

Раздел 3. ЭКОНОМИКА. УПРАВЛЕНИЕ

УДК 658:664

Сравнительная оценка технологий в отраслях АПК

Академик МАИ Я.Г.ГАРАЕВ
НИИ информационных технологий в АПК, Москва

A general problem of ranging of different technologies in the industries of APK by reducing it to a multicriterion task of selection is considered. Methods of solving of this problem with the use of expert assessments are supposed, and a possibility of use of information for many years is shown.

При выборе технологий в отраслях АПК большое значение имеет их сравнительная оценка. Сложность сравнительной оценки различных технологий заключается в том, что каждая технология характеризуется не одним показателем (атрибутом), а несколькими, часто разнородными по своей природе.

Для того чтобы выявить среди многих технологий лучшую, требуется сравнивать их по многим показателям, а чтобы ранжировать разные технологии, надо пользоваться одним и тем же набором показателей.

При любом конечном наборе показателей, как правило, можно найти хотя бы еще один показатель, по которому однозначно принимается решение о преимуществе одной технологии над другой. Однако разработка полного списка показателей для сравнительной оценки различных технологий в отраслях АПК не является целью наших исследований и мы будем считать, что набор основных показателей скорректирован нужным образом.

Отметим, что набор показателей должен быть таким, чтобы при всех фиксированных равных показателях, кроме одного, технологии можно было сравнить по этому показателю. Так, если отношением предпочтения является отношение «не меньше» и этот показатель одной технологии больше соответствующих показателей других технологий, то по нему первая технология должна быть признана лучше остальных.

1. Сведение к задаче многокритериальной оптимизации

Итак, чтобы ранжировать несколько технологий в отраслях АПК, надо их сравнивать по ряду разнородных, часто противоречивых показателей. С точки зрения теории исследования операций [1, 3, 4] такая задача называется многокритериальной. Проблема многокритериального ранжирования объектов в общем виде рассмотрена в работе [2]. Нами сделана попытка использовать эти общие положения, а также предложены новые подходы для многокритериального ранжирования различных технологий в отраслях АПК.

Все сравниваемые показатели образуют некоторый вектор, который будем называть информационным.

Введем некоторые обозначения. Пусть

i — номер технологии;

I — множество всех сравниваемых технологий ($i \in I$);

$|I|$ — количество сравниваемых технологий;

m — номер показателя (атрибута), по которому сравниваются различные технологии;

M — множество номеров всех сравниваемых показателей ($m \in M$);

$|M|$ — количество всех показателей;

$\tilde{x}_i = (\tilde{x}_{i1}, \dots, \tilde{x}_{im}, \dots, \tilde{x}_{i|M|})$ — информационный вектор i -й технологии;

\tilde{x}_{im} — m -я компонента информационного вектора i -й технологии.

Таким образом, любая i -я технология характеризуется величиной $|M|$ качественных атрибутов (критериев) и вся эта информация содержится в векторе \tilde{x}_i .

Приведенные выше обозначения представлены в таблице.

В дальнейшем предполагается, что данные в таблице пронормированы.

Для сравнения информационных векторов различных технологий удобно ввести нормирование следующего вида. Пусть

$$\tilde{X}_m = \max_{i \in I} \tilde{x}_{im} - \quad (1)$$

Показатели для сравнения различных технологий в отраслях АПК

Номер сравниваемого показателя m ($m \in M$)	Информационные векторы сравниваемых технологий i ($i \in I$)								
	1	.	.	.	i	.	.	.	$ I $
1	\tilde{x}_{11}	.	.	.	\tilde{x}_{i1}	.	.	.	$\tilde{x}_{ I 1}$
.
.
.
m	\tilde{x}_{1m}	.	.	.	\tilde{x}_{im}	.	.	.	$\tilde{x}_{ I m}$
.
.
.
$ M $	$\tilde{x}_{1 M }$.	.	.	$\tilde{x}_{i M }$.	.	.	$\tilde{x}_{ I M }$

максимальное для всех технологий значение m -го атрибута. С помощью этой величины пронормируем значения m -го атрибута для всех векторов и в дальнейшем будем рассматривать нормированные значения атрибутов

$$x_{im} = \frac{\tilde{x}_{im}}{\tilde{X}_m}, \quad i \in I, \quad m \in M \quad (2)$$

и соответствующие покомпонентно нормированные векторы

$$x_i = (x_{i1}, \dots, x_{i|M|}), \quad i \in I.$$

Компоненты x_{im} удовлетворяют неравенствам

$$0 \leq x_{im} \leq 1, \quad i \in I, \quad m \in M. \quad (3)$$

Таким образом, задача ранжирования технологий сводится к сравнению векторов

$$x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_{|I|}.$$

Все значения компонент векторов (критериев) можно упорядочить по предпочтению без рассмотрения значений остальных компонентов. Такие критерии в теории многокритериальной оптимизации называются независимыми по предпочтению от остальных [1, 3].

Предполагаем, что отношением предпочтения является бинарное отношение \geq («не меньше»), т.е. принимаем, что чем больше значение m -го критерия, тем лучше. Таким образом, рассматриваемая задача ранжирования технологий сводится к многокритериальной задаче максимизации на конечном числе элементов (оно равно $|I|$ – числу элементов множества I). Отсюда следует, что для решения задачи ранжирования можно воспользоваться методами многокритериальной оптимизации.

2. Определение доминирующих технологий

В общем случае возможно существование абсолютно лучшей технологии, т.е. лучшей по всем показателям. В наших векторных обозначениях это означает, что существует такой вектор x_{i_1} , что между ним и другими векторами можно установить отношение предпочтения

$$x_{i_1} \geq x_i, \quad i \in I. \quad (4)$$

В координатной записи это означает, что

$$x_{i_1m} \geq x_{im}, \quad i \in I, \quad m \in M,$$

или

$$x_{i_1m} = \max_{i \in I} x_{im}, \quad m \in M,$$

а поскольку у нас векторы нормированы в соответствии с (2), то у доминирующего вектора x_{i_1} все компоненты равны единице:

$$x_{i_1} = (1, 1, \dots, 1).$$

Вообще, доминирующих векторов может быть несколько, однако это маловероятно. Будем считать, что такой вектор один, хотя не представляет особого труда

рассмотреть случай нескольких доминирующих векторов.

Если исключить вектор x_{i_1} , то среди оставшихся также может существовать доминирующий над остальными (мы будем называть его доминирующим вектором второго порядка).

Определим теперь доминирующий вектор второго порядка (если, конечно, он существует) как вектор с установленным отношением предпочтения

$$x_{i_2} \geq x_i, \quad i \in I \setminus \{i_1\}, \quad (5)$$

т.е. вектор, доминирующий над остальными, за исключением вектора x_{i_1} .

Определим также последовательность доминирующих векторов и одновременно выделим множество недоминирующих векторов

$$\hat{I} = I \setminus \{i_1\} \setminus \{i_2\} \setminus \dots$$

Как было сказано выше, может оказаться, что $\hat{I} = I$ или $\hat{I} = \emptyset$,

где \emptyset – пустое множество.

3. Использование экспертиз в ранжировании технологий

Итак, стоит задача – ранжировать все оставшиеся векторы из множества \hat{I} . Этую задачу целесообразно решать, используя экспертные оценки [4].

После тщательного неформального анализа, основанного на сравнении всех атрибутов, каждый эксперт может установить свой порядок предпочтения непосредственно между векторами. Однако в том случае, когда количество векторов, и атрибутов велико, проанализировать такой объем информации (а он пропорционален произведению $|M| |I|$) весьма затруднительно. Поэтому нужны процедуры не такие трудоемкие, основанные на существенно более простых экспертных оценках.

Ниже изложены два метода, основанные на экспертных оценках значимости атрибутов, и отличаются только формой задания такого предпочтения.

4. Ранжирование с использованием экспертного упорядочения атрибутов по значимости

Первый метод ранжирования основан на использовании упорядочения по значимости атрибутов, проведенного с помощью экспертов. Возможный способ проведения такой экспертизы будет описан ниже. Предположим, что такая экспертиза проведена и порядок значимости атрибутов определен. Без ограничения общности будем считать, что порядок значимости совпадает с исходной последовательностью номеров атрибутов $m \in M$. Этого всегда можно добиться соответствующей перенумерацией атрибутов.

Далее процедура ранжирования векторов сводится к последовательности следующих шагов.

Шаг 0. Положим $S := \hat{I}, L := \emptyset$.

Шаг 1. Положим $m := 1, K := S$.

Шаг 2. Определяем векторы, составляющие множество J с максимальной m -й компонентой:

$$J = \{j \mid x_{jm} = \max_{j \in K} x_{jm}\}.$$

Шаг 3. Если $|J| = 1$ или $m = |M|$, то переходим к шагу 5.

Шаг 4. В противном случае, положим $m := m + 1, K := J$ и переходим к шагу 2, т.е. теперь будем рассматривать следующий по важности показатель.

Шаг 5. Положим $S := S \setminus J, L := L \cup J$.

Шаг 6. Если $S = \Theta$, то переходим к шагу 7, в противном случае, переходим к шагу 1.

Шаг 7. Это конец процедуры ранжирования (весь список векторов исчерпан).

Ранжирование векторов определяется списком L .

5. Метод последовательных уступок

Пусть также сравнимые показатели (атрибуты) каким-либо образом упорядочены по значимости и, как и ранее, порядок значимости совпадает с исходной последовательностью номеров атрибутов. Рассмотрим еще один неформальный метод ранжирования, основанный на методе последовательных уступок [1]. Этот метод похож на изложенный выше, но гораздо, как нам кажется, более совершенный и сводится к следующей последовательности действий.

Введем пороговые значения для всех атрибутов (эти значения также определяются экспертами)

$$\tilde{x}_m, m \in M.$$

Величина \tilde{x}_m – это наименьшее допустимое значение m -го показателя.

Найдем

$$\max_{i \in \hat{I}} x_{i1} = x_{i_1 1},$$

$$\tilde{x}_{im} \geq \tilde{x}_m, m \in M \setminus \{1\}, i \in \hat{I},$$

т.е. выберем лучшую технологию в соответствии с установленным порядком показателей. Заметим, что в отличие от предыдущего метода не может быть лучшей технологии, имеющая провальные показатели хотя бы по одному признаку.

С помощью экспертов назначим «уступку» $\Delta x_{i_1 1}$ и решим задачу:

$$\max_{i \in \hat{I} \setminus \{i_1\}} x_{i2} = x_{i_2 2},$$

$$x_{i1} \geq x_{i_1 1} - \Delta x_{i_1 1}, i \in \hat{I} \setminus \{i_1\};$$

$$\tilde{x}_{im} \geq \tilde{x}_m, m \in M \setminus \{1\} \setminus \{2\}, i \in \hat{I} \setminus \{i_1\}.$$

Смысл этой задачи заключается в том, что мы находим наилучшую по второму по значимости показателю технологию из множества сравниваемых технологий, которые по предыдущему показателю мало отличаются от лучшей технологии i_1 . Мерой близости является величина $\Delta x_{i_1 1}$.

Результатом решения этой задачи будет вторая в ранжированном ряду технология i_2 .

С помощью экспертов назначаем «уступку» по второму показателю $\Delta x_{i_2 2}$ и решаем задачу:

$$\max_{i \in \hat{I} \setminus \{i_1\} \setminus \{i_2\}} x_{i3} = x_{i_3 3},$$

$$x_{i1} \geq x_{i_1 1} - \Delta x_{i_1 1}, i \in \hat{I} \setminus \{i_1\} \setminus \{i_2\};$$

$$x_{i2} \geq x_{i_2 2} - \Delta x_{i_2 2}, i \in \hat{I} \setminus \{i_1\} \setminus \{i_2\};$$

$$\tilde{x}_{im} \geq \tilde{x}_m, m \in M \setminus \{1\} \setminus \{2\} \setminus \{3\}, i \in \hat{I} \setminus \{i_1\} \setminus \{i_2\}. \quad (6)$$

В результате найдем третью по значимости технологию и т.д.

Нетрудно видеть, что суть метода заключается в том, что по мере уточнения решения «грубые» ограничения типа (б) заменяются более «точными», обоснованными ограничениями типа (а).

6. Ранжирование, использующее весовые критериальные коэффициенты

Другой метод ранжирования основан на использовании весовых коэффициентов, отражающих относительную значимость соответствующих критериев. Эти коэффициенты также должны задаваться с привлечением экспертов. Способ проведения соответствующих экспертиз будет описан ниже, а сейчас предположим, что такие весовые коэффициенты λ_m получены и они нормированы следующим образом:

$$\sum_{m \in M} \lambda_m = 1, \lambda_m \geq 0, m \in M. \quad (6)$$

С помощью весовых коэффициентов сформируем один показатель значимости (свернутый критерий) для каждого объекта (технологии) из множества \hat{I} и уже по этому единственному агрегированному показателю проведем соответствующее ранжирование.

Рассмотрим два способа вычисления агрегированных показателей значимости – два способа свертки критериев.

1. Для каждого объекта вычислим величину

$$F_i = \sum_{m \in M} \lambda_m x_{im}, \quad i \in \hat{I}. \quad (7)$$

Упорядочение этих величин F_i и задаст требуемый порядок среди объектов из множества \hat{I} .

2. Другой способ заключается в вычислении величин

$$G_i = \max_{m \in M} \lambda_m x_{im}, \quad i \in \hat{I}. \quad (8)$$

В этом случае порядок среди объектов устанавливается упорядочением набора $\{G_i\}$.

Эти два способа вычисления агрегированных показателей связаны с определением различных норм инфор-

мационных векторов и сравнением их по этим нормам.

В том случае, когда в наборах $\{F_i\}$ или $\{G_i\}$ встречаются два или более одинаковых элемента, отношение предпочтения между соответствующими объектами должно быть установлено с помощью привлечения дополнительной информации, например так, как это изложено в четвертом разделе в методе, использующем назначение соотношения предпочтения между различными технологиями.

7. Проведение экспертиз и обработка экспертных оценок

7.1. Упорядочение атрибутов по важности

Пусть

r – номер эксперта;

R – множество номеров всех экспертов;

$|R|$ – количество экспертов.

Для законченности данной работы приведем методики проведения и обработки экспертизы, описанные в [2].

Имеется $|M|$ атрибутов и $|R|$ экспертов, которые должны упорядочить эти атрибуты по важности. Это упорядочение проводится за ряд голосований. При первом голосовании экспертам задается один вопрос: «Кто считает, что первый атрибут самый важный?» Количество голосов

$$0 \leq n_1^1 \leq |R|,$$

поданных за первый атрибут, запоминается.

На втором этапе голосуют за второй атрибут как претендента на лидерство. Количество голосов

$$0 \leq n_2^1 \leq |R|$$

запоминается.

На последнем этапе $|M|$ подсчитывается количество голосов $n_{|M|}^1$, поданных за лидерство $|M|$ -го атрибута.

Этой информации достаточно, чтобы провести упорядочение всех атрибутов. Определим самый важный атрибут. Таковым будем считать тот атрибут, за который подано наибольшее количество голосов, т.е. атрибут с номером

$$m^1 = \arg \max_{m \in M} n_m^1.$$

Далее аналогичным образом, используя ранее полученные оценки n_m^1 , $m \in M$, можно определить второй по значимости атрибут

$$m^2 = \arg \max_{m \in M \setminus \{m^1\}} n_m^1$$

и т.д.

Однако мы поступим по-другому. Повторим голосование, задавая вопрос о претенденте на второе место как о претенденте на абсолютное первенство среди оставшихся атрибутов. В результате получим экспертные оценки

$$n_1^2, \dots, n_{m^1-1}^2, n_{m^1+1}^2, \dots, n_{|M|}^2,$$

среди которых найдем максимальную – она и будет соответствовать второму по важности атрибуту:

$$m^2 = \arg \max_{m \in M \setminus \{m^1\}} n_m^2.$$

Проведя $(|M| - 1)$ туров таких голосований, мы упорядочим по важности все атрибуты. Для реализации данной процедуры придется задать $|M|(|M| + 1)/2 - 1$ вопросов. Вообще, это большая величина, но данная процедура кажется предпочтительной по той причине, что каждый раз экспертам задается прямой вопрос о кандидате на первое место из определенного множества претендентов, на который проще ответить.

7.2. Определение весовых коэффициентов важности атрибутов

С помощью экспертов надо определить весовые коэффициенты, фигурирующие в описанном ранее методе ранжирования объектов. Для этого предлагается следующая процедура.

Назначим натуральное число P , и каждый эксперт r ($r \in R$) по P -балльной системе оценивает сразу все атрибуты. Пусть r -й эксперт назначил оценки

$$(p_1^r, p_2^r, \dots, p_{|M|}^r), \quad 0 \leq p_m^r \leq P, \quad r \in R, \quad m \in M.$$

В результате голосования m -й атрибут получил оценки

$$(p_m^1, \dots, p_m^r, \dots, p_m^{|R|}), \quad m \in M.$$

Отбросим максимальную и минимальную оценки, как не вполне объективные и по оставшейся информации вычислим весовые коэффициенты

$$\lambda_m = \sum'_{r \in R} p_m^r / \sum'_{r \in R} \sum_{m \in M} p_m^r, \quad m \in M, \quad (9)$$

где ' (штрих) обозначает, что в суммировании не участвуют отброшенные оценки.

Эта процедура может быть использована и для предыдущего упорядочения атрибутов, поскольку порядок важности атрибутов можно задать в соответствии со значениями весовых коэффициентов. Однако, как уже говорилось, предыдущий подход, хотя и более громоздкий, кажется более целесообразным, поскольку там проводится прямое голосование, поскольку ставится непосредственно вопрос о более важном атрибуте из данных. Таким образом, мы полностью описали предлагаемую методику обработки экспертных оценок.

8. Учет информации за T лет

Выше были описаны методы многокритериального ранжирования различных технологий в отраслях АПК в предположении, что информация о сравниваемых технологиях представлена за один год. Предположим, что имеется статистическая информация, анализируемая в динамике за T лет, позволяющая судить о результатах многолетнего внедрения различных технологий в

отраслях АПК. Кроме того, имеется возможность усреднить информацию, устранив таким образом влияние случайных факторов.

Предложим несколько способов использования информации за T лет ($T > 1$) в задаче ранжирования различных технологий в отраслях АПК.

8.1. Первый способ – просто увеличить количество показателей в T раз. Это наиболее информативный подход, поскольку никакая информация не теряется, используется в полном объеме. При этом можно учитывать тенденции роста показателей в результате внедрения сравниваемых технологий. Однако за это приходится платить таким же увеличением просмотра необходимой информации, и если учесть, что и при $T = 1$ задача ранжирования весьма сложна, то при данном подходе она становится еще сложнее.

8.2. Второй способ связан с преобразованием показателей за T лет к некоторой другой системе показателей, желательно меньшего количества. Приведем несколько примеров таких преобразований.

а) Замена показателей за T лет их средними значениями. В этом подходе хорошо то, что размерность задачи такая же, как и при $T = 1$, но все важные вопросы, связанные с динамикой роста, не учитываются.

б) Естественными новыми показателями являются значения атрибутов за последний год и их приращение за T лет, указывающее на тенденцию этого атрибута. В данном случае количество показателей по сравнению с $T = 1$ увеличивается всего в 2 раза.

в) Смешанное преобразование, когда часть показателей преобразуется по способу а), другая же часть – по способу б).

Можно предположить и другие виды преобразования информации за T лет, пригодные в том или ином случае.

Таким образом, рассмотрена общая проблема ранжирования различных технологий в отраслях АПК путем сведения ее к многокритериальной задаче выбора, предложены методы решения этой задачи с привлечением экспертных оценок и показана возможность использования информации за ряд лет.

Список литературы

1. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Наука, 1980.
2. Гараев Я.Г., Киселев В.Г. Многокритериальное ранжирование объектов // Исследование операций (модели, системы, решения). – М.: ВЦ РАН, 2000.
3. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. – М.: Наука, 1971.
4. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: Наука, 1982.