



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЦЕНТР ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Управление качеством»

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОДУКЦИИ ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ**

Методические указания к практическим занятиям  
по дисциплине "Системный анализ"

Авторы:

Димитров Валерий Петрович  
Борисова Людмила Викторовна  
Зубрилина Елена Михайловна

Ростов-на-Дону, 2014



## **Аннотация**

Методические указания предназначены для бакалавров по направлению подготовки 221700 Стандартизация и метрология.

Печатается по решению методической комиссии факультета «Приборостроение и техническое регулирование».

## **Авторы**

Доцент кафедры «Управление качеством» ДГТУ, к.т.н,  
Зубрилина Елена Михайловна

Заведующий кафедрой «Управление качеством» ДГТУ  
д.т.н., профессор Димитров Валерий Петрович

Профессор кафедры «Управление качеством» д.т.н.  
Борисова Людмила Викторовна





## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МНОГОМЕРНОЙ ЛИНЕЙНОЙ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ	<b>Оши</b>
3 АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ	5
4 МОДИФИКАЦИИ АЛГОРИТМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ	10
ЗАДАНИЕ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЫ	13
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	13
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ	14



## 1 ВВЕДЕНИЕ

Анализ закономерности эволюции технических систем показывает, что имеются определенные тенденции в изменениях параметров аналогичной продукции во времени. В качестве примера можно рассмотреть изменение технического уровня зерноуборочного комбайна: повышается пропускная способность, масса комбайна, диаметр молотильного барабана, вместимость бункера и др. Поэтому, естественно, что оценки параметров вновь создаваемой, либо модернизируемой конструкции комбайна, удовлетворяющей изменившимся условиям, можно искать на основе опыта создания прошлых образцов. Таким образом, возникает задача прогнозирования технического уровня новых машин. При этом точность прогнозирования параметров изделия играет большую роль при принятии решения о создании нового образца продукции. В настоящее время предложено большое число различных методов и их модификаций для получения прогнозных оценок характеристик.

## 2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МНОГОМЕРНОЙ ЛИНЕЙНОЙ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ

Обозначим набор требований (условий) технического задания (ТЗ) через  $X$ , а набор характеристик желаемого проектного решения буквой  $Y$ . Тогда задачу проектирования можно представить как задачу преобразования технического задания в проект:

$$Y = F_0(X), \quad (1)$$

где  $F_0$  - процедура построение проекта  $Y$  по его техническому заданию.

Успешное решение задачи создания нового образца продукции возможно при наличии определенных правил проектирования. Как показывает практика, получение указанных правил связано со значительными трудностями. Поэтому подход, основанный на детальном знании, реализуется лишь для решения сравнительно простых, хорошо изученных и широко применяемых на практике задач.

Другой подход определения характеристик проектных решений основывается на известном кибернетическом принципе изучения сложных систем по типу "вход-выход". В качестве при-



## Системный анализ

мера рассмотрим эволюцию некоторых параметров комбайна, спроектированного по классической схеме (табл. 1).

Как известно, на практике широко используются типовые методы проектирования. Кроме того, конструктор зачастую старается применить в конструкции оправдавшие себя на практике проектные решения.

В результате чего налицо имеется либо доработка машины, которая заключается в приспособлении машины к особым условиям и требованиям новой задачи (могут измениться габариты, мощность, и т.п.), либо модификация машины (при этом сохраняется принцип действия, но меняются состав, размещение и соединение рабочих органов и элементов привода в пространстве и т.п.).

Таблица 1 Изменение параметров комбайна во времени

Параметр	Годы		
	1948	1973	1985
Площадь решет очистки, м <sup>2</sup>	1,95	2,49	4,42
Длина соломотряса, м	2,6	3,62	4,2
Объем бункера, м <sup>3</sup>	1,8	3,0	6,0

Таким образом, имеется набор характеристик какого-либо изделия, который будем называть матрицей из N прецедентов [2], т.е.

$$I = \langle \mathbf{X}_j, \mathbf{Y}_j (j = 1, N) \rangle,$$

где  $\mathbf{X}_j$  - задание на проектирование;  $\mathbf{Y}_j$  - проект разработанный ранее по указанному заданию, т.е.  $\mathbf{Y}_j = F^0(\mathbf{X})$ ,  $j = 1, N$ .

Рассматриваемый метод позволяет использовать накопленный опыт и с учетом требований нового технического задания  $\mathbf{X}_{N+1}$  получить приблизительное проектное решение  $\mathbf{Y}_{N+1}$  без детального анализа специфики проектирования  $F^0$ . Следовательно, метод многомерной линейной экстраполяции позволяет решать задачу восстановления функции в условиях информационной недостаточности в пространствах малой размерности.

## 3 АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Алгоритм состоит в следующем. Составляется уравнение для элементов векторного линейного параметризованного подпространства

$$\{X \odot\} = X_1 + \sum_{j=1}^{k-1} \lambda_j \cdot (X_{j+1} - X_1), \quad (2)$$

где  $\{X\}$  - множество векторов возможных ситуаций  $X$  (реаль-



## Системный анализ

ных проектов),  $(X_1, X_2, \dots, X_k)$ ;  $X_1$  - первая проектная ситуация;  $k$  - число ситуаций;  $\lambda_j$  - коэффициент пропорциональности.

Далее вводится функция близости, характеризующая удаленность (близость) одной ситуации от другой

$$\Phi = \Phi(X, X'), \text{ где } X \in \{X\}, \quad X' \in \{X'\}. \quad (3)$$

Используя условия конкретной задачи, подробно расписывается выражение (3).

На следующем шаге выполняется процедура минимизация функции близости, для чего определяются частные производные по параметрам  $\lambda_j$ , т.е.

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_j} = 0, \quad j = \overline{1, k-1}.$$

В результате решения полученной системы уравнений находим численные значения коэффициентов пропорциональности и подставляем их в уравнение (4) для нахождения вектора проектных решений

$$\{Y'\} = Y_1 + \sum_{j=1}^{k-1} \lambda_j \cdot (Y_{j+1} - Y_1), \quad (4)$$

где  $Y_1$  - первое проектное решение (выходная величина в первой ситуации);

$k$  - число проектных решений, соответствующее количеству ситуаций.

В качестве иллюстрации рассмотрим оценку значения массы комбайна "Дон-1500", по своей функциональной схеме имеющего несколько предшественников (табл. 2).

Таблица 2 Значение технических характеристик машин - аналогов

Марка комбайна	$F_i$ (масса)	$A_i$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
СК-3	5580	$A_1$	1,2	0,6	1,95	3,16	1,8
СК-5	7890	$A_2$	1,2	0,6	2,49	4,26	3,0
Дон - 1500	13400	$A_3$	1,5	0,8	4,42	6,02	3,0

В специальной литературе [3] имеются данные о том, что при определении класса комбайна необходимо учитывать следующие параметры:  $X_1$  - ширина молотилки, м;  $X_2$  - диаметр молотильного барабана, м;  $X_3$  - общая площадь решет очистки, м<sup>2</sup>;  $X_4$  - общая площадь соломотряса, м<sup>2</sup>;  $X_5$  - объем бункера, м<sup>3</sup>.

Этот набор конструктивных параметров мы и примем в качестве составляющих вектора возможной ситуации.



## Системный анализ

В качестве примера рассмотрим определение оценки одного из выходных параметров технической системы - массы нового комбайна.

### 3.1 Пример в трехмерном пространстве

На стадии эскизного проектирования оценить значение массы комбайна Дон-1500, используя при этом три параметра машин-аналогов СК-3 и СК-5 (диаметр молотильного барабана, площадь очистки и объем бункера).

Другими словами, в распоряжении конструктора имеется две проектные ситуации  $A_1(0,6;1,95;1,8)$  и  $A_2(0,6;2,49;3,0)$ , для которых известны выходные характеристики, т.е. значения массы комбайна -  $F_1 = 5580$  и  $F_2 = 7890$ .

Необходимо найти значение массы  $F_3$  нового комбайна с параметрами  $A_3(0,8;4,42;6,0)$ .

Как видно из табл. 2, для ситуации  $A_3$  известно точное значение массы комбайна. Это значение будем использовать для оценки погрешности применяемого метода.

В соответствии с алгоритмом метода составим подпространство известных состояний по формуле

$$\{x'\} = A_1 + \lambda \cdot (A_2 - A_1).$$

Для примера получаем по координатное представление подпространства.

$$\text{Далее вводим функцию близости } \Phi(X' - A_3) = |X' - A_3|^2.$$

Условия задачи, получаем количественное представление функции близости в виде:

Минимизируем функцию близости, для чего определяем ее производную по параметру  $\lambda$ :

$$\Phi(X' - A_3) = (0,6 - 0,8)^2 + (0,54\lambda - 2,47)^2 + (1,2\lambda - 4,2)^2.$$

Решая полученное уравнение, находим параметр  $\lambda = 3,68$ .

По формуле (4), которая в данном случае имеет вид :

$$F_3^{1\varnothing} = F_1 + \lambda \cdot (F_2 - F_1)$$

получаем значение массы комбайна

$$F_3^{1\varnothing} = 5580 + 3,68 \cdot (7890 - 5580) = 14081 \text{ кг}$$

Сравнивая значения  $F_3$  и  $F_3^{1\varnothing}$ , получаем оценку погрешности для данного примера  $\delta_1 = 4,83\%$ .

**Вывод.** Значение ошибки говорит о достаточной близости прогнозируемой оценки массы к реальному значению. Однако



## Системный анализ

представляет интерес рассмотреть более представительные проектные ситуации.

### 3.2 Пример в пятимерном пространстве

В данном примере используются все данные, приведенные в табл. 2.

В нашем распоряжении имеются данные по двум проектным ситуациям

$A_1 (1,2;0,6;1,95;3,16;1,8)$  и  $A_2 (1,2;0,6;2,49;4,26;3,0)$ , для которых известны выходные характеристики  $F_1 = 5580$  и  $F_2 = 7890$ . Необходимо определить входную характеристику  $F_3^{23}$  системы с параметрами  $A_3 (1,5;0,8;4,42;6,02;6,0)$ .

В соответствии с алгоритмом метода многомерной экстраполяции по выражению (2) получим по координатное представление подпространства

$$\{X\} = \{(1,2+0), (0,6+0\lambda), (1,95+0,54\lambda), (3,16+1,1\lambda), (1,8+1,2\lambda)\}.$$

Далее вводим функцию близости  $\Phi(X'-A_3) = |X'-A_3|^2$  и, используя условия задачи, определяем количественное представление этой функции в виде:

$$\Phi(X'-A_3) = (1,2-1,5)^2 + (0,6-0,8)^2 + (0,54\lambda-2,47)^2 + (1,1\lambda-2,86)^2 + (1,2\lambda-4,2)^2.$$

Минимизируем функцию близости, для чего определим ее произвольную по параметру  $\lambda$  и приравняем к нулю  $\Phi_\lambda = 5,8832\lambda - 19,04 = 0$ .

Решение уравнения -  $\lambda = 3,24$ . По формуле (4), которая в данном случае имеет вид:  $F_3^{23} = F_1 + \lambda(F_2 - F_1)$  получим значение выходной характеристики (массы комбайна)  $F_3^{23} = 13064$ . Сравнивая значения  $F_3$  (см. табл. 2) и  $F_3^{23}$ , получаем оценку погрешности при прогнозировании массы комбайна Дон-1500. Она составляет  $\delta_2 = 2,5\%$ . Анализ значений  $\delta_1$  и  $\delta_2$  показывает, что погрешность снизилась.

### 3.3 Пример в пятимерном пространстве с тремя проектными ситуациями

Представляет интерес определить оценку массы комбайна с новыми параметрами  $S_4 (1,6;0,8;4,8;6,36;7,0)$ , используя имеющуюся информацию, т.е. известные проектные ситуации  $S_1, S_2, S_3$ , (см. табл. 2).

Задачу будем решать в двух вариантах.





## Системный анализ

*Первый вариант* - определение массы нового комбайна  $Y_4^{13}$  по двум проектным ситуациям  $S_1$  и  $S_2$ . Алгоритм решения первого варианта аналогичен рассмотренному выше примеру, и поэтому приведем лишь окончательное решение  $Y_4^{13} = 14450$  кг.

А теперь решим эту задачу, используя всю информацию, т. е. проектные ситуации  $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$ . Как и в примере, составляем пространство известных ситуаций

$$\{X'\} = \{(1,2+0\lambda_1+0,3\lambda_2), (0,6+0\lambda_1+0,2\lambda_2), (1,8+1,2\lambda_1+4,2\lambda_2), (1,95+0,54\lambda_1+2,47\lambda_2), (3,16+1,1\lambda_1+2,86\lambda_2)\}$$

Вводим квадратичную функцию близости, новой ситуации  $S_4$  к подпространству  $\{X'\}$

$$\Phi(X' - S_4) = (0,3\lambda_2 - 0,4)^2 + (0,2\lambda_2 - 0,2)^2 + (1,2\lambda_1 + 4,2\lambda_2 - 5,2)^2 + (0,54\lambda_1 + 2,47\lambda_2 - 2,85)^2 + (1,1\lambda_1 + 2,86\lambda_2 - 3,2)^2.$$

Минимизируем функцию близости, для чего приравниваем ее производные по  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  нулю

$$\Phi_{\lambda_1} = 5,8832\lambda_1 + 19,0396\lambda_2 - 22,598 = 0$$

$$\Phi_{\lambda_2} = 19,04\lambda_1 + 64,101\lambda_2 - 76,383 = 0$$

Решая эту систему уравнений, находим значения переменных  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  при которых  $\Phi(X' - S_4)$  минимальна:  $\lambda_1 = -0,49$ ;  $\lambda_2 = 1,338$

Затем по формуле (4) строим подпространство решений  $Y_4^{23} = Y_1 + \lambda_1 \cdot (Y_2 - Y_1) + \lambda_2 \cdot (Y_3 - Y_1) = 5580 - 0,49 \cdot (7890 - 5580) + 1,338 \cdot (13400 - 5580)$ .

В результате вычислений находим экстраполированное значение массы комбайна, разное  $Y_4^{23} = 14911$  кг.

Как видно из расчетов, добавление третьей проектной ситуации привело к увеличению прогнозируемой оценки.

В соответствии с ранее рассмотренным алгоритмом метода многомерной линейной экстраполяции решение этой задачи будет  $Y_3^3 = 107$ . При этом погрешность составляет  $\delta_1 = 8,5\%$  (имеется в виду, что известна величина  $Y_3$ ).

В заключение отметим, что надежность результатов прогнозирования технических характеристик продукции зависит от множества факторов. Одним из главных является рациональный выбор аналогов. По сути дела указанная рациональность подразумевает выполнение ряда гипотез относительно корректности применения рассматриваемого метода.

В основе метода многомерной экстраполяции лежат следующие предположения [2]:

1) о линейной зависимости выходных параметров характеристик технической системы от управляемых параметров и проектных



## Системный анализ

ситуаций;

2) о близости новых ситуаций к подпространству  $\{X'\}$ , в результате чего погрешность экстраполяции зависит от размерности проектных задач и полноты подпространства известных ситуаций, что позволяет отобразить новую ситуацию на известное подпространство ситуаций с минимальной погрешностью.

Таким образом, успех прогнозирования базируется в основном на не формальном анализе исходных данных, умелом выборе проектных ситуаций и составляющих вектора ситуаций. Но, несмотря на многие "подводные камни" на ранних стадиях проектирования, когда объем информации о проектируемой машине минимальный, эффективность метода многомерной линейной экстраполяции очевидна.

## 4 МОДИФИКАЦИИ АЛГОРИТМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

При не выполнении предпосылок, рассмотренных ранее, а также не совсем удачном выборе аналогов, погрешность прогнозируемой оценки выходного параметра может быть велика.

Для повышения точности метода линейности экстраполяции используются две его модификации: сдвиг подпространства и поворот подпространства. Рассмотрим на примере, заимствованном из работы [2], суть этих измерений.

Пусть заданы ситуации  $X_1$  и  $X_2$  и их решения  $Y_1$  и  $Y_2$ . Требуется определить решение  $Y_3$  для новой проектной ситуации  $X_3$ . Основные данные для решения задачи представлены в таблице 3.

Таблица 3 Справочные данные для расчета

i	$X_i$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$Y_i$
1	$X_1$	2	1	2	1	1	23
2	$X_2$	4	3	3	3	2	48
3	$X_3$	7	6	10	8	6	117

### 4.1. МЕТОД ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО СДВИГА ПОДПРОСТРАНСТВА

Решим эту же задачу с помощью метода сдвига. В этом случае подпространство проектных ситуаций определяется по формуле



### Системный анализ

$$\{X'\} = p \cdot [X_1 + \sum_{i=1}^{k-1} \lambda_i \cdot (X_{i+1} - X_1)]. \quad (5)$$

Для двух ситуаций нашего примера формула (5) будет иметь вид:

$$\{X'\} = p \cdot [X_1 + \lambda(X_2 - X_1)]. \quad (6)$$

После расшифровки выражение (6) будет следующим:

$$\{X'\} = \{p(2+2\lambda), p(1+2\lambda), p(2+\lambda), p(1+2\lambda), p(1+\lambda)\}.$$

Формула для функции близости, которая зависит от параметров  $p$  и  $\lambda$ , имеет вид

$$\Phi(X' - X_3) = \sum_{\partial=1}^m \{p[X_{1l} + \sum_{i=1}^{k-1} \lambda_i \cdot (X_{i+1} - X_1)_l] - X_{3l}\}^2. \quad (7)$$

С учетом условий задачи, выражение (7) запишем следующим образом:

$$\Phi(X' - X_3) = (2p+2\lambda p-7)^2 + (p+2\lambda p-6)^2 + (2p+\lambda p-10)^2 + (p+2\lambda p-8)^2 + (p+\lambda p-6)^2.$$

Минимизируя эту функцию по  $p$  и  $\lambda$ , получаем:  $p=3,55$ ;  $\lambda=0,38$ . Экстраполированное решение определяется по формуле

$$Y_3 = p[Y_1 + \sum_{i=1}^{k-1} \lambda_i (Y_{i+1} - Y_1)] \quad (8)$$

В данном случае для ситуации  $X_3$  решение находится по экстраполяционной формуле модифицированного алгоритма  $Y_3 = p[Y_1 + \lambda(Y_2 - Y_1)] = 115$ .

Погрешность будет  $\delta_2 = 1,6\%$ , что значительно меньше, чем погрешность

$\delta_1 = 8,5\%$ , полученная ранее.

## 4.2. МЕТОД ПОВОРОТА ПОДПРОСТРАНСТВА СИТУАЦИЙ

Для повышения точности линейной экстраполяции в этом случае иначе формируют подпространство проектных ситуаций

$$\{X'\} = pX_1 + \sum_{i=1}^{k-1} \lambda_i \cdot (X_{i+1} - pX_1) \quad (9)$$

Для нашей задачи выражение (9) будет иметь вид:



### Системный анализ

$$\{X'\} = pX_1 + \lambda(X_2 - pX_1)$$

или  $\{X'\} = X\{[2p(1-\lambda) + 4\lambda], [p(1-\lambda) + 3\lambda], [p(1-\lambda) + 3\lambda], [p(1-\lambda) + 2\lambda]\}$ .

Функция близости определяется по формуле

$$\Phi(X \odot - X_2) = \sum_l^n [pX_{ll} + \sum_{i=1}^{k-1} \lambda_i (X_{i+1} - pX_l) - X_{\exists l}]^2 \cdot \quad (10)$$

В нашем случае функция близости имеет вид:

$$\Phi(X' - X_3) = [pX + (X_2 - pX_1) - X_3]^2.$$

или

$$\begin{aligned} \Phi(X' - X_3) &= [2p(1 - \lambda) + 4\lambda - 7]^2 + [p(1 - \lambda) + 3\lambda - 6]^2 + [2p(1 - \lambda) + \\ &+ 3\lambda - 10]^2 + \\ &+ [p(1 - \lambda) + 3\lambda - 8]^2 + [p(1 - \lambda) + 2\lambda - 6]^2. \end{aligned}$$

Минимизируя  $\Phi$  по  $p$  и  $\lambda$ , определяем  $\lambda = 1,38$ ;  $p = -6,8$ .

Решение находим по экстраполяционной формуле, полученной для модифицированного алгоритма, связанного с поворотом подпространственной ситуацией

$$Y_{\odot} = pY_1 + \sum_{i=1}^{k-1} \lambda_i \cdot (Y_{i+1} - pY_1) \quad (11)$$

или

$$Y_{\odot} = p \cdot Y_1 + \lambda \cdot (Y_2 - pY_1).$$

Погрешность при этом составляет  $\delta_3 = 1,5\%$ .

Анализ значений  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$  показывает, что модификации алгоритма многомерной линейной экстраполяции, связанные с поворотом и сдвигом подпространства ситуаций, позволяют улучшить результат прогнозирования, что особенно важно при малом числе наблюдений.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЫ

5.1 Определить выходной параметр - пропускную способность комбайна  $Y_3$  с параметрами  $A_3(1,5; 0,8; 4,42; 6,02; 6,0)$ . Для решения задачи использовать данные машины - аналогов (см. табл. 2) с учетом, что  $Y_1 = 3$  кг/с и  $Y_2 = 5$  кг/с.

5.2. Определить мощность двигателя зерноуборочного комбайна  $Y_3$  с параметрами  $A_3$  из предыдущей задачи. Для решения использовать имеющиеся проектные ситуации (см. табл. 2) с учетом, что  $Y_1 = 48$  кВт и  $Y_2 = 88$  кВт.

5.3. Определить массу комбайна фирмы Джон Дир марки



### Системный анализ

8820 с параметрами  $A_3(1,66; 0,56; 4,39; 6,36; 7,8)$ . Условия задачи приведены в табл. 4.

5.4 Определить мощность двигателя комбайна Джон Дир марки 8820 -  $Y_3$ , используя данные предыдущей задачи.

Таблица 4 Характеристики комбайнов

Мар-ка "Джон Дир"	Ши-рина моло- тилки, м	Диа- метр бара- бана, м	Пло- щадь решет- очист- ки, $m^3$	Пло- щадь соло- мот- ряса, $m^2$	Объем бунке- ра, $m^3$	Масса ком- бай- на, кг	Мощ- ность двига- теля, кВт
975	1,3	061	4,60	4,72	4,2	8150	110
985	1,6	0,61	5,32	5,55	4,2	8990	125
8820	1,66	0,56	4,39	6,36	7,8	11210	165

### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Введение в системный анализ: учеб.пособие / В.П. Димитров, Л.В. Борисова, Б.Б. Жмайлов – 2-е изд., испр. и доп. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2013. – 77 с.
2. Системный анализ и принятие решений: учебное пособие / С.А. Баркалов, И.С. Суровцев, А.И. Половинкина ; науч.ред. В.Н. Бурков. – Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воро-нежского государственного университета, 2010. – 652 с.
3. Эйрес Р. Научно-техническое прогнозирование и долгосрочное планирование/Пер. с англ. под ред. Г.М.Доброва. М.: Мир, 1971. 296 с.
4. Растринин Л.А., Пономарев Ю.П. Экстраполяционные методы проектирования и управления. М.: Машиностроение, 1986. 120 с.
5. Серый Г.Ф., Косилов С.Н., Ярмашев Ю.Н. Зерноуборочные ком-байны. М.: Агропромиздат, 1986. 248 с.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Сущность метода многомерной линейной экстраполяции.
2. Алгоритм прогнозирования.
3. Модификации алгоритма прогнозирования.



#### Системный анализ

4. Сущность метода пропорционального сдвига подпространства.
5. Сущность метода поворота подпространства ситуаций.