

**Анализ эволюции технических систем**

Важным достижением кибернетики является разработка и широкое использование метода исследования, получившего название математического моделирования. Первым этапом математического моделирования является разбиение изучаемой системы на отдельные блоки и элементы и установление связей между ними [1]. Эту задачу решает так называемый системный анализ. В зависимости от целей исследования глубина и способ такого разбиения могут варьироваться. В качестве второго этапа может быть определено адекватности выбранной модели заданным условиям и прогнозируемому результату.

Важным элементом системной методологии в целом является понятие системного оператора [2]. Он обеспечивает место и взаимосвязь множества фактов, их внутренней структуры, что повышает эффективность управления, оперирования информацией и упрощает решение проблем. В общем виде системный оператор выглядит следующим образом (рис. 1):

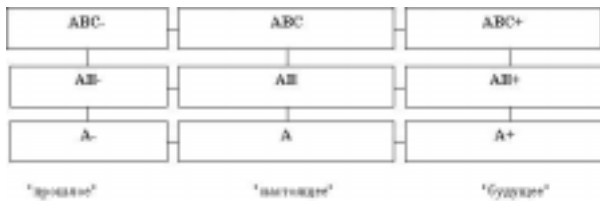


Рис. 1. Системный оператор в общем виде

Рассматриваемая система располагается в центре матрицы. Вертикальные линии соединяют систему с надсистемой и подсистемами, горизонтальные обеспечивают связь трех объектов с объектами в прошлом и будущем. Введем следующие обозначения: «А», «АВ», «АВС» – подсистема, система и надсистема, символами «-» и «+» обозначим предыдущее (прошлое) положение и следующее (возможное будущее) положения системы. Таким образом, подсистема в будущем обозначается «А+», система в настоящем «АВ», а надсистема в прошлом «АВС-». Рассмотрим применение системного оператора на примере персонального компьютера (рис. 2).

Система сегодня «АВ» – это персональный компьютер. В состав современного компьютера



Рис. 2. Системный оператор персонального компьютера

входят: процессорный блок, клавиатура, монитор и др. Поставим их в соответствующую клетку: центральная клетка нижнего ряда – подсистема сегодня «А». Надсистемой для ПК являются компьютерная сеть, система торговли компьютерами и т.д. Для простоты изобразим компьютерную сеть: центральная клетка верхнего ряда – надсистема сегодня «АВС».

Рассмотрим, что происходило с системой, надсистемой и подсистемой на предыдущем этапе. Возьмем момент зарождения компьютерной техники. Первый компьютер («АВ-») появился в НИИ («АВС-») и работал на электронно-вакуумных лампах («А-»). Сведем эту информацию в столбец «прошлое».

Перспективы ближайшего будущего уже более-менее ясны. Персональный компьютер перейдет из системы «АВ» в подсистему «А+». А системой «АВ+» станут внутриквартирные сети, объединяющие всю домашнюю электрическую технику. Надсистему «АВС+» назовем «информационной супермагистралью».

Дальнейшее развитие применения системного оператора можно представить следующим способом [3]. Обозначим черными и белыми прямоугольниками подсистемы. Объекты в прошлом представлены серыми прямоугольниками. Настоящее и будущее же характеризуется некоторой упорядоченностью. Формируется структура системы из нагромождения элементов (серые прямоугольники делятся на черные и белые) (рис. 3). Поменяв местами черные и белые прямоугольники, получим антисистему из 9 элементов. Таким образом, для рассмотрения системы во времени (развитии) и пространстве (структуре) требуется 18 экранов.

Приведем простой пример, рассмотрев систему «карандаш» (рис. 4) и антисистему – «стирательная резинка» (рис. 5). Таким образом, по-

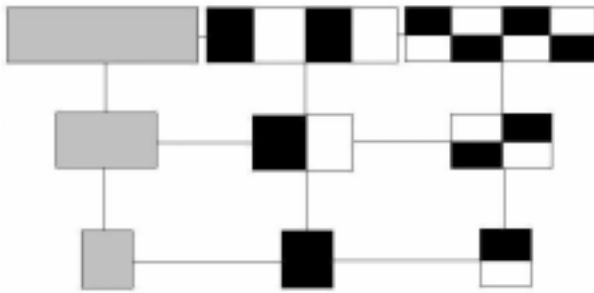


Рис. 3. Структурное представление системы в виде системного оператора



Рис. 4. Система «карандаш»



Рис. 5. Антисистема «стирательная резинка»

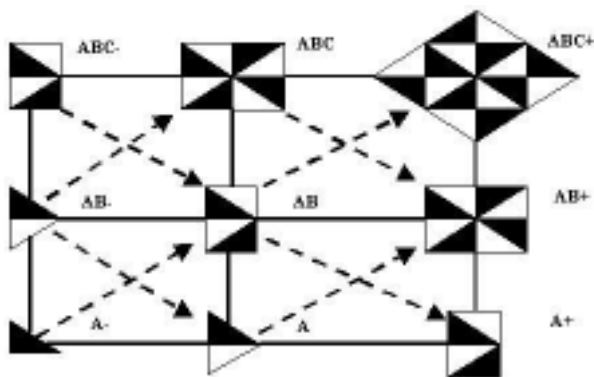


Рис. 6. Универсальный системный оператор (структурная и функциональная организация системы)

лучаем структурное представление системы, характеризующее возможное развитие.

Развитие системного оператора возможно введением в него функционального представления системы, ее функциональной организации (рис. 6). На рисунке изменением конфигурации окна и его ориентации выражается динамика изменения внешней формы фрагмента системы, а количеством треугольников и их расположением – внутреннее содержание фрагмента системы. Перемещение элемента без изменения его внутреннего содержания по ступеням иерархии выражено сохранением геометрической формы и цветов экрана.

Изменением формы экрана по горизонтали выражена трансформация элементов системы в ходе ее эволюционного развития во времени, а диагональными стрелками показана закономерность этого развития: функции (Ф) перемещаются на микроуровень, а структурные элементы (С) – на верхний уровень иерархии системы. Формально эти закономерности можно представить следующими выражениями:

$$\Phi_{i-1}(\text{«надсистема»}) = \Phi_i(\text{«система»}) = \Phi_{i+1}(\text{«подсистема»});$$

$$C_{i-1}(\text{«подсистема»}) = C_i(\text{«система»}) = C_{i+1}(\text{«надсистема»}),$$

где индексы  $i-1$ ,  $i$ ,  $i+1$  характеризуют время развития систем.

Как видно из рисунка 6, подсистема в прошлом становится системой в настоящем и подсистемой в будущем (главная диагональ «А-» - «АВ» - «АВС+»). Поэтому с течением времени усложняется структурность составляющих элементов системы. Таким образом, функционально-структурная организация содержится в операторе в качестве формы представления исследуемой системы.

Рассмотрим универсальный системный оператор, приведенный на рисунке 6, применительно к системе «форсунка дизельного двигателя». Форсунка служит для впрыска топлива в цилиндр двигателя и образования струи впрыскиваемого топлива соответственно типу и форме камеры сгорания. Подача топлива осуществляется под давлением периодически в короткие промежутки времени. Форсунка подает жидкость через сопла. В распылителях поток приобретает скорости, обеспечивающие дробление жидкости на мелкие капли и их распространение в виде струи в камере сгорания. Форсунка имеет клапан, с помощью которого осуществляется изменение количества подаваемой жидкости, начало и конец подачи. На рисунках 7 и 8 приведены системный оператор структурной и функциональной организации системы «форсунка дизельного двигателя».

В прошлом система «форсунка» являлась подсистемой топливно-воздушного смесителя в системе питания дизельного двигателя. В настоящее время форсунка перешла на уровень системы и является частью топливно-воздушного смесителя на линии низкого давления (диагональ «А-» - «АВ»). Главным элементом (подсистемой) форсунки является распылитель, определяющий характер распыления топлива в камере сгорания. Предположив, что форсунка в свою очередь становится надсистемой с более



Рис. 7. Системный оператор структурной организации системы «форсунка дизельного двигателя»



Рис. 8. Системный оператор функциональной организации системы «форсунка дизельного двигателя»

усложненной структурой (диагональ «АВ» – «АВС+»), распылитель начинает выступать в качестве системы (диагональ «А» – «АВ+»), содержащей новый элемент – топливно-воздушный смеситель. Таким образом, в рассмотренном срезе структурной эволюции технической системы «форсунка», главным элементом становится распылитель с управляющим подсистемой топливно-воздушным смесителем. Вектор эволюции направлен от подсистемы к надсистеме (основная диагональ «А-» – «АВ» – «АВС+»).

Согласно рисунку 8, функция распыления топлива в прошлом включала в себя функцию образования струи. В качестве функции подсистемы выступала турбулизация струи. Это обуславливалось преобладанием технических решений, направленных, прежде всего, на операции впрыска, образования и турбулизации струи. С переходом функции распыления на уровень системы (диагональ «АВС-» – «АВ»), большее внимание стало уделяться процессу смешения жидкого топлива с газом. Дальнейшая эволюция приводит к преобладанию более эффективных средств для смешения топлива с газом в рамках процесса подготовки топлива к сгоранию. Таким образом, в рассмотренном функциональном срезе технической системы «форсунка», определяющей функцией системы становится функция смешения. Вектор эволюции направлен от надсистемы к подсистеме (основная диагональ «АВС-» – «АВ» – «А+»).

Анализ системных операторов, представленных на рисунках 7 и 8, позволяет спрогнозировать дальнейшую эволюцию системы «форсунка». Эта эволюция выражается возникновением новых подсистем, предназначенных для смешения разнородных сред, что связано с увеличением количества и качества выполняемых функций за счет усложнения системы (закон «свертки-развертки» технической системы). При усложнении структуры и появлении новых связей повышается динамичность и управляемость технической системы «форсунка». В частности, это проявляется в системе «распылитель» при появлении нового управляющего элемента газосодержанием в топливно-воздушной смеси, подаваемой в камеру сгорания через распылитель.

Таким образом, системный оператор может выступать в качестве эффективного инструмента прогнозирования в науке и технике. Универсальный системный оператор, являясь комплексной схемой для структурного и функционального анализа, представляется эволюционным срезом развития системы.

В приведенном примере эволюция системы «форсунка дизельного двигателя» может привести к реорганизации структуры за счет перехода системы «смеситель» на нижний уровень иерархии, вплоть до микроуровня, а также к появлению технических средств и устройств для более эффективного смешения жидкости с газом в целях качественного повышения подготовки топлива к сгоранию.

Выводы из анализа системных операторов (рис. 7–8):

1. Происходит переход от жидкого или газообразного топлива к газожидкостным смесям. Это вызвано требованиями к повышению полноты сгорания, энергоемкости и ужесточением экологических стандартов.

2. Усиление роли системы «распылитель» и появление гетерогенного смесителя на нижнем уровне иерархии говорит о двух возможных путях совершенствования: 1) развитие конструкции распылителя путем модификации важнейших элементов (например, совершенствование профиля сопловых отверстий); 2) развитие конструкции распылителя на основе гетерогенного смесителя, расположенного в распылителе (например, в целях смешения сжатого газа и порции жидкого топлива).

## Литература

1. Глушков В.М. Введение в кибернетику. Киев, 1964.
2. Альтшуллер Г.С., Злотин Б.Л., Зусман А.В., Филатов В.И. Поиск новых идей: от озарения к технологии. Кишинев, 1989.
3. Волков В.И. Изобретательские задачи в процессах переноса. Барнаул, 1997.