатком-причиной в другой формулировке недостатка-следствия.

На основе анализа более чем 1000 элементарных ячеек недостатков построен ряд из схем недостатков-следствий в зависимости от вероятности их появления. Он выглядит так: $EP A$, $IP A$, $A \Rightarrow B$, $A \sim B$, $A \dashrightarrow B$, $A \rightarrow B$, $\ln P A$. За вероятность появления схемы недостатка-следствия принята относительная частота появления этого недостатка на базе анализа (более 1000). Заметим, что вероятность схем недостатков-следствий типа $A \rightarrow B$, $\ln P A$ весьма низка.

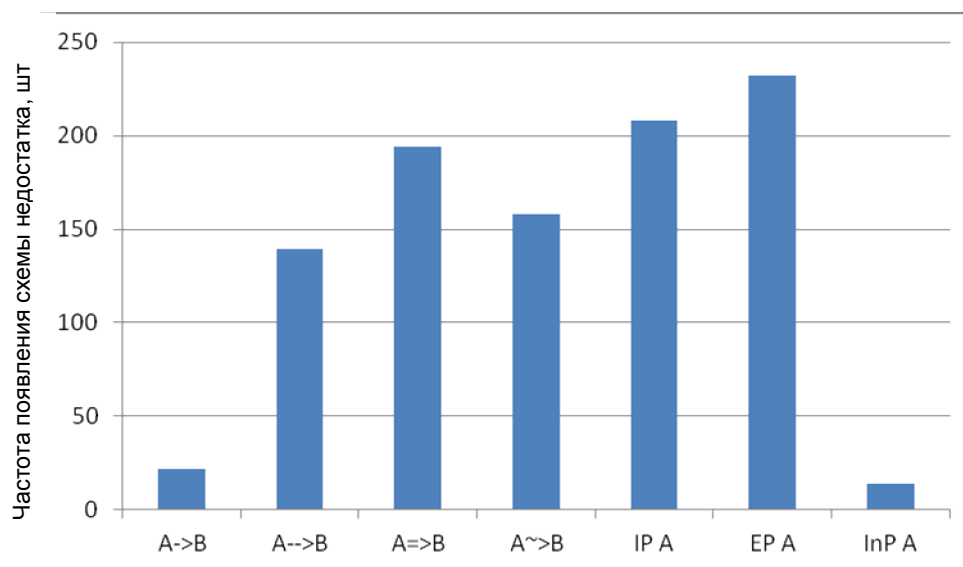


Figure 2. Частота появления схемы недостатка-следствия на базе анализа 1090 элементарных ячеек ПСЦ

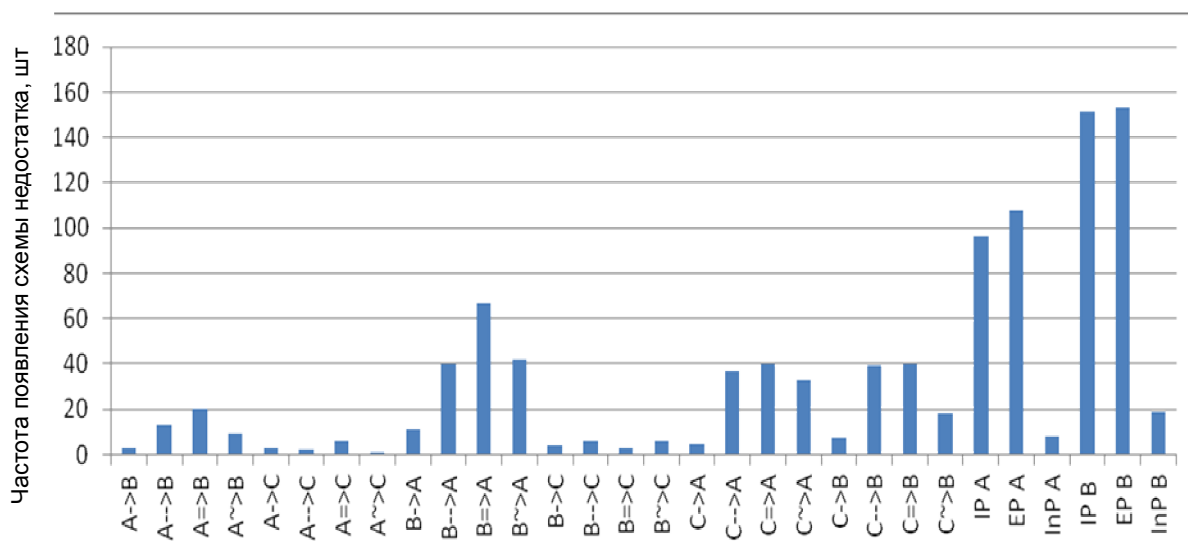


Figure 3. Частота появления схемы недостатка-причины на базе анализа 1090 элементарных ячеек ПСЦ

Для всех схем недостатков-следствий построен график относительной частоты появления недостатка-следствия в зависимости от числа проанализированных элементарных ячеек (см. Figure 4). Анализ полученных результатов свидетельствует о необходимости продолжить исследования до получения более устойчивых результатов для всех или большинства схем недостатков-следствий.

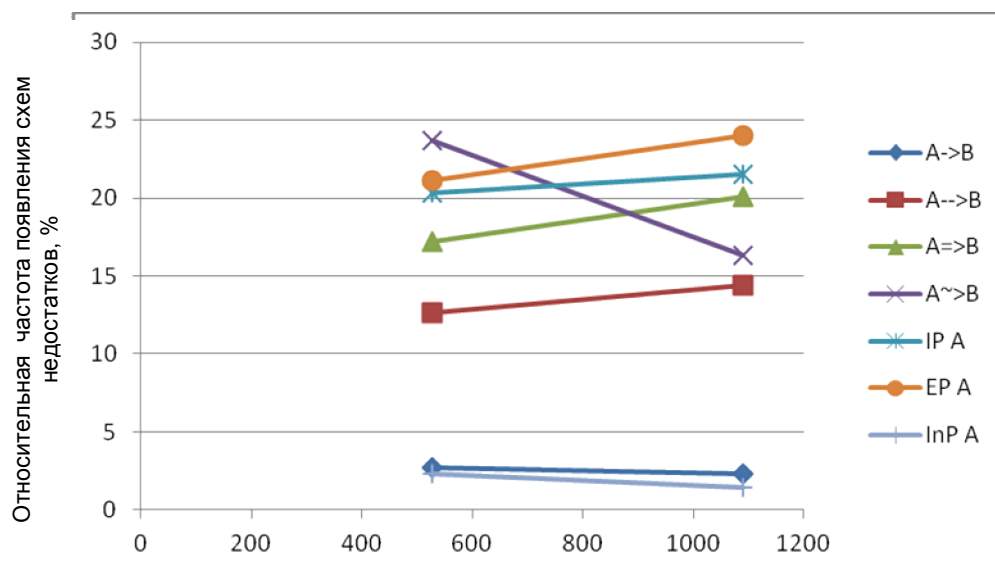


Figure 4. Зависимость частоты появления схемы недостатка-следствия от базы анализа элементарных ячеек ПСЦ

По результатам анализа более чем 1000 элементарных ячеек недостатков построен ряд из схем недостатков-причин в зависимости от вероятности их появления, первые десять схем этого ряда: EP B, IP B, EP A, IP A, B =>A, B~>A, B-->A, C=>A, C=>B, C-->B. За вероятность появления схемы недостатка-причины принято значение относительной частоты появления этого недостатка на базе анализа (более 1000).

Для десяти наиболее вероятных схем недостатков-причин построен график относительной частоты появления недостатка-причины в зависимости от числа проанализированных элементарных ячеек (см. Figure 5). Анализ полученных результатов свидетельствует о необходимости продолжить исследования до получения более устойчивых результатов для всех или большинства схем недостатков-причин.

На базе анализа недостатков ПСЦ наблюдается тенденция в приоритетном использовании аналитиками тех или иных схем недостатков-следствий и недостатков-причин:

Для недостатков-следствий таковыми являются схемы: EP A, IP A, A=>B, A~>B, A-->B (см. Figure 2 и Figure 4)

Для недостатков-причин таковыми являются схемы: EP B, IP B, EP A, IP A, B =>A, B~>A, B-->A, C=>A, C=>B, C-->B (см. Figure 3 и Figure 5).

Поскольку структура ПСЦ это непрерывный ряд элементарных ячеек недостатков, в которых недостатки-следствия всегда предшествуют недостаткам-причинам их порождающих, то для практики построения ПСЦ очень важно нахождение закономерностей типа – какими конкретно схемами недостатков-причин порождается некая конкретная схема недостатка-следствия. Наиболее наглядно эти закономерности могут быть представлены в

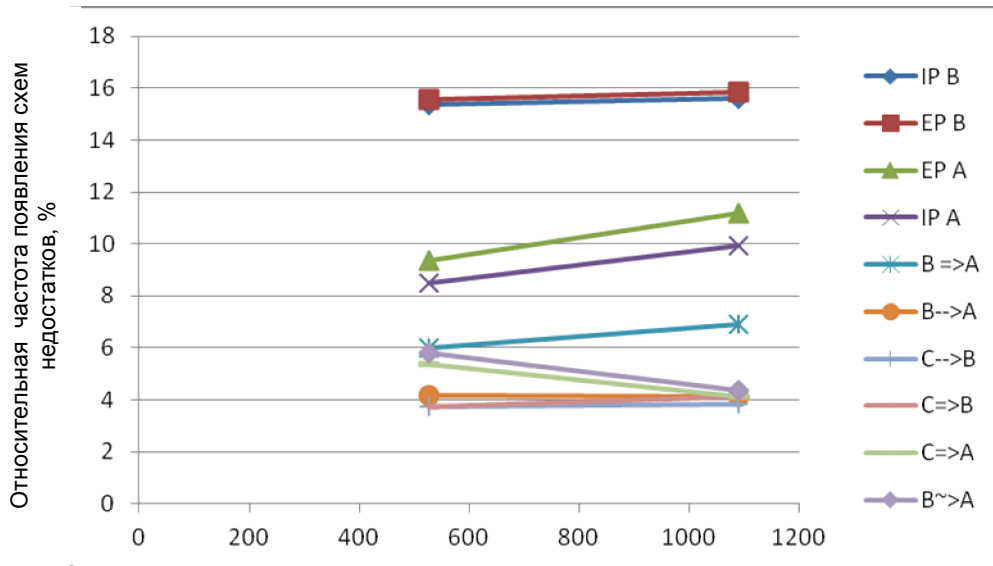


Figure 5. Зависимость частоты появления схем недостатков-причины от базы анализа элементарных ячеек ПСЦ

форме таблицы. В первом столбце такой таблице следует расположить недостатки-следствия в порядке их снижения вероятности их появления при построении ПСЦ. В ячейках строк соответствующих конкретным недостаткам-следствиям следует разместить недостатки-причины их порождающие, тоже в порядке снижения вероятности их появления.

Первичный анализ результатов дает основания полагать, что построение такой таблицы осуществимо. На Figure 6. представлена зависимость относительной частоты появления наиболее вероятных недостатков-причин для одной из наиболее вероятных схем недостатка-следствия - EP A в зависимости от числа проанализированных элементарных ячеек.

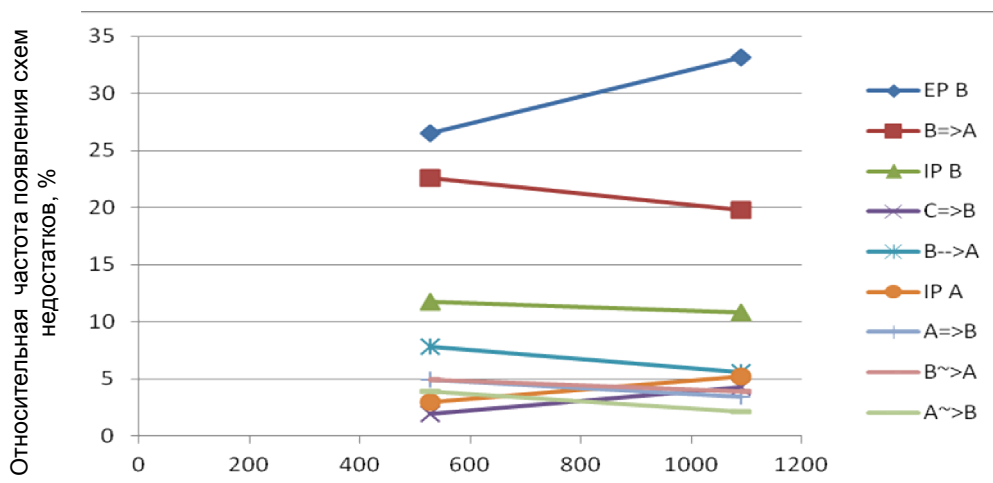


Figure 6. Зависимость частоты появления схем недостатков-причин порождающих недостаток-следствие типа EP A от базы анализа элементарных ячеек ПСЦ

В качестве первого опыта сформирован макет в виде Таблицы 1. Для его построения использовались первые результаты анализа по вероятности появления для схем недостатков-следствий при построении ПСЦ (второй левый столбец таблицы) и первые оценки наиболее вероятных схем недостатков-причин для недостатка следствия - EP A (третий сверху ряд таблицы).

Таблица 1. Вероятность появления схем недостатков-следствий и порождающих их групп схем недостатков-причин расположенных в порядке снижения вероятности их появления

Вероятность появления снижается ↓	Схема недостатка-следствия	Схема недостатка-причины							
		Вероятность появления снижается →							
	EP A	EP B	B=>A	IP B	B-->A	IP A	C=>B	A=>B	A-->B
IP A	Работа над таблицей продолжается. Данные уточняются								
A=>B									
A~>B									
A-->B									
A->B, InP A									

Заключение

- Полученные промежуточные результаты исследования, на базе анализа 1000 элементарных ячеек ПСЦ, свидетельствуют в пользу возможности получения статистического обоснования высказанных гипотез. Однако, устойчивость относительной частоты появления существенной части схем недостатков еще недостаточна, что свидетельствует о необходимости продолжения анализа.
- На базе анализа недостатков ПСЦ выявлены тенденции приоритетного использования аналитиками тех или иных схем недостатков-следствий и недостатков-причин.
- Аналогичная картина наблюдается и при рассмотрении каждой конкретной схемы недостатка-следствия: имеется группа порождающих ее схем недостатков-причин, которые наиболее часто используются аналитиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.С. Литвин, Б.М. Акселерод, Причинно-следственные цепочки нежелательных эффектов, (методика), тезисы, СПб, 12.18.95 – 01.03.96
2. А.В. Кислов, Причинно-следственный анализ недостатков технической системы (методические рекомендации), СПб, 1998

3. А.М. Пиняев, Метод анализа и решения изобретательских задач с применением причинно-следственного анализа и Функциональных Подсказок. Автореферат диссертации на соискание звания ТРИЗ-Мастер, июль 2007г
4. Е.Е. Кудряшов, Анализ цепочек нежелательных эффектов. Научная конференция «Инновационная технология проектирования сегодня и завтра» -Innovation Technology of Design Today & Tomorrow СПб, 1999
5. И. И. Петий, Некоторые дополнения к процедуре свертывания компонентов функциональной модели, СПб, 1998
6. В.В. Павлов, Методика построения ПСЦНЭ, Научная конференция «Инновационная технология проектирования сегодня и завтра» -Innovation Technology of Design Today & Tomorrow СПб, 1999
7. Е.С. Вентцель. Теория вероятностей. М., «Наука»,1964
8. В.Е. Гмурман. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для вузов. Издание 5-е, перераб. и доп. М., «Высшая школа» 1977, 479 стр.
9. Б.В. Гнеденко. Курс теории вероятностей. Издание 6-е. М., «Наука»,1988