

Автоматизированная система расчёта матрицы «игры с природой» и поиска оптимального режима работы УЗ ДПО

Е.А. Темникова, В.С. Асламова

Статья посвящена актуальным проблемам разработки модели принятия управленческих решений на примере Института дополнительного профессионального образования (ИДПО) Иркутского государственного университета путей сообщения. Прогнозирование числа слушателей ИДПО выполнялось с помощью регрессионных моделей и адаптивной модели Брауна, при статистической обработке соответствующего показателя временного ряда за двенадцать предыдущих лет. Полученные модели проверены на адекватность. Исходя из результатов проверки было решено для двухнедельных и недельных курсов в июне месяце реализовать прогноз по адаптивной модели Брауна.

Разработана методика расчёта матрицы чистой прибыли для выбора оптимального режима работы ИДПО в летнее время.

Создано программное приложение для автоматизированного расчёта матрицы чистой прибыли и поддержки принятия оптимального управленческого решения в условиях неопределённости на основе критериев: Лапласа, Вальда, Сэвиджа, Гурвица.

Ключевые слова: статистический метод, адаптивная модель Брауна, регрессионная модель, временные ряды, альтернативы, критерии выбора альтернатив, функция прибыли, матрица чистой прибыли.

1. Введение

Жёсткая конкуренция даже на внутреннем рынке образовательных услуг заставляет учебные заведения дополнительного профессионального образования (УЗ ДПО) совершенствовать эффективность своей работы путём поиска оптимальных управленческих решений (УР).

На принятие УР может оказывать влияние совокупность стратегических, тактических и оперативных целей [1]. Задача управления состоит в ликвидации противоречия, которое возникает между фактическим и желаемым состояниями объекта управления, поэтому задачей лица, принимающего решения (ЛПР), является выбор оптимальной альтернативы в соответствии с возможностями достижения поставленной цели, а также влияющими на данный процесс внешними и внутренними факторами. Если ЛПР сможет каждому из показателей системы поставить в соответствие затрачиваемый ресурс (время, деньги, кадры), то будет возможным решение задачи поиска оптимальной альтернативы. Для этого необходимо: иметь возможность прогнозирования числа слушателей курсов УЗ ДПО; разработать и внедрить автоматизированную систему поддержки принятия решений (АСППР), способную генерировать и оценивать возможные альтернативы УР в условиях неопределённости [2].

В большинстве методов прогнозирования, используемых в настоящее время на практике, заложены следующие основные положения:

- наблюдавшиеся в прошлом факторы, тенденции и зависимости сохраняются;
- развитие закономерности может быть представлено в виде плавной траектории, то есть она должна обладать некоторой инертностью;
- закономерность должна иметь вероятностный характер, а развитие исследуемого объекта определяется суммой влияния закономерности и случайности [3].

Статистические методы исследования исходят из предположений о возможности представления уровней ряда в виде суммы компонент [4], отражающих закономерности и слу-

чайность развития. Формирование уровней ряда определяется закономерностями трёх основных типов:

- тенденцией среднего;
- тенденцией взаимосвязи между последовательными уровнями ряда и
- тенденцией взаимосвязи между исследуемым показателем и факторами, которые оказывают на него воздействие.

Соответственно различают задачи анализа и моделирования тенденций, причинных взаимосвязей между последовательными уровнями ряда, причинных взаимодействий между исследуемым показателем и факторами. Первая из них решается с помощью моделей кривых роста; вторая – с помощью адаптивных методов и моделей; третья – на основе эконометрического моделирования, базирующегося на методах корреляционно-регрессионного анализа.

Так как информация подвержена старению, то влияние более поздних наблюдений на развитие процесса в будущем намного существенней, чем более ранних [5]. Поэтому при краткосрочном прогнозировании наибольшую эффективность показывают адаптивные методы, которые учитывают неравноценность уровней временного ряда и быстро приспосабливаются к изменившимся условиям. Все адаптивные методы прогнозирования базируются на двух схемах: скользящего среднего (модели Брауна, Хольта и др. [6]) и авторегрессии.

2. Методика расчёта платёжной матрицы игры «с природой»

Руководство должно выбрать наиболее оптимальный и эффективный режим работы в летнее время, максимизирующий полученный доход от проведения курсов (недельных, двухнедельных и семинаров) повышения квалификации работников железнодорожного транспорта.

На рис. 1 представлена функциональная схема процесса поиска оптимального решения.

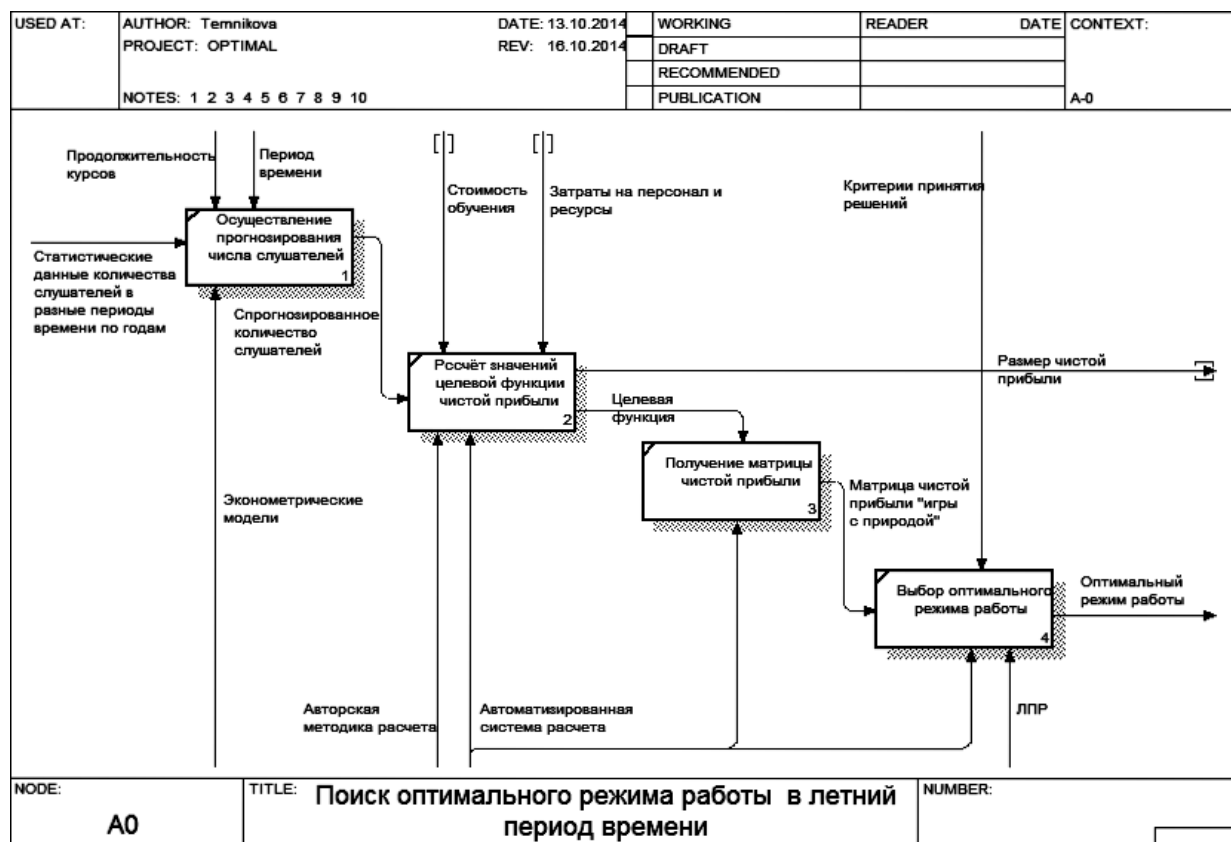


Рис.1. Диаграмма декомпозиции процесса поиска оптимального решения

Так как предприятия, предоставляющие слушателей для ИДПО, не находятся с ним в конфликтных ситуациях и состояния внешней среды не стремятся причинить вред ЛПР, для принятия решений была выбрана модель «игры с природой». Имеются следующие аль-

тернативы принятия решений: A_1, A_2, A_3 – работать в июне, июле и августе соответственно. Ожидается три состояния внешней среды: B_1, B_3 – нижняя и верхняя границы прогноза, B_2 – прогноз числа слушателей по предложенным моделям.

Методика расчёта платёжной матрицы состоит из этапов:

1. Прогнозирования количества слушателей каждого вида для каждого летнего месяца.
2. Расчёт значений целевой функции чистой прибыли.
3. Получение платёжной матрицы чистой прибыли для «игры с природой».
4. Выбор оптимального режима работы ИДПО.

2.1. Вычисление прогнозного значения количества слушателей каждого вида для каждого летнего месяца и определение границ прогноза

При статистической обработке временных рядов количества слушателей двухнедельных (k_2), недельных (k_1) курсов и семинаров (k_c) за период с 2002 г. по 2013 г. ($t=1, 2, \dots, 12$) в летний период времени были получены модели, по которым определялось количество слушателей ИДПО на 2014 г.

В июне месяце количество слушателей определялось по адаптивным моделям Брауна: недельных курсов

$$k_1 = \text{целая часть}\{15.1(t-1) + 22.7(t-1)\}, \quad (1)$$

двухнедельных курсов

$$k_2 = \text{целая часть}\{74.1(t-1) - 14.3(t-1)\}, \quad (2)$$

где t – период времени от 1 до 12 [7].

Дальнейший прогноз числа слушателей осуществлялся на основе регрессионных моделей (3),..., (6), полученных в пакете Statgraphics Plus, поскольку соответствующие модели прошли проверку на адекватность и обеспечивают необходимую точность прогноза (меньше 15 %) [8].

Количество слушателей семинаров k_c в июне вычисляется по линейной модели регрессии

$$k_c = \text{целая часть}\{-36.05 + 7.55 \cdot t\}. \quad (3)$$

Для июля: прогноз числа слушателей рассчитывается по моделям

$$k_1 = \text{целая часть}\{474.60 - 96.50 \cdot t + 5.10 \cdot t^2\}, \quad (4)$$

$$k_2 = \text{целая часть}\{44.24 - 2.18 \cdot t\}, \quad (5)$$

$$k_c = \text{целая часть}\{-205.04 + 42.63 \cdot t - 1.95 \cdot t^2\}. \quad (6)$$

Количество слушателей в августе выбрано как среднеарифметическое за прошедшие периоды времени.

Достаточно высокую точность полученных моделей (1),..., (6), описывающих тенденцию изменения количества слушателей, подтверждают значения коэффициента детерминации R^2 соответственно (см. табл. 1, в которой приведены критерии статистической значимости моделей: R^2 , скорректированный коэффициент детерминации R^2_c , критерий Дарбина – Уотсона DW , среднеквадратическая ошибка σ , средняя абсолютная ошибка Δ) [8].

Таблица 1. Критерии статистической значимости уравнений регрессий

№ формулы	R^2 , %	R^2_c , %	DW	σ	Δ
(2.1)	95.32	93.99	1.58	56.27	3.488
(2.2)	99.98	99.97	2.92	0.156	1.792
(2.3)	89.78	88.32	1.17	32.798	3.32
(2.4)	99.82	98.41	0.00	0.00	0.00
(2.5)	99.70	99.41	2.00	0.259	7.309
(2.6)	99.90	99.69	0.56	0.818	0.635

Точечный прогноз на k шагов вперёд определялся подстановкой параметра $t = N+1, N+2, \dots, N+k$ в модель (1), ..., (6).

Доверительный интервал прогноза будет иметь следующие границы:

нижняя граница прогноза

$$r_j = y_p(N+k) - u(k); \quad (7)$$

верхняя граница прогноза

$$k_j = y_p(N+k) + u(k), \quad (8)$$

где $y_p(N+k)$ – прогноз числа слушателей на k шаге уровня временного ряда N , подинтервал $u(k)$ вычисляется по формуле:

$$u(k) = S_T \cdot t_{cT} \sqrt{1 + 1/N + \frac{(N+k-t_{cp})^2}{\sum_{t=1}^N (t-t_{cp})^2}}, \quad (9)$$

где t_{cT} – табличное значение статистики Стьюдента с заданным уровнем значимости ($\alpha = 0.05$), S_T – среднеквадратическое отклонение от тренда.

$$S_T = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N E^2(t)}{N-2}}, \quad (10)$$

где $E(t)$ – остаточная компонента (разница между фактическим и прогнозным значениями на уровне временного ряда N).

Сводная таблица полученных прогнозных значений приведена ниже.

Таблица 2. Сводная таблица прогнозных значений S

Вид курса		Нижняя граница (r_j)	Прогноз (P_j)	Верхняя граница (k_j)	Месяц
$S=$	k_1	212	244	277	июнь
	k_2	0	73	146	
	k_c	60	62	164	
	k_1	80	82	84	июль
	k_2	15	16	17	
	k_c	5	20	35	
	k_1	0	0	0	август
	k_2	9	13	17	
	k_c	11	14	18	

Прогноз числа слушателей (244 человека) недельных курсов в июне месяце 2014 г. по адаптивной модели Брауна совпал с фактическим количеством слушателей.

2.2. Расчёт значений целевой функции f чистой прибыли

Для расчёта значения f платёжной матрицы прибыли используется следующий подход. Если фактическое число слушателей k_j , подавших заявку на обучение в ИДПО, больше прогнозируемого количества $k_j > P_j$, тогда значение f будет равно разнице между доходом от приёма слушателей в количестве P_j и затратами на обслуживание ($z_j P_j$) минус недополученная прибыль Δf из-за превышения спроса k_j над предложением P_j :

$$f = n_j P_j - z_j P_j - \Delta f, \quad (7)$$

где k_j – количество слушателей j -го вида курсов, подавших заявку на обучение (значения числа слушателей верхней границы прогноза); n_j – стоимость обучения одного слушателя

соответствующего вида курсов; z_j – затраты ИДПО на одного слушателя, в которые входит оплата труда основного персонала (преподавателей), вспомогательного персонала, административно-управленческого персонала, оплата за услуги связи, коммунальные услуги, амортизация оборудования, услуги по содержанию имущества, прочие услуги.

Недополученная прибыль Δf определяется по формуле $\Delta f = n_j(k_j - P_j)$, тогда

$$f = 2n_j P_j - n_j k_j - z_j P_j. \quad (8)$$

Если фактическое количество слушателей, подавших заявку на обучение в ИДПО, меньше прогнозируемого количества $r_j < P_j$, тогда функция f будет равна разнице между стоимостью обучения n_j и затратами на обслуживание z_j , помноженной на фактическое количество слушателей, минус недополученная прибыль Δf за счёт превышения предложения над спросом: $f = r_j(n_j - z_j) - \Delta f$, где r_j – количество слушателей j -го вида курсов, подавших заявку на обучение (значения числа слушателей нижней границы прогноза).

Величина Δf вычисляется по разнице между прогнозным и фактическим числом слушателей, помноженной на затраты на обслуживание курсов: $\Delta f = v p_j(P_j - r_j)$, где $v p_j$ – затраты на вспомогательный персонал (оплата труда ответственного за организацию учебного процесса и его ассистенту, которые отвечают за заключение договоров и организацию работы преподавателей, ведение учебных документов и учебных программ).

В результате получим

$$f = r_j(n_j - z_j) - v p_j(P_j - r_j). \quad (9)$$

Если фактическое и прогнозируемое количество слушателей совпали $k_j = P_j$, тогда функция f будет равна разнице между стоимостью обучения n_j и затратами на обслуживание z_j , помноженной на фактическое количество слушателей:

$$f = k_j(n_j - z_j). \quad (10)$$

Рассчитанные значения целевой функции f представлены в табл. 3.

2.3. Получение платёжной матрицы M чистой прибыли «игры с природой»

Для получения значений элементов платёжной матрицы M суммируются значения целевой функции f в каждом столбце (2, 3, 4) табл. 3 по месяцам (см. табл. 4).

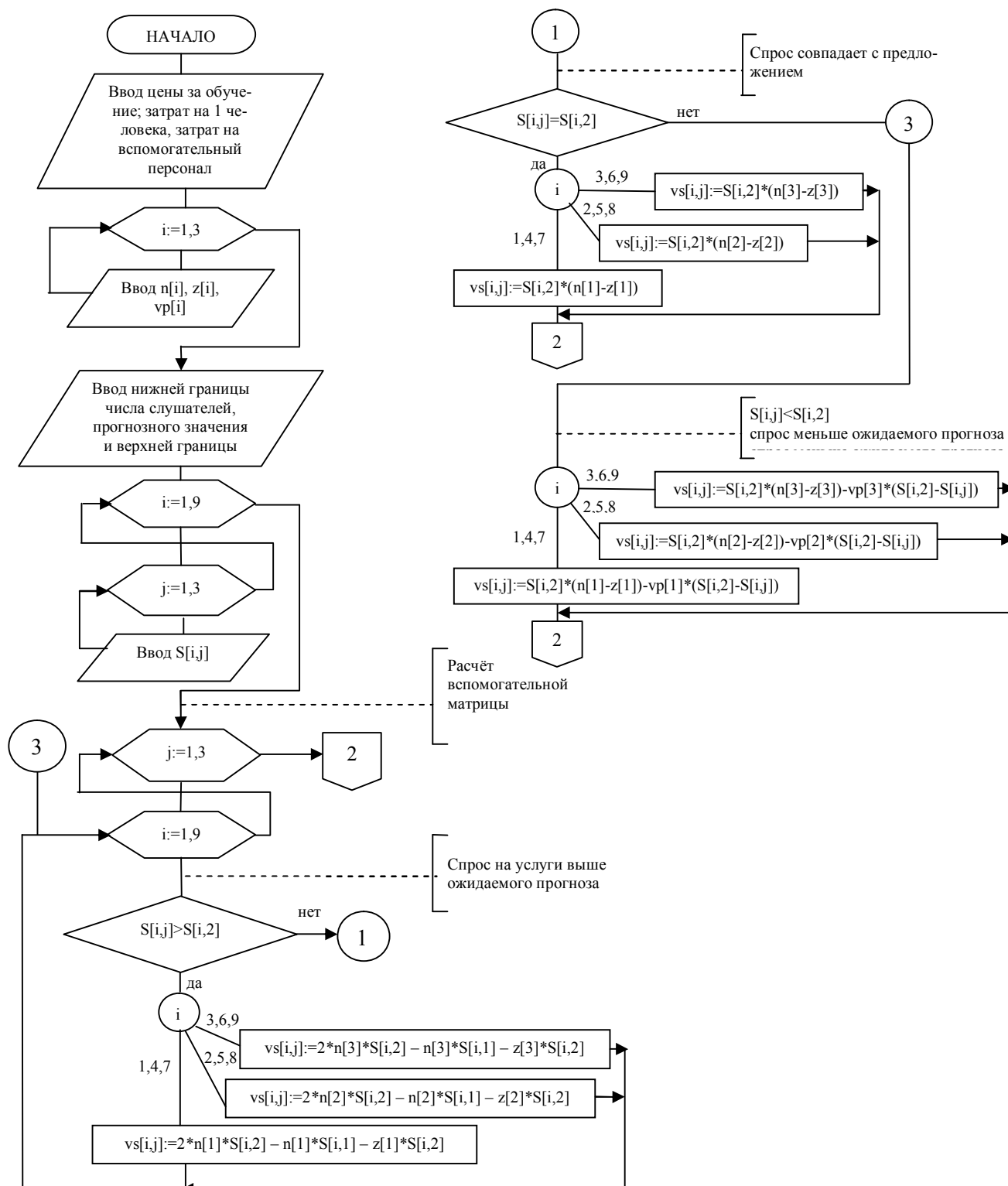
Таблица 3. Сводная таблица значений функции прибыли

Курс	Нижняя граница (r_j)	Прогноз (P_j)	Верхняя граница (k_j)	Месяц
1	2	3	4	5
k_1	72604.28	97118	-30882	июнь
k_2	-108616.7	116559.1	-1059836	
k_c	10988.96	11673.86	-182126	
k_1	31019.12	32504.8	24504.8	июль
k_2	22462.6	25547.2	9432.2	
k_c	-1370.965	3765.76	-24734.2	
k_1	0	0	0	август
k_2	8418.7	20757.1	-43702.9	
k_c	1608.687	2636.032	-4963.97	

Таблица 4. Матрица чистой прибыли M

Альтернатива	Нижняя граница	Прогноз	Верхняя граница
A_1 (июнь)	-25023.5	225351	-1272844
A_2 (июль)	52110.76	61817.76	9202.76
A_3 (август)	10027.39	23393.13	-48666.9

На рис. 2, 3 приведена блок-схема алгоритма расчёта матрицы чистой прибыли.

Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчёта матрицы чистой прибыли M

В блок-схеме введены обозначения: M – платёжная матрица размерностью $[3 \times 3]$; n , z , vp – массивы стоимости обучения, затрат на одного человека и затрат на вспомогательный персонал для каждого вида курсов ($1, 2, 3 = c$); S , vs – вспомогательные матрицы размерностью $[9 \times 3]$.

На основе предложенного авторами алгоритма, с целью снижения трудоёмкости и времени расчётов, был разработан специальный программный модуль «Расчёт матрицы чистой прибыли» (см. рис. 4).

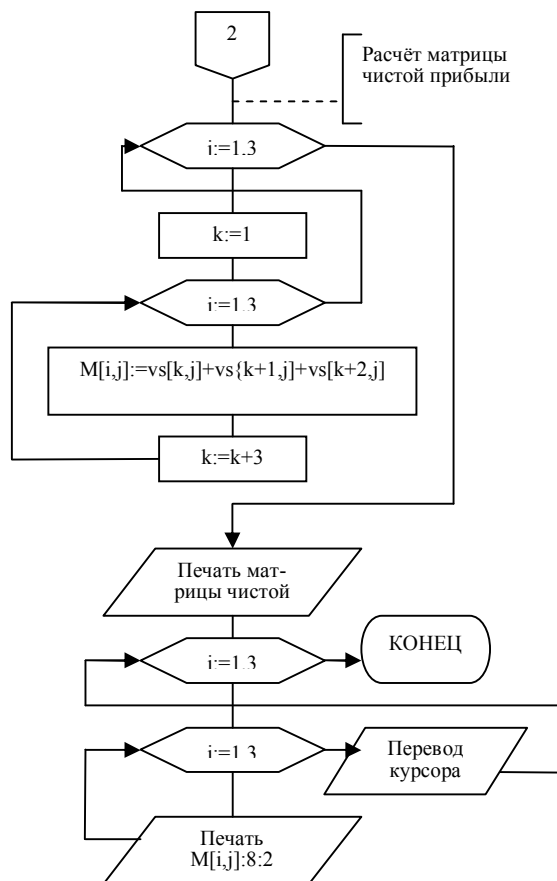


Рис. 3. Продолжение блок-схемы алгоритм расчёта матрицы чистой прибыли M

Сводная таблица спрогнозированных значений				Матрица доп.		Модуль выбора оптимальной альтернативы			
	н.гр.	прогноз	в.гр.				н.гр.	прогноз	в.гр.
k1	212	245	277			k1	72604,28	97118	-30882
k2	0	73	146			k2	-108616,7	116559,1	-1059835,9
kc	60	62	164			kc	10988,9594	11673,856	-182126,144
k1	80	82	84			k1	31019,12	32504,8	24504,8
k2	15	16	17			k2	22462,6	25547,2	9432,2
kc	5	20	35			kc	-1370,9645	3765,76	-24734,24
k1	0	0	0			k1	0	0	0
k2	9	13	17			k2	8418,7	20757,1	-43702,9
kc	11	14	18			kc	1608,6871	2636,032	-4963,968

Данные из отчёта расходов на обучение			
	цена курсов	затраты на 1 чел.	затраты на вст.п.
k1	4000	3603,6	346,44
k2	16115	14518,3	1487,9
kc	1900	1711,712	154,1603

Матрица чистой прибыли			
	н.гр.	прогноз	в.гр.
A1	-25023,4606	225350,956	-1272844,04
A2	52110,7555	61817,76	9202,76
A3	10027,3871	23393,132	-48666,868

Рис. 4. Автоматизированный модуль расчёта матрицы чистой прибыли

3. Выбор оптимального режима работы ИДПО (альтернативы)

Для обеспечения автоматизированной поддержки принятия оптимального УР была разработана программа для ЭВМ (получено свидетельство государственной регистрации № 2014617604) [9]. В программном модуле ЛПР может выбрать любой из критериев принятия решения в условиях неопределённости: Лапласа, Вальда, Сэвиджа, Гурвица [10].

На рис. 5, 6 представлен выбор оптимальной альтернативы на основе критериев Вальда, Гурвица с помощью автоматизированной системы поддержки принятия решений (АСППР) «Выбор альтернатив в условиях неопределённости по четырём критериям принятия решений» [11].

Критерий решения: Вальда

minmax

A/S	B1	B2	B3
A1	-25023,5	225351	-1272844
A2	52110,76	61817,76	9202,76
A3	10027,39	23393,13	-48666,87

	B1	B2	B3
	52110,76	225351	9202,76
	minmax		
	9202,76		

Ввод z:

Рис. 5. Выбор альтернативы на основе критерия Вальда

При выборе критерия Гурвица ЛПР следует ввести показатель оптимизма z из интервала $(0, 1)$, который отражает склонность ЛПР к риску (см. рис.6) [10].

Критерий решения: Гурвица

ор=1,да

A/S	B1	B2	B3
A1	-25023,5	225351	-1272844
A2	52110,76	61817,76	9202,76
A3	10027,39	23393,13	-48666,87

	zМ	m	d
A1	135210,6	-509137,6	-373927
A2	37090,656	3681,104	40771,76
A3	14035,878	-19466,748	-5430,87

	zm	M	d
A1	-763706,4	90140,4	-673566
A2	5521,656	24727,104	30248,76
A3	-29200,122	9357,252	-19842,87

Ввод z: 0,6

Рис. 6. Выбор альтернативы на основе критерия Гурвица

Блок-схема алгоритма выбора ЛПР критерия принятия решения в АСППР представлен на рис. 7 [10].

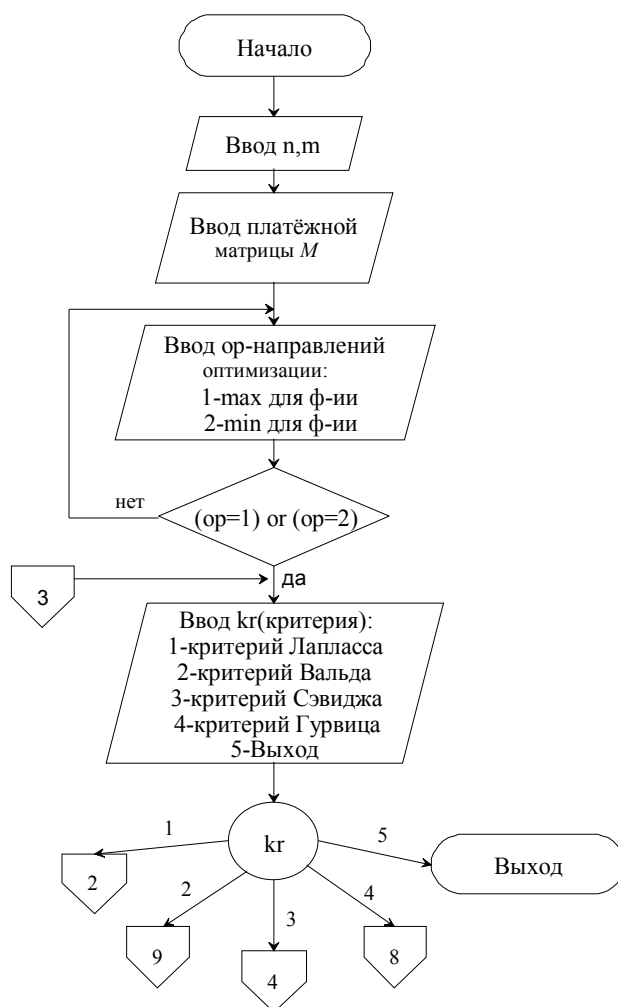


Рис. 7. Блок-схема алгоритма выбора критерия принятия УР

На рис. 8 представлен модуль поиска оптимальной альтернативы по критерию Сэвиджа.

Методы выбора альтернатив

Критерий решения: Вальда, Гурвица, **Сэвиджа**, Лапласа

Очистить Выход Ввод z:

Матрица чистой прибыли

A/S	S1	S2	S3
A1	-25023,5	225351	-1272844
A2	52110,76	61817,76	9202,76
A3	10027,39	23393,13	-48666,87

Матрица сожалений

A/S	S1	S2	S3
A1	77134,26	0,00	1282046,80
A2	0,00	163533,24	0,00
A3	42083,37	201957,87	57869,63

Матрица решений В условиях риска ИДПО

Рис. 8. Выбор оптимальной альтернативы на основе критерия Сэвиджа

Блок-схема алгоритма поиска оптимального УР по критерию Сэвиджа представлена на рис.9.

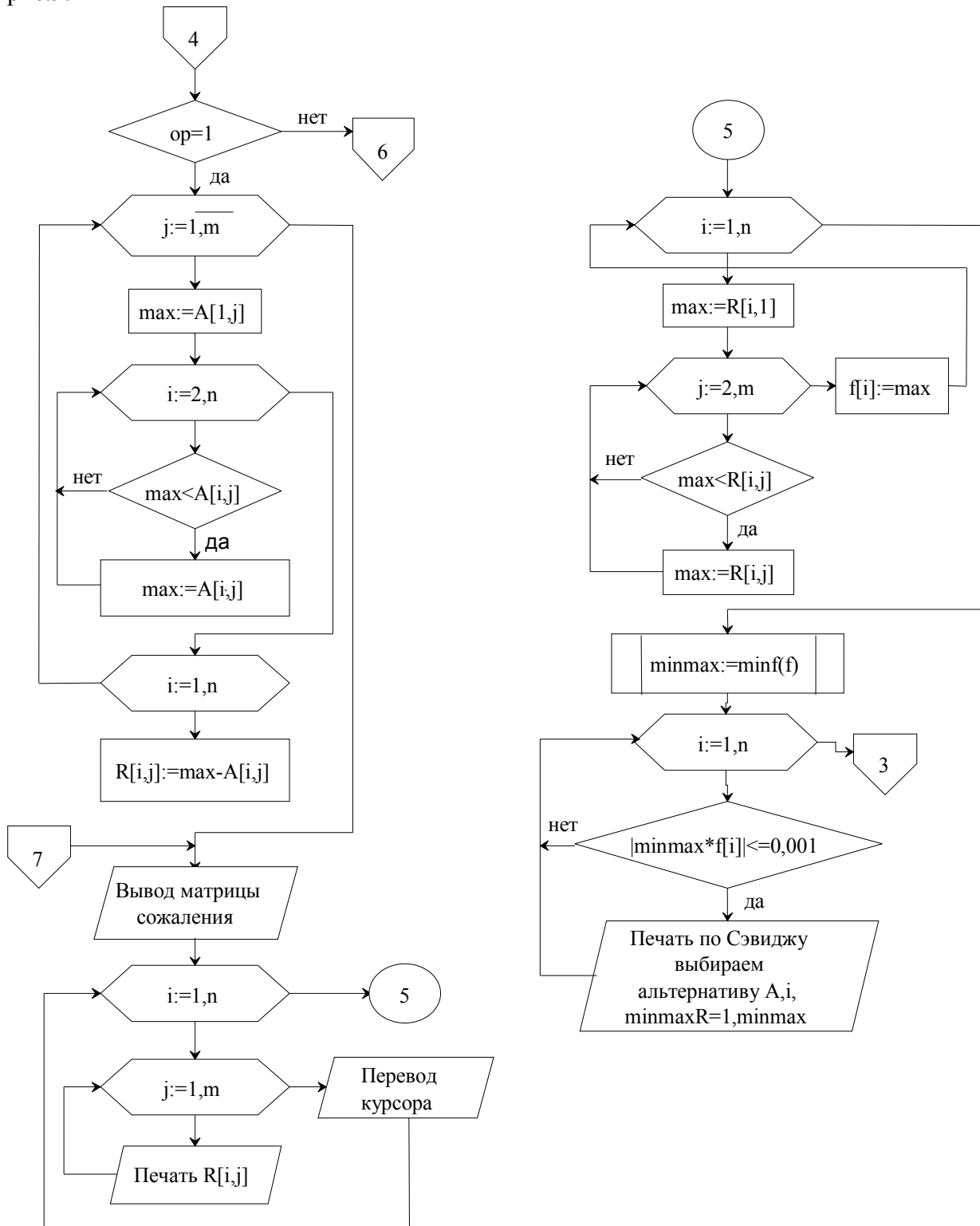


Рис. 9. Блок-схема алгоритма поиска наилучшего решения по методу Сэвиджа

4. Выводы

Поиск наилучшей альтернативы по четырём описанным критериям принятия решений в условиях неопределённости показал, что оптимальной альтернативой для каждого критерия, которая позволит повысить эффективность работы и снизить затраты на поддержание

учебного процесса в ИДПО, будет работа в июле – альтернатива A_2 , что совпадает с данными ручного счёта.

Для получения решения в смешанных стратегиях можно использовать модель «игры двух лиц с нулевой суммой».

Однако платёжная матрица M имеет седловую точку, для которой нижняя цена игры $\alpha = \max_i \min_j M[i, j]$ и верхняя цена игры $\beta = \min_j \max_i M[i, j]$ совпадают (см. табл. 5), а это значит, что решение такой игры будет в чистых стратегиях игроков (A_2, B_3).

Таблица 5. Поиск седловой точки

Матрица чистой прибыли M				
	Нижняя граница B_1	Прогноз B_2	Верхняя граница B_3	min
A_1	-25023.5	225351	-1272844	-1272844
A_2	52110.76	61817.7	9202.76	9202.76
A_3	10027.39	23393.1	-48666.9	-48666.9
max	52110.8	224955	9202.76	
$\alpha = 9202,76 = \beta$				

Литература

1. Ханова А.А. Структурно-функциональная модель сбалансированной системы показателей для принятия управленческих решений / А.А. Ханова // Вестник АГТУ. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2012. – №1. – С. 200–208.
2. Артюхина В.А. Гибридная система поддержки принятия решений при управлении крупными корпоративными структурами / В.А. Артюхина, В.Н. Ефанов // Вестник УГАТУ. – 2012. – №3 (48). – С. 205–216.
3. Ивченко Б.П. Информационная микроэкономика. Часть 1. Методы анализа и прогнозирования / Б.П. Ивченко, Л.А. Мартыщенко, И.Б. Иванцов. – СПб.: Нордмед-Издат, 1997. – 160 с.
4. Гладилин А.В. Эконометрика: учебное пособие / А.В. Гладилин, А.Н. Герасимов, Е.И. Громов. – М.: КНОРУС, 2006. – 232 с.
5. Буров А.В. Моделирование в экономике: учебное пособие / А.В. Буров, С.Л. Миньков, В.В. Сизов, В.М. Ушаков. – 2-е изд., перераб. и доп.; под ред. В.В. Сизова, С.Л. Минькова. – Томск: Изд-во Томского государственного педагогического университета, 2004. – 336 с.
6. Лукаши, Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: учебное пособие / Ю.П. Лукашин. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
7. Асламова В. С. Оценка числа слушателей ИДПО на основе адаптивной модели Брауна / В. С. Асламова, Е. А. Темникова // Материалы 5-й междун. Науч.-практ. конф. «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» в 2-х т., 2014. – Т. 1. – С. 274-278.
8. Темникова Е.А. Алгоритмы принятия решений на основе регрессионных моделей оценки числа слушателей ИДПО / Е.А. Темникова, В.С. Асламова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014. – № 1(41). – С.197-201.
9. Темникова, Е.А. Выбор альтернатив в условиях неопределённости по критериям принятия решений / Е.А. Темникова, В.С. Асламова // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014617604 зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 29 июля 2014 г.
10. Трофимова Л.А. Методы принятия управленческих решений: учебник для бакалавров / Л.А. Трофимова, В.В. Трофимов. – М.: Изд-во Юрайт, 2014. – 335 с.
11. Темникова Е.А. Автоматизированное принятие решений на основе регрессионных моде-

лей оценки числа слушателей ИДПО / Е.А. Темникова, В.С. Асламова // Труды Всероссийской молодёжной научно-практ. конф. «Винеровские чтения». – Иркутск: ИрГТУ, 2014 г – С.143-150.

Статья поступила в редакцию 18.11.2014.

Темникова Елена Александровна,

аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС), тел.: 8(950)080-78-58, e-mail: lenchik89-07@mail.ru, temnikova_ea@bk.ru

Асламова Вера Сергеевна,

д.т.н., проф., профессор кафедры «Техносферная безопасность» ИрГУПС, тел.: 8(908)643-14-12, e-mail: aslamovav@yandex.ru

Computer-based calculation system of the matrix «game with nature» and the search for optimum performance of an Additional Professional Education Institute

Temnikova E.A., Aslamova V.S.

This paper is devoted to actual problems of model development of managerial decisions making conducted at the Institute of Additional Professional Education (IAPE) of the Irkutsk State Transport University. Forecasting of the number of students of IAPE was carried out by means of regression models and adaptive model of Brown, while processing statistically the corresponding indicator of the time series for the previous twenty years. The models obtained are checked for adequacy. Under the results of check, it was decided to implement the forecast for two-week and one-week courses in June according to Brown adaptive model.

The method of matrix calculation of net profit is developed for choosing the optimum work routine of IAPE in summertime.

Application software «An alternative choice by four criteria of decision making» (Gurvitsa, Sevidzha, Wald, Laplace) for computer-based calculation system of net profit matrix and supporting of optimum managerial decision making is developed.

Keywords: statistical method, Brown adaptive model, regression models, time series, alternatives, criteria for choosing alternatives, profit function, net profit matrix.