

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АПРИОРНОЕ РАНЖИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ  
МЕТОДОМ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

ПРАКТИКУМ

Ростов-на-Дону  
2021

УДК 001.891

Составители: Е.М. Зубрилина, В.П. Димитров

Априорное ранжирование факторов методом экспертных оценок: практикум. – Ростов-на-Дону: ООО «ДГТУ-Принт», 2021. – 23 с.

В данном разделе практикума приводится методика априорного ранжирования факторов, влияющих на исследуемый процесс, методом экспертных оценок. Дан пример применения методики априорного ранжирования факторов, влияющих на процесс посева семян кукурузы экспериментальной сеялкой. Описан порядок проведения практической работы по ранжированию факторов, влияющих на скорость семян пропашной культуры при посеве их пневматической экспериментальной сеялкой с семяпроводом.

Практикум предназначен для проведения практических работ со студентами, изучающими дисциплину «Основы научных исследований», «Основы научных исследований в отрасли», «Основы научных исследований в АПК».

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Донского государственного технического университета

Научный редактор  
кандидат физико-математических наук,  
доцент И.Н. Нурутдинова

© ДГТУ, 2021

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ** – приобрести компетенции применения методики экспертных оценок при априорном ранжировании факторов, влияющих на параметры исследуемого объекта на стадии его предварительного изучения.

### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

*Априорной* называется информация, которой располагает исследователь до того, как он приступит к экспериментам. Априорная информация может быть представлена в виде множества отдельных несистематизированных данных об объекте исследования (процессе, устройстве) и его параметрах. Следствием этого является задача об объективном ограничении номенклатуры переменных и о выделении главных факторов.

*Ранжирование* – это оценка степени влияния на результат (выход) исследования отдельных переменных факторов путём назначения им ранга – порядкового номера. Чем меньше ранг, тем сильнее влияние.

*Ранг* – показатель, характеризующий порядковое место объекта в группе других объектов, обладающих существенными для оценки свойствами.

*Априорное ранжирование* – один из методов экспертных оценок, используемых для упорядочения исходной информации, используемый при низкой достоверности априорной информации, наглядно описанной логистической кривой (рис. 1). При этом экспертная оценка является вероятностной, основанной на способности личности давать полезную информацию в условиях неопределенности.

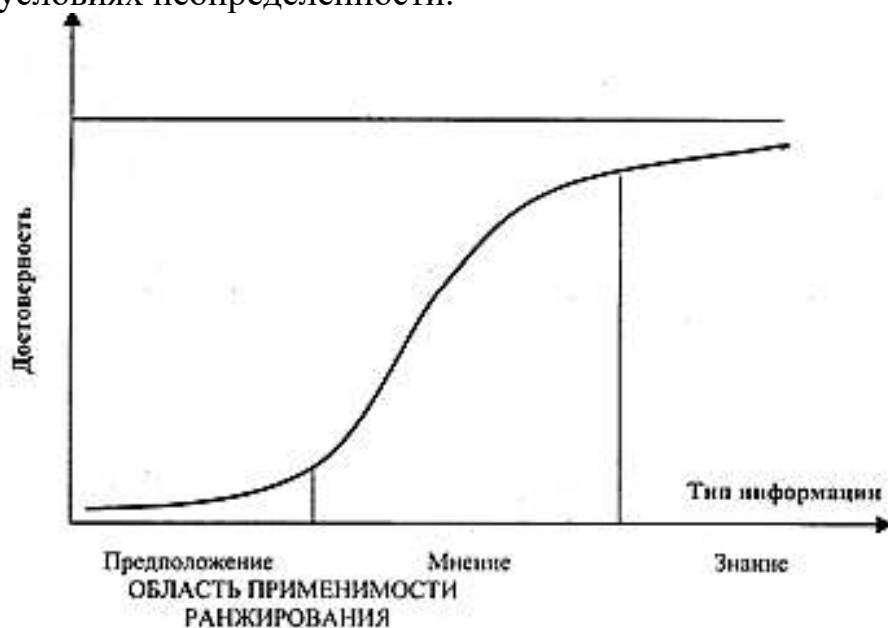


Рис. 1. Зависимость достоверности информации от ее типа

Экспертами используется определенная шкала порядка, на которой заданный показатель определяет расположение объектов во всей их совокупности в соответствии с принятым масштабом шкалы. То есть каждому объекту соответствует некоторая количественная характеристика или мера.

Количество ранжируемых объектов, как правило, не должно превышать 20, а наиболее надежные результаты относятся к 10 объектам. Численность экспертов должна превышать число оцениваемых факторов, но быть меньше общего, потенциально возможного числа специалистов.

*Преимущества априорного ранжирования:* сравнительная простота организации процедуры и оперативность получения результатов.

*Недостатки априорного ранжирования:* большая зависимость результатов от качества организации экспертизы и подбора экспертов, т.е. определенная субъективность. Кроме того, при оценке тех или иных факторов (мероприятий) для данной системы (предприятия, фирмы) эксперты пользуются своим прежним опытом или взглядами (именно поэтому экспертиза называется априорной). Поэтому правильная постановка вопросов и выбор факторов для данной системы имеют особое значение и существенно влияют на результаты экспертизы.

## 2. МЕТОДИКА АПРИОРНОГО РАНЖИРОВАНИЯ

1. Постановка цели и задач исследований.
2. Выбор параметров выхода (оптимизации) или отклика.
3. Составление перечней факторов, влияющих на исследуемый процесс.
4. Операционное определение факторов. *Это определение вводится для однозначного понимания специалистами каждого фактора.*
5. Установление интервалов варьирования отдельных факторов. *Это связано с тем, что влияние отдельных факторов может быть различным в разных областях факторного пространства.*
6. Ранжирование факторов в порядке убывания их воздействия на параметр выхода.

*Каждому фактору из общего перечня присваивается ранг (цифра натурального ряда), соответствующий месту, отведенному исследователем данному фактору в ранжируемом ряду (наиболее важный фактор – 1, менее важный – 2, еще менее важный – 3 и т.д.).*

7. Построение матрицы априорного ранжирования (табл. 1), в которой количество столбцов соответствует количеству факторов (n) (табл. 1, столбцы 3-12), а количество строк соответствует числу опрошенных экспертов (табл. 1, строки 2-6).

Таблица 1

Матрица априорного ранжирования

№ п/п	Источники информации (эксперты) (m=5)	Факторы (n=10)										$T_j = \sum_{i=1}^p \gamma_{(k)_{ji}}$
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	1	2	1	3	4	8	9	10	5	7	6	0
3	2	1	2,5	2,5	3	8	7	9	5	6	4	$T_2 = 6$
4	3	1	2	3	5	10	8	9	4	6	7	0
5	4	1	3	2	4	9	7	10	6	8	5	0
6	5	2	1	3	5	9	8	10	4	7	6	0
7	$\sum_{j=1}^5 a_{i,j}$	7	9,5	13,5	21	44	39	48	24	34	28	$\sum_{j=1}^5 T_j = 6$
8	$\Delta_i$	19,8	17,3	13,3	5,8	17,2	12,2	21,2	2,8	7,2	1,2	$\bar{T} = 26,8$
9	$\Delta_i^2$	392,04	299,29	176,89	33,64	295,84	148,84	449,44	7,84	51,84	1,44	$S_w = 1857,1$
10	Ранги	1	2	3	4	9	8	10	5	7	6	

8. Формальная проверка ранжирования. Определение суммы рангов в каждом столбце матрицы априорного ранжирования (табл. 1, столбцы 6-10):

$$S_n = \frac{n(n+1)}{2} = \sum_{i=1}^n a_i, \quad (1)$$

где n – число рассматриваемых факторов.

9. Определение суммы рангов по факторам (табл. 1, строка 7):

$$\sum_{j=1}^m a_{i,j}, \quad (2)$$

где  $a_{i,j}$  – ранг каждого i-го фактора у j-го специалиста (или по j-му источнику литературы);

m – количество опрошенных экспертов (или рассмотренных литературных источников).

10. Определение средней суммы рангов (табл. 1, столбец 13, строка 7):

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{i,j}}{n}. \quad (3)$$

11. Определение абсолютной величины разности между каждой суммой рангов по факторам и средней суммой рангов (табл. 1, строка 8):

$$\Delta_i = \left| \sum_{j=1}^m a_{i,j} - \bar{T} \right|. \quad (4)$$

12. Определение квадрата разностей (табл. 1, строка 9):

$$\Delta_i^2. \quad (5)$$

13. Определение суммы квадратов разностей (табл. 1, столбец 13, строка 9):

$$S_w = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2. \quad (6)$$

14. Определение показателей групп связанных рангов:

$$\gamma_{(k)_j} = t_k^3 - t, \quad (7)$$

где  $t$  – количество одинаковых связанных рангов в  $j$ -м ранжировании;

$k$  – индекс величины одинаковых связанных рангов в  $j$ -м ранжировании.

15. Определение суммарного показателя связанных рангов по ранжированию (табл. 1, столбец 13, строка 2-6):

$$T_j = \sum_{l=1}^p \gamma_{(k)_{j_l}}, \quad (8)$$

где  $p$  – число групп одинаковых связанных рангов в  $j$ -м ранжировании.

16. Определение суммы суммарных показателей связанных рангов (табл. 1, столбец 13, строка 7):

$$\sum_{j=1}^m T_j. \quad (9)$$

17. Определение коэффициента конкордации:

$$W = \frac{12 S_w}{m^2 (n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j}. \quad (10)$$

18. Предварительная оценка коэффициента конкордации по его числовому значению. Коэффициент конкордации  $W$  меняется от 0 до 1, причем равенство единице означает, что все эксперты дали одинаковые оценки по данному признаку, а равенство нулю означает, что связь между оценками, полученными от разных экспертов, не существует.

19. Определение значимости коэффициента конкордации устанавливается с помощью критерия Пирсона:

$$v = n - 1, \quad (11)$$

$$\chi_p^2 = \frac{12 S_w}{mn(n+1) - \frac{1}{(n-1)} \sum_{j=1}^m T_j} = m(n-1)W. \quad (12)$$

Примечание: при отсутствии связанных рангов величина  $\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^m T_j$  обращается в нуль.

При числе факторов меньше или равном семи можно пользоваться специальной таблицей (расчетное  $S_w$  должно быть больше критического, табличного). При большем числе факторов достаточно, чтобы значение расчетного  $\chi^2_p$  критерия было больше значения табличного  $\chi^2_t$  критерия для соответствующей степени свободы ( $\nu$ ) и доверительной вероятности ( $p$ ), обычно принимаемой 0,95 или 0,99. Гипотеза о наличии согласованности мнений исследователей может быть принята, если при заданном числе степеней свободы табличное значение  $\chi^2$  меньше расчетного для 5%-ного уровня значимости.

## 20. Построение априорных диаграмм рангов.

Получение значимого коэффициента конкордации (т.е. подтверждение согласованности мнений специалистов) дает возможность построить среднюю априорную диаграмму рангов, отражающую коллективное мнение специалистов. Диаграмма рангов строится в координатах: ордината – сумма рангов; абсцисса – ранжируемые объекты (факторы). Чем меньше сумма рангов данного фактора, тем выше его место на диаграмме (рис. 2). С помощью диаграммы рангов производится оценка значимости факторов.

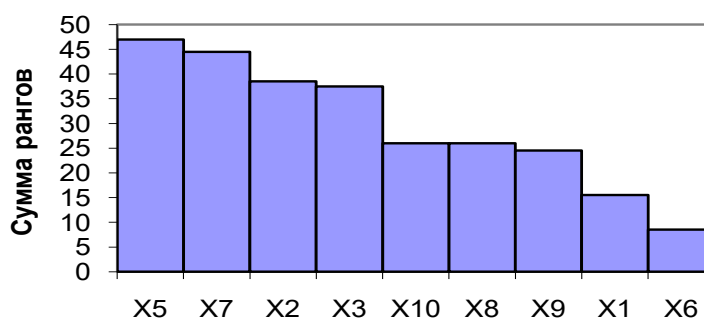


Рис. 2. Диаграмма рангов

21. Принятие решений по стратегии последующего эксперимента. Диаграмма рангов может иметь следующий вид:

- Распределение (различие в рангах) факторов и их убывание равномерное. В этом случае уровень априорной информации весьма низок, и поэтому все факторы должны включаться в эксперимент.

- Распределение равномерное, а убывание неравномерное. В этом случае, если возможно, лучше включить в физический эксперимент все факторы, но возможен и априорный отсев их.

- Распределение неравномерное, а убывание равномерное. Возможен априорный отсев факторов с низким рангом.

- Распределение и убывание неравномерное (например, экспоненциальное). Это наиболее благоприятная ситуация, так как нужно отсеять ряд факторов, отнесенных к шумовому полю.

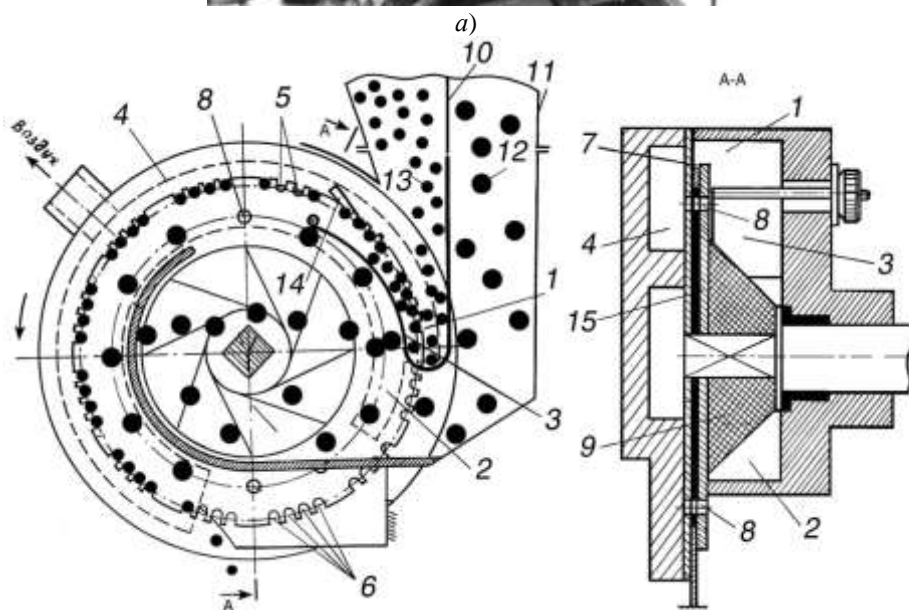
### 3. ПРИМЕР АПРИОРНОГО РАНЖИРОВАНИЯ

#### 1. Постановка цели и задач исследований:

*Цель исследований:* обоснование функциональной схемы, параметров и режимов работы пневматического аппарата для одновременного высева семян кукурузы и сорго в один рядок с заданными нормой и распределением по площади посева.

*Объект исследований:* технологический процесс одновременного высева семян двух культур аппаратом пневматического действия.

*Предмет исследования* – параметры и режимы работы высевающего аппарата для одновременного высева семян двух культур, закономерности и характеристики их влияния на объект исследования.



б)

Рис. 3. Экспериментальный высевающий аппарат для совместного высева семян кукурузы и сорго в один рядок: а – фото экспериментального аппарата; б – схема экспериментального высевающего аппарата: 1 - семенная камера для семян сорго; 2 - семенная камера для семян кукурузы; 3 - перегородка; 4 - вакуумная камера; 5 - просасывающие отверстия; 6 - вырезы; 7 - присасывающая щель; 8 - отверстия; 9- ворошилка; 10 – перегородка; 11- семенной ящик; 12 – семена кукурузы; 13 – семена сорго; 14 – отгиб сбрасывателя лишних семян; 15 – накладка диска



Поскольку в экспериментальном высевальном аппарате (рис. 3) происходят два самостоятельных процесса высева семян двух культур, в которых некоторые факторы являются общими для обоих процессов, то при ранжировании факторов они были разделены на три группы:

- факторы, влияющие только на процесс высева семян кукурузы;
- факторы, влияющие только на процесс высева семян сорго;
- факторы, общие для обоих процессов.

2. Выбор параметров выхода (оптимизации) или отклика.

Параметром выхода (оптимизации) технологического процесса высева семян пропашных культур выбрана средняя подача семян одной ячейкой (высевальным отверстием).

3. Выбраны факторы по каждому процессу: 10 факторов, влияющих только на процесс высева семян кукурузы; 22 фактора, влияющих только на процесс высева семян сорго (см. столбец 2 табл.2).

Таблица 2

Пример заполненной анкеты экспертной оценки.

Факторы, влияющие только на процесс высева семян кукурузы

№ п/п	Наименование фактора	Обозначение	Размерность	Интервал варьирования	Ранги факторов				
					Группа экспертов				
					1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Частота вращения высевающего диска	$X_1$	рад/с	1	2	1	1	1	2
2	Величина разрежения в вакуумной камере аппарата	$X_2$	кПа	1	1	2,5	2	3	1
3	Положение подвижной части перегородки камер	$X_3$	мм	1,5	3	2,5	3	2	3
4	Количество присасывающих отверстий на высевальном диске	$X_4$	шт	7	4	3	5	4	5
5	Диаметр присасывающих отверстий	$X_5$	мм	2,5	8	8	10	9	9
6	Радиусы удаления присасывающих отверстий от центра высевающего диска	$X_6$	мм	1	9	7	8	7	8

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	Толщина диска	$X_7$	мм	0,5	10	9	9	10	10
8	Конструктивный вариант ворошилки семян	$X_8$	-	-	5	5	4	6	4
9	Угол наклона дна семенной камеры	$X_9$	град.	15	7	6	6	8	7
10	Расстояние от перегородки семенных камер до дна семенной камеры	$X_{10}$	мм	15	6	4	7	5	6
					$S_{10} = 55$				

➤ факторы, влияющие только на процесс высева семян кукурузы:

- 1) частота вращения высевающего диска;
- 2) величина разрежения в вакуумной камере аппарата;
- 3) положение подвижной части перегородки камер, выполняющей функции сбрасывателя "лишних" семян;
- 4) количество присасывающих отверстий на высевающем диске;
- 5) диаметр присасывающих отверстий;
- 6) радиусы удаления присасывающих отверстий от центра высевающего диска;
- 7) толщина диска;
- 8) конструктивный вариант ворошилки семян;
- 9) угол наклона дна семенной камеры;
- 10) расстояние от перегородки семенных камер до дна семенной камеры;

➤ факторы, влияющие только на процесс высева семян сорго:

- 1) частота вращения высевающего диска;
- 2) величина разрежения в вакуумной камере аппарата;
- 3) ширина перемычки между отверстиями пульсатора, выполняющего функции сбрасывателя "лишних" семян;
- 4) число отверстий пульсатора;
- 5) диаметр отверстий пульсатора;
- 6) положение сбрасывающего отгиба пульсатора;
- 7) длина окна активного присасывания семян;
- 8) ширина окна присасывания семян;
- 9) радиус удаления отверстий пульсатора и окна присасывания от центра высевающего диска;

- 10) число высеваящих ячеек и просасывающих отверстий в основании диска;
- 11) ширина высеваящей ячейки;
- 12) высота высеваящей ячейки;
- 13) ширина щели высеваящего диска;
- 14) радиусы удаления центров просасывающих отверстий от центра диска;
- 15) радиусы удаления высеваящих ячеек от центра диска;
- 16) положение dna семенной камеры по отношению к дну корпуса аппарата;
- 17) высота загрузочного окна;
- 18) диаметр просасывающих отверстий;
- 19) диаметр щелеобразующей прокладки диска;
- 20) ширина чистика щели;
- 21) толщина основания диска;
- 22) толщина щелеобразующей прокладки;
- 23) толщины накладки диска.

#### 4. Операционные определения факторов:

- факторы, влияющие только на процесс высева семян кукурузы:
  - 1) частота вращения высеваящего диска – это угол поворота высеваящего диска, выраженный в радианах, в единицу времени (в секунду).
  - 2) величина разрежения в вакуумной камере аппарата (рис. 3, б, позиция 4) – значение «глубины» вакуума в камере аппарата, определяемое по измерительным приборам сеялки;
  - 3) положение подвижной части перегородки камер (рис. 3, б, позиция 3), выполняющей функции сбрасывателя "лишних" семян – определяется степенью перекрытия высеваящего отверстия, и в зависимости от размеров высеваемых семян сбрасыватель может менять свое положение относительно среднего (нулевого) на величину  $\pm \frac{1}{3} d_{отв}$ ;
  - 4) количество присасывающих отверстий на высеваящем диске (рис. 3, б, позиция 8);
  - 5) диаметр присасывающих отверстий (рис. 3, б, позиция 8);
  - 6) радиусы удаления присасывающих отверстий от центра высеваящего диска;
  - 7) толщина диска – так как диск имеет сборную конструкцию, то толщина определяется суммой толщины основания диска, прокладки и накладки;
  - 8) конструктивный вариант ворошилки семян – ворошилка может быть центральная (гладкая или с усиками), периферическая либо комбинированная;

9) *угол наклона дна семенной камеры* – меняется путем установки в корпусе аппарата вставки, имитирующей дно семенной камеры, которое изменяет угол наклона дна семенной камеры к горизонтали от  $0^0$  до  $30^0$ ;

10) *расстояние от перегородки семенных камер до дна семенной камеры* - расстояние до перегородки семенных камер от 58 до 28 мм.

Аналогичным образом описывают все 23 фактора, влияющих на процесс высева семян сорго.

5. Установление интервалов варьирования факторов: величины интервалов варьирования каждого фактора приведены в табл. 2 (столбец 5).

6. Ранжирование факторов в порядке убывания их воздействия на параметр выхода: табл. 2 (столбец 6-10).

*Примечание:* когда специалист не может двум или нескольким факторам присвоить последовательные номера рангов, считая их одинаковыми по своему вкладу в параметр выхода, то факторам присваивается один и тот же номер (среднее арифметическое номеров или по формуле (13)). Эти связанные ранги могут быть дробными:

$$\Phi(a_i; a_{i+1} \dots a_z) = i + 0,5(z - 1), \quad (13)$$

где  $\Phi$  – связанный ранг;

$a$  – фактор;

$i$  – порядковый номер ранга первого связываемого фактора;

$z$  – количество связываемых факторов.

*Пример:* а) см. табл. 2, столбец 6, строки 1 и 2.

Второй и третий факторы, по мнению второго эксперта, оказывают одинаковое воздействие на параметр оптимизации, тогда:  $\Phi(2,3) = \frac{2+3}{2} = 2,5$ , и обоим факторам присваивается одинаковый ранг 2,5.

7. Построение матрицы априорного ранжирования (см. табл.1), в которой количество столбцов соответствует количеству факторов (в нашем примере 10 факторов) (табл. 1, столбцы 3-12), а количество строк соответствует числу опрошенных экспертов (табл. 1, строки 2-7).

8. Формальная проверка ранжирования. Сумма рангов в каждом из столбцов (6-10) табл. 1 определяется по формуле (1):

$$S_{10} = \frac{10(10+1)}{2} = 55.$$

Для столбца 6 табл. 2:

$$S_{10} = 2+1+3+4+8+9+10+5+7+6 = 55.$$

9. Определение суммы рангов по факторам по формуле (2) для строки 7 в табл. 1, представляющей сумму столбцов от  $x_1$  до  $x_{10}$ . Для первого столбца:

$$\sum_{j=1}^5 a_{1,j} = 2+1+1+1+2 = 7.$$

10. Определение средней суммы рангов по формуле (3) (отношение суммы 8-й строки табл. 1 к числу факторов).

*Пример:* табл.1, столбец 13, строка 8:  $\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^5 a_{i,j}}{10} = \left( \frac{268}{10} \right) = 26,8.$

11. Определение абсолютной величины разности между каждой суммой рангов по факторам (строка 8, табл. 1) и средней суммой рангов (по формуле (4)). Для табл. 1, столбец 3, строка 8:  $\Delta_1 = |7 - 26,8| = 19,8.$

12. Определение квадрата разностей по формуле 5 (квадраты значений строки 8 табл.1), заносится в строку 9:  $\Delta_1^2 = 19,8^2 = 392,04.$

13. Определение суммы квадратов разностей (сумма цифр строки 9 табл.1) по формуле (6):  $S_w = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2 = 1857,1$  (значение заносим в строку 9 столбец 13).

14. Определение показателей групп связанных рангов по формуле (7). Для первого ранжирования см. столбцы 4 и 5 строки 3 табл. 1:  $\gamma_{(2,5)_I} = 2_{2,5}^3 - 2 = 6$  (для ранга 2,5);

15. Определение суммарного показателя связанных рангов по ранжированию по формуле (8). Для табл. 1 строки 3 столбца 13:  $T_2 = 6.$

16. Определение суммы суммарных показателей связанных рангов по формуле (9). Для табл. 1 строки 7 столбца 13:  $\sum_{j=1}^5 T_j = 6.$

17. Определение коэффициента конкордации по формуле (10).

Расчет для 4-х первых экспертов (табл. 1):  $W = \frac{12 \cdot 1857,1}{25(1000 - 10) - 5 \cdot 6} = 0,901.$

18. Предварительная оценка коэффициента конкордации.

В нашем примере: так как величина коэффициента конкордации  $W = 0,901$  приближается к 1, то между мнениями специалистов имеется существенная связь.

19. Определение значимости коэффициента конкордации.

а) расчетный  $\chi_p^2$  критерий:

$$\chi_p^2 = \frac{10 \cdot 1857,1}{5 \cdot 10 \cdot 11 - \frac{6}{9}} = 33,81;$$

б) стандартный  $\chi^2_T$  критерий для 95 % доверительной вероятности (или для 5% уровня значимости) при числе степеней свободы  $\nu = 10 - 1 = 9$  (приложение):  $\chi^2_T = 16,92$ .

Так как табличное значение  $\chi^2_T$  критерия меньше расчетного, то с 95% вероятностью можно утверждать, что мнение всех специалистов о степени влияния факторов на процесс согласуется с коэффициентом конкордации, равным 0,901.

## 20. Построение априорных диаграмм рангов.

Получение значимого коэффициента конкордации (т.е. подтверждение согласованности мнений специалистов) дает возможность построить среднюю априорную диаграмму рангов в координатах: ордината – обратная сумма рангов; абсцисса – ранжируемые объекты (факторы). Чем меньше сумма рангов данного фактора, тем выше его место на диаграмме (рис. 4).

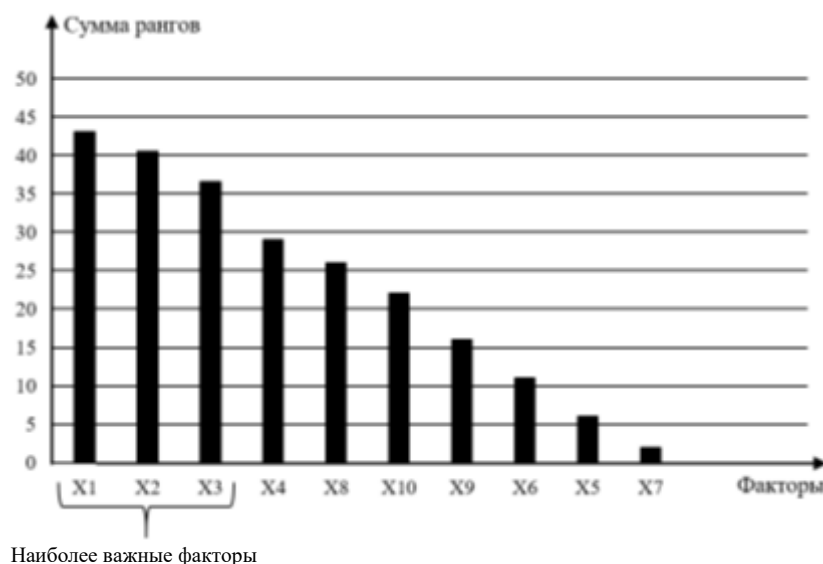


Рис. 4. Диаграмма рангов для группы экспертов

Необходимо изменить суммы рангов для факторов следующим образом:

1) определить максимальную сумму, которую может иметь фактор, при условии, что все эксперты (5 человек) поставят единогласно самый минимальный балл (значение минимального балла - 10). Для данного примера:  $10 \cdot 5 = 50$ ;

2) из найденной максимальной суммы высчитываются полученные суммы по каждому фактору (табл. 1, строка 6) и заносятся на координатные оси диаграммы рангов для группы экспертов (см. рис. 4). Для фактора 5 получаем:  $50 - 44 = 6$ .

21. Статистически объективно из множества априорной информации выделены три ведущих фактора ( $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ), оказывающих наибольшее влияние на параметр выхода. Дальнейшие экспериментальные исследования могут планироваться только для этих переменных.

#### 4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

##### 1. Постановка цели и задач исследований:

*Цель эксперимента* – повышение качества посева пропашных культур пневматическими сеялками путем установки семяпровода с автоматизированной системой контроля и управления качеством высева пропашных культур.

*Объект исследования* – экспериментальный пневматический высевающий аппарат с семяпроводом и автоматизированной системой контроля и управления качеством высева пропашных культур (рис. 5, позиции 3, 6, 9).



Рис. 5. Лабораторная установка для исследований пневматических высевающих аппаратов: 1 – рама, 2 – электродвигатель постоянного тока, 3 – приводная цепь, 4 – частотный преобразователь, 5 – экспериментальный высевающий аппарат, 6 – семяпровод, 7 – вакуумная установка с регулятором разрежения, 8 – компрессор, 9 – датчики измерения скорости семян на выходе из семяпровода, 10 – персональный компьютер

В качестве объекта исследования используется экспериментальный высевной аппарат с автоматизированной системой контроля и управления качеством высева семян пропашных культур (рис. 6), конструкция которого запатентована (Патент № 175130 RU МПК 7A01 C7/04).

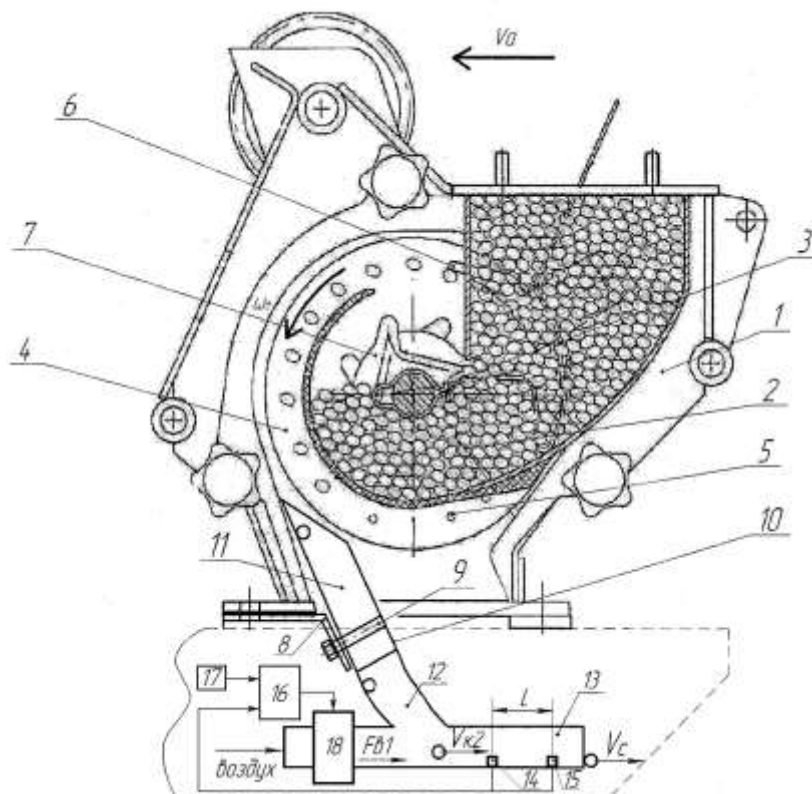


Рис. 6. Экспериментальный высевной аппарат с автоматизированной системой контроля и управления высевом пропашных культур

Пневматический высевной аппарат (рис. 6) содержит корпус 1 с семенной камерой 2 и камерой разрежения (на чертеже не показана), между которыми на горизонтальном валу 3 установлен высевной диск 4 с присасывающими отверстиями 5 и пластинчатый отражатель для удаления «лишних» семян 6, примыкающий к торцевой плоскости высевного диска, на горизонтальном валу 3 которого установлена центральная резиновая ворошилка 7. В нижней части корпуса 1 высевного аппарата через кронштейн 8 хомутом 9 крепится семяпровод 10, представляющий собой трубку круглого сечения и имеющий три участка: прямолинейный 11, криволинейный 12 и ускорительный 13. На ускорительном участке семяпровода 13 расположены первый 14 и второй датчики 15, при этом выходы первого и второго датчиков соединены с соответствующими входами блока мониторинга и контроля 16, на который поступает сигнал с датчика скорости посевного агрегата 17. Также в начале ускорительного участка семяпровода установ-



лен блок управления воздушным потоком 18 (дроссельная заслонка, содержащая корпус, в котором размещен поворотный диск, соединенный с сервоприводом).

Работа пневматического высевающего аппарата осуществляется следующим образом: семена из бункера (на рисунке не показан) поступают в семенную камеру 2 корпуса 1 высевающего аппарата, из которой под действием разрежения, создаваемого в вакуумной камере (на рисунке не показана), присасываются к присасывающим отверстиям 5 высевающего диска 4. Вращаясь вместе с высевающим диском 4, семена из семенной камеры 2 переносятся к пластинчатому отражателю 6, под действием которого «лишние» присосавшиеся семена возвращаются обратно в семенную камеру 2.

Далее семена транспортируются высевающим диском 4 в зону сбрасывания. Сходящее с высевающего диска семя укладывается на внутреннюю поверхность семяпровода 10 на прямолинейном участке 11 и скользит по нему как по наклонной плоскости до криволинейного участка 12. На криволинейном участке 12 семя движется по криволинейной поверхности постоянного радиуса до тех пор, пока вектор скорости не приобретает горизонтальное направление. При выходе из криволинейного участка 12 семяпровода 10 со скоростью  $V_{k2}$ , семя продолжает движение по ускорительному участку 13, наращивая свою скорость за счет силы воздушного потока. Сила воздушного потока  $F_{в1}$  на ускорительном участке 13 семяпровода определяется скоростью воздушного потока, изменение которого происходит за счёт блока управления воздушным потоком 18. На ускорительном участке 13 горизонтально движущееся семя с помощью воздушного потока разгоняется до скорости, равной по величине скорости посевного агрегата  $V_a$ . Регулировка воздушного потока осуществляется за счёт изменения угла открытия дроссельной заслонки, расположенной в начале ускорительного участка. При равенстве скорости семени и скорости посевного агрегата обеспечивается нулевая скорость семени относительно почвы, что приводит к повышению равномерности распределения семян по длине и ширине ряда при посеве различных пропашных культур. Значение скорости семени на ускорительном участке  $V_c$  определяется первым 14 и вторым датчиками 15, скорость посевного агрегата  $V_a$  определяется датчиком 17. Данные значения поступают в блок мониторинга и контроля 16, в котором осуществляется сравнение скоростей и выработка управляющего воздействия для сервопривода дроссельной заслонки (блок управления воздушным потоком) 18.

*Цель работы* – провести априорное ранжирование факторов, действующих на экспериментальную сеялку с автоматизированной системой контроля и управления качеством высева пропашных культур, т.е. проранжировать  $n$  потенциально возможных факторов, присвоив им ранги

1,2,3....n. на стадии предварительного изучения объекта и предмета исследований.

2. Выбор параметров выхода (оптимизации) или отклика.

Параметром выхода (оптимизации) технологического процесса высева семян пропашных культур выбрана скорость семян на выходе из семяпровода.

3. Выбор факторов, влияющих на параметр оптимизации.

Из литературных источников и теоретических исследований экспериментального высевающего аппарата следует, что на скорость семян на выходе из семяпровода влияют следующие факторы (рис. 6):

$x_1$  - скорость воздушного потока  $U_g$ , подаваемого в нагнетательный участок 2 и ускоритель 3 семяпровода, варьируется в интервале от 20 до 8 м/с с интервалом 6 м/с;

$x_2$  - длина ускорителя семяпровода  $l_3$ , варьируется в интервале от 0,16 до 0,08 м с интервалом 0,04 м;

$x_3$  - угловая скорость высевающего диска  $\omega$ , рад/с, варьируется в интервале от 2 до 4 рад/с с интервалом 1 рад/с;

$x_4$  - радиус размещения присасывающих отверстий  $R$ , м;

$x_5$  - коэффициент трения семени о семяпровод  $f$ ;

$x_6$  - коэффициент парусности семян  $K_{II}$ ;

$x_7$  - масса семени посевного материала  $m$ , кг;

$x_8$  - длина I участка семяпровода  $l_I$ , м;

$x_9$  - угол схода семян с высевающего диска  $\beta$ , град.;

$x_{10}$  - радиус кривизны II участка семяпровода  $\rho$ , м.

Все выше перечисленные факторы внести в столбцы 2-4 табл. 3.

4. Операционные определения факторов. Описать определения всех 10 факторов для общего понимания экспертами каждого из них.

5. Интервалы варьирования каждого фактора внести в табл. 3 (столбец 5).

6. Ранжировать факторы в порядке убывания их воздействия на параметр выхода и внести в табл. 3 (столбец 6-10). При наличии связанных рангов определяем их по формуле (13).

7. Построить матрицу априорного ранжирования по табл. 4, в которой количество столбцов соответствует количеству факторов, а количество строк соответствует числу опрошенных экспертов.

Таблица 3

## Анкета экспертной оценки

№ п/п	Наименование фактора	Обозна- чение	Размер- ность	Интер- вал ва- рьи-ро- вания	Ранги факторов				
					Группа экспертов (m=5)				
					1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Скорость воз- душного потока $v_6$	$X_1$	м/с	6					
2	Длина ускорите- ля семяпровода $l_3$	$X_2$	м	0,04					
3	Угловая ско- рость высеваю- щего диска $\omega$	$X_3$	рад/с	1					
4	Радиус размеще- ния присасыва- ющих отверстий $R$	$X_4$	м	0,02					
5	Коэффициент трения семени о семяпровод $f$	$X_5$	-	-					
6	Коэффициент парусности се- мян $K_{II}$	$X_6$	-	-					
7	Масса семени посевного мате- риала $m$	$X_7$	кг	-					
8	Длина I участка семяпровода $l_I$	$X_8$	мм	5					
9	Угол схода се- мян с высеваю- щего диска $\beta$	$X_9$	град.	15					
10	Радиус кривизны II участка семя- провода $\rho$	$X_{10}$	м	0,015					
					$S_n =$	$S_n =$	$S_n =$	$S_n =$	$S_n =$

Таблица 4

## Матрица априорного ранжирования

№ п/п	Источни- ки ин- форма- ции (экс- перты) (m=5)	Факторы (n=10)										$T_j = \sum_{i=1}^p \gamma_{(k)_{ji}}$
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	1											
3	2											
4	3											
5	4											
6	5											
7	$\sum_{j=1}^5 a_{i,j}$											$\sum_{j=1}^5 T_j = 6$
8	$\Delta_i$											$\bar{T} =$
9	$\Delta_i^2$											$S_w =$
10	Ранги											

8. Провести формальную проверку ранжирования и определить сумму рангов в каждом из столбцов табл. 3 по формуле (1).

9. Определить суммы рангов по факторам по формуле (2), представляя как сумму столбцов от  $x_1$  до  $x_{11}$  и внести в строку 7 (табл. 4).

10. Определить среднюю сумму рангов  $\bar{T}$  по формуле (3) (отношение суммы 7-й строки табл. 4 к числу факторов).

11. Определить абсолютные величины разности между каждой суммой рангов по факторам (строка 7, табл. 4) и средней суммой рангов  $\Delta_i$  по формуле (4).

12. Определить квадраты разностей  $\Delta_i^2$  по формуле (5) (квадраты цифр строки 7 табл.4).

13. Определить суммы квадратов разностей  $S_w$  (сумма цифр строки 8 табл.4) по формуле (6).

14. Определить показатели групп связанных рангов  $\gamma_{(k)j}$  по формуле (7) (при их наличии).

15. Определить суммарный показатель связанных рангов по ранжированию  $T_j$  по формуле (8).

16. Определить суммы суммарных показателей связанных рангов  $\sum_{j=1}^m T_j$  по формуле (9).

17. Определить коэффициент конкордации  $W$  по формуле (10).

18. Предварительно оценить коэффициент конкордации по его число-

вому значению.

19. Определить значимости коэффициента конкордации:

а) определить расчетный  $\chi_r^2$  критерий по формуле (12);

б) определить стандартный  $\chi_t^2$  критерий для 95 % доверительной вероятности (или для 5% уровня значимости) при числе степеней свободы  $\nu$  (приложение).

Сравнить расчетное и табличное значения  $\chi^2$  и сделать вывод о согласованности мнения всех специалистов и о степени влияния факторов на рассматриваемый процесс.

20. Построить априорную диаграмму рангов (см. рис. 4).

21. Статистически объективно из множества априорной информации выделить три ведущих фактора, оказывающих наибольшее влияние на параметр выхода, с целью дальнейшего исследования процесса с планированием трехфакторного эксперимента по плану Бонка-Бенкина.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тарасов Р.В. К вопросу применения экспертных методов в прогнозировании процессов, оценке уровня качества и принятии управленческих решений / Р.В. Тарасов, Л.В. Макарова, О.Ф. Акжигитова // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 4. Ч. 1 [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2014/04/33142> (дата обращения: 09.06.2018).

2. Димитрова В.П. Введение в теорию принятия решений / В.П. Димитров, Л.В. Борисова. - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2013.

3. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.

4. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199 с.

5. Зубрилина, Е.М. Обоснование параметров пневматического аппарата для одновременного посева семян кукурузы: дис. ... канд. техн. наук. – Черноград, 2002.

6. Чикильдин, В.Н. Совершенствование процесса посева семян пропашных культур пневматической сеялкой (на примере кукурузы): дис. ... канд. тех. наук. – Ставрополь, 2011. – 154 с.

7. Пат. № 175130 RU МПК 7А01 С7/04 . Пневматический высевной аппарат / Е.М. Зубрилина, И.А. Маркво, М.А. Набокина, А.В. Каргина, М.Г. Бородаева, Патентообладатель И.А. Маркво, № 2016141247/13 ; заявл. 19.10.2016; опубл. 22.11.2017. Бюл. №33.

8. Макарова, Л.В. Экспертные методы в управлении качеством: учеб. пособие / Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 92 с.

# ПРИЛОЖЕНИЕ

Критические значения  $\chi^2_{\text{Т}}$ -критерия Пирсона  
при уровне значимости 0,05

Число степеней свободы $\nu$	$\chi^2_{\text{Т}}$	Число степеней свободы $\nu$	$\chi^2_{\text{Т}}$
1	3,84	12	26,3
2	5,99	13	27,6
3	7,82	14	28,9
4	9,49	15	30,1
5	11,07	16	31,4
6	12,59	17	32,7
7	14,07	18	33,9
8	15,51	19	35,2
9	16,92	20	36,4
10	18,31	21	37,7
11	19,68	22	38,9

Составители: Зубрилина Е.М., Димитров В.П.

АПРИОРНОЕ РАНЖИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ  
МЕТОДОМ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК  
ПРАКТИКУМ

---

Подписано в печать 30.08.2021

Объем 1,4 усл. п.л., Офсет. Формат 60×84/16.

Бумага тип №3. Заказ № 5/09 Тираж 100 экз. Цена свободная

---

ООО «ДГТУ-ПРИНТ»

Адрес полиграфического предприятия:  
344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1