

УДК [005.007].001.573

Математическое моделирование формирования иностранных студенческо-аспирантских контингентов и доходов от их подготовки для постсоветских условий

Владимир Московкин,
доктор географических наук, профессор,
Белгородский государственный университет,
Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина;

Билаль Н. Е. Сулеман,
аспирант,
Белгородский государственный университет, Россия,

Анна Емельянова,
старший преподаватель,
Харьковский институт кадров управления

После распада СССР постсоветские вузы потеряли огромные заказы на подготовку высококвалифицированных специалистов для развивающихся стран, что отрицательно сказалось на их финансовом положении и международной репутации

Начавшийся процесс экономической стабилизации в постсоветских странах стимулировал интерес к такой подготовке как со стороны университетов, так и со стороны иностранных граждан и контрактёров из развивающихся стран.

В условиях демографического провала, который начался после распада СССР, проблема привлечения в постсоветские вузы иностранных граждан становится еще более актуальной. Дело в том, что в период с 2010 по 2015 гг. следует ожидать минимальную численность выпускников средних школ, а следовательно, и потенциальных абитуриентов, о чем свидетельствуют прогнозные расчеты многих авторов. Этот процесс, очевидно, приведет

к жесткой конкуренции постсоветских вузов за ограниченный, резко сокращающийся контингент потенциальных абитуриентов, что инициирует процессы слияния и поглощения (создание крупных университетских комплексов), а также ликвидации неэффективных вузов.

Все сказанное заставит крупные вузы проводить агрессивную маркетинговую политику по привлечению иностранных абитуриентов.

Для обоснования такой политики нужны формализованные подходы по планированию формирования иностранных обучающихся контингентов.

Большим недостатком существующих схем набора и подготовки иностранных специалистов является практическое от-

существование целенаправленных действий по привлечению иностранных бакалавров и магистров, получивших дипломы в своих странах, на магистерский и аспирантский уровни подготовки университетов стран СНГ. Здесь возникают сложности по процедурам легализации, соответствия и признания дипломов. В то же время следует отметить, что высококласные университеты мира отличаются от других тем, что на более высоких уровнях подготовки обучается больше студентов, чем на более низких. Это достигается агрессивной университетской политикой привлечения лучших выпускников из других университетов для обучения на более высоких уровнях подготовки (graduate, postgraduate). Такая политика способствует повышению качественного состояния студенческих контингентов и профессорско-преподавательского состава, а также доходности университета, что, в конечном счете, повышает его международный рейтинг.

Традиционная линейная схема набора и подготовки специалистов для развивающихся стран, которая была разработана в рамках плановой вузовской политики СССР, предусматривала возможность обучения на основных факультетах университетов только через прохождение предварительного обучения на подготовительном факультете (подфаке), что приводило к большим потерям на выходе. Действительно, предположив относительно небольшой средний коэффициент отсева студентов на всех курсах подготовки, равный 0,1 (10 % отсев) и полагая, что на подфак принято 100 иностранных граждан, то при шестилетнем сроке подготовки специалистов (включая

один год обучения на подготовительном отделении) на выходе из университета мы получим всего $100(1 - 0,1)^6 = 53$ выпускника, а при 20 % отсева на выходе будем получать около десяти процентов от входного потока.

Переход на двухуровневую подготовку специалистов (бакалавриат, магистратура) будет стимулировать, на наш взгляд, и переход к нелинейной схеме набора и подготовки университетских и научных кадров. Для этого следует организовать два новых входящих потока специалистов для их дальнейшего обучения на магистерском и аспирантском уровнях. Такая схема будет особенно привлекательной для иностранных граждан, в случае если эта подготовка будет организована на одном из европейских языков, и наибольший интерес она представит для аспирантов в случае получения ими конвертируемых PhD дипломов после успешной защиты диссертации.

Рассмотрим нелинейную схему набора и подготовки иностранных граждан, отражающую входные потоки в образовательную систему (рис. 1).

На этой схеме показаны:

x — ежегодное количество иностранных граждан, поступающих на подготовительный факультет;

y, z — соответственно ежегодное количество иностранных бакалавров и магистров, поступающих на магистерский и аспирантский уровни подготовки извне, а также временные годовые этапы подготовки с их соответствием четырем уровням подготовки.

Для анализа процесса формирования студенческо-аспирантских контингентов

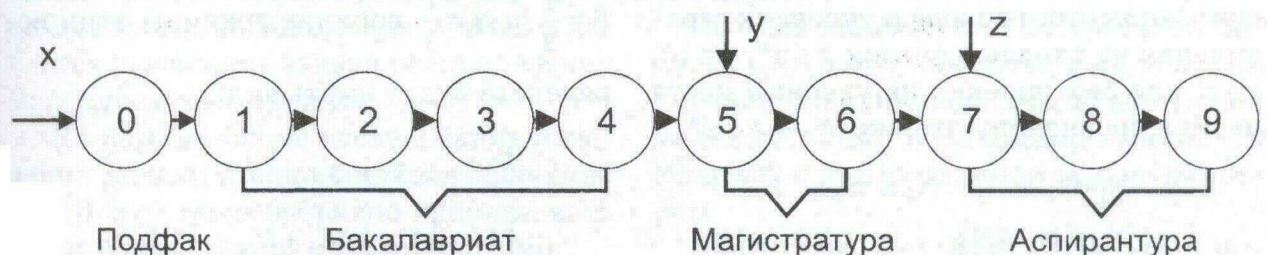


Рис. 1. Нелинейная схема набора и подготовки иностранных граждан

на каждом временном этапе следует ввести следующие параметры:

$$\lambda_{i,i+1} = 1 - \gamma_{i,i+1},$$

где $\gamma_{i,i+1}$ — коэффициент отсева, $\lambda_{i,i+1}$ — коэффициент перехода обучающихся контингентов с i -го временного этапа на $i + 1$ -й в долях от единицы $i = (0,8)$; β — доля выпускников-бакалавров, идущих в магистратуру; γ — доля выпускников-магистров, идущих в аспирантуру.

Тогда на каждом временном этапе приступают к обучению следующие численности иностранных граждан:

$$\begin{cases} N_0 = x, \\ N_1 = \lambda_{01}x, \\ N_2 = \lambda_{01}\lambda_{12}x, \\ N_3 = \lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{23}x, \\ N_4 = \lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{23}\lambda_{34}x, \\ N_5 = \lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{23}\lambda_{34}\lambda_{45}\beta x + y, \\ N_6 = (\lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{23}\lambda_{34}\lambda_{45}\lambda_{56}\beta x + y)\lambda_{56}, \\ N_7 = (\lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{23}\lambda_{34}\lambda_{45}\beta x + y)\lambda_{56}\lambda_{67}\gamma + z, \\ N_8 = ((\lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{23}\lambda_{34}\lambda_{45}\beta x + y)\lambda_{56}\lambda_{67}\gamma + z)\lambda_{78}, \\ N_9 = ((\lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{23}\lambda_{34}\lambda_{45}\beta x + y)\lambda_{56}\lambda_{67}\gamma + z)\lambda_{78}\lambda_{89} \end{cases} \quad (1)$$

Вводя на каждом уровне подготовки свою стоимость обучения C_{Π}, C_B, C_M, C_A , получим следующий годовой доход университета от подготовки всего студенческо-аспирантского контингента:

$$D = C_{\Pi}N_0 + C_B(N_1 + N_2 + N_3 + N_4) + C_M(N_5 + N_6) + C_A(N_7 + N_8 + N_9), \quad (2)$$

где N_i определяется по формулам (1).

Таким образом, приходим к трехмерной линейной функции дохода

$$D(x, y, z) = Ax + By + Cz.$$

Для университета встает задача максимизации этого дохода в условиях ограничения на входные потоки $x \leq x^*, y \leq y^*, z \leq z^*$ или ограничения на учебные места на всех уровнях подготовки $N_0 = x \leq x^*$,

$$N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \leq N_b^*,$$

$$N_5 + N_6 \leq N_M^*,$$

$$N_7 + N_8 + N_9 \leq N_A^*$$

Запишем суммарную численность обучающихся студентов и аспирантов, а также доход от их обучения с учетом постоянного коэффициента перехода $\lambda_{i,i+1} = \lambda$ на всех временных этапах подготовки, на основе полученных выражений (1) и (2):

$$N = x(1 + \lambda + \lambda^2 + \lambda^3 + \lambda^4) + (\lambda^5\beta x + y)(1 + \lambda) + ((\lambda^5\beta x + y)\lambda^2\gamma + z)(1 + \lambda + \lambda^2), \quad (3)$$

$$\begin{aligned} D &= C_{\Pi}x + C_B\lambda x(1 + \lambda + \lambda^2 + \lambda^3) + \\ &+ C_M(\lambda^5\beta x + y)(1 + \lambda) + \\ &+ C_A((\lambda^5\beta x + y)\lambda^2\gamma + z)(1 + \lambda + \lambda^2) \end{aligned} \quad (4)$$

Так как коэффициент перехода обучающихся контингентов $\lambda_{i,i+1}$ вероятностная величина, то все возможные значения данного коэффициента заключены в интервале $[0; 1]$. Вычислим значения уравнений (3) и (4) на концах вероятностного отрезка:

$$\begin{aligned} \lim_{\lambda \rightarrow 0} N &= x + y + z \quad \text{и} \quad \lim_{\lambda \rightarrow 1} N = \\ &= (5 + 2\beta + 3\beta\gamma)x + (2 + 3\gamma)y + 3z, \end{aligned}$$

$$\lim_{\lambda \rightarrow 0} D = C_{\Pi}x + C_M y + C_A z,$$

$$\begin{aligned} \lim_{\lambda \rightarrow 1} D &= C_{\Pi}x + 4C_Bx + 2C_M(\beta x + y) + 3C_Az + \\ &+ 3C_A(\beta x + y)\gamma. \end{aligned}$$

Тогда получим следующие интервалы изменения N и D :

$$\begin{aligned} x + y + z \leq N \leq (5 + 2\beta + 3\beta\gamma)x + \\ + (2 + 3\gamma)y + 3z \end{aligned}, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} C_{\Pi}x + C_M y + C_A z \leq D \leq C_{\Pi}x + 4C_Bx + \\ + 2C_M(\beta x + y) + 3C_Az + 3C_A(\beta x + y)\gamma. \end{aligned} \quad (6)$$

Например, при реальных значениях

$\beta = \frac{1}{2}$ и $\gamma = \frac{1}{3}$ верхние границы этих неравенств будут иметь вид:

$$\begin{cases} N^* = 6,5x + 3y + 3z \\ D^* = \left(C_{\Pi} + 4C_B + C_M + \frac{1}{2}C_A \right)x + \\ + (2C_M + C_A)y + 3C_Az. \end{cases} \quad (7)$$

Все полученные выше выражения могут быть использованы для имитационного моделирования с точки зрения проигрывания различных сценариев, предусматривающих наращивания входных потоков z и y на фоне стабильного и сокращающегося входного потока x .

Следует отметить, что если линейная схема набора и подготовки иностранных граждан, в которой действует только один входной поток x , приводит к одномерной задаче линейного программирования и имитационного моделирования, то нелинейная схема приводит к трехмерной задаче.

В процессе изучения и моделирования динамически развивающихся систем очень часто возникают трудности, характеризующиеся недостатком информации, которая в большинстве случаев является вероятностной величиной. В модели (1), (2), которая описывает процесс формирования иностранных студенческо-аспирантских континентов и доходов от их подготовки, вероятностной величиной является коэффициент $\lambda_{i,i+1}$. Выражение (2) с учетом (1) примет вид:

$$D = C_{\Pi}x + C_{Б}x(\lambda_{01} + \lambda_{01}\lambda_{12} + \lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{23} + \lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{23}\lambda_{34}) + C_{M}(\lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{23}\lambda_{34}\lambda_{45}\beta x + y) \cdot (1 + \lambda_{56}) + C_{A}(\lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{23}\lambda_{34}\lambda_{45}\beta x + y) \cdot (1 + \lambda_{78} + \lambda_{78}\lambda_{89})(\lambda_{56}\lambda_{67}\gamma + z) \quad (8)$$

Для того чтобы определить фактические значения оптимизационной (6) функции D , необходимо, в первую очередь, определить все значения коэффициента $\lambda_{i,i+1}$, а также значения β и γ . Так как это вероятностные величины, то для составления модели, которая в дальнейшем сможет описать реальный процесс получения дохода вузом, необходимым условием является выявление закона распределения этих случайных величин.

На первом этапе исследования поведения модели при различных значениях $\lambda_{i,i+1}$, β и γ целесообразно использовать метод имитационного моделирования.

Основная идея имитации состоит в том, чтобы создать экспериментальное уст-

ройство (имитатор), которое в основных чертах повторяет (имитирует) поведение интересующей нас реальной системы, причем позволяет рассмотреть различные варианты законов распределения, если на функционирование системы оказывает влияние случайная величина.

Несмотря на то, что при имитации и оптимизации используются количественные модели, эти модели строятся исходя из разных концепций. Основное различие этих моделей заключается в той роли, которую играют в них переменные решения:

— в моделях оптимизации значения переменных решений являются выходом модели. Выходным результатом процесса оптимизации модели будут значения переменных решений, которые максимизируют (или минимизируют) целевую функцию;

— в имитационных моделях значения переменных решений являются выходом модели. Выходным результатом процесса имитации модели будет значение целевой функции, соответствующее данным входным значениям переменных решения.

Осуществим случайную выборку из генеральной совокупности, имеющей гипотетическое вероятностное распределение или, другими словами, произведем генерирование случайных величин. Существует два типа случайных величин: дискретные и непрерывные. Дискретная случайная величина может принимать только определенные значения (например, только целые), тогда как непрерывная случайная — любое значение (включая дробные) из заданного непрерывного интервала.

Предположим, что в построенной модели $\lambda_{i,i+1}$, β и γ являются непрерывной случайной величиной. Для дальнейшего моделирования необходимо выдвинуть гипотезу о распределении этих параметров:

Гипотеза (H₀). Допустим, что в построенной оптимизационной модели, которая описывает процесс формирования

иностранных студенческо-аспирантских контингентов и доходов от их подготовки, вероятностные коэффициенты $\lambda_{i,i+1}$, β и γ имеют непрерывное равномерное распределение на интервале $\lambda_{i,i+1} \in [0,8;$

$0,87]$, $\beta \in \left[\frac{1}{3}; \frac{1}{2}\right]$ и $\gamma \in \left[\frac{1}{3}; \frac{1}{2}\right]$. Эти интервалы

изменения параметров модели в первом приближении соответствуют ситуации подготовки иностранных студентов и аспирантов в Белгородском госуниверситете (БелГУ, Россия).

Согласно выдвинутой гипотезе произведем генерирование произвольных непрерывных случайных величин, распределенных по равномерному закону распределения с помощью электронных таблиц Excel. Это даст нам основу для анализа оптимизационного уравнения и получения гипотетических результатов.

Используя функцию Excel СЛЧИС, которая возвращает случайное число из интервала $[0; 1]$ и, соответственно, моделирует непрерывное равномерное распределение, формула $= 0,8+0,07*\text{СЛЧИС}()$ будет возвращать равномерно распределенные числа из интервала $[0,8;0,87]$ и, соответственно, формула $=0,33+0,17*$

СЛЧИСО — числа из интервала $\left[\frac{1}{3}; \frac{1}{2}\right]$.

Для получения наиболее целостного представления о поведении уравнения при непрерывном равномерном распределении, произведем 100 итераций для каждого значения (табл. 1).

Зная среднюю стоимость обучения (табл. 2) и предполагая, что существуют ограничения только по набору студентов на подфак, а также фиксированные потоки по приему магистров и аспирантов

Таблица 1

Генерирование непрерывных случайных величин

Вероятностные коэффициенты (случайные) числа, распределенные по равномерному закону											
№ итер	λ_{01}	λ_{12}	λ_{23}	λ_{34}	λ_{45}	β	λ_{56}	λ_{67}	γ	λ_{78}	λ_{89}
1	0,85	0,86	0,83	0,87	0,87	0,38	0,84	0,86	0,40	0,86	0,85
2	0,86	0,81	0,87	0,82	0,82	0,35	0,84	0,84	0,48	0,86	0,83
3	0,87	0,83	0,83	0,82	0,86	0,42	0,83	0,83	0,36	0,86	0,80
4	0,85	0,81	0,87	0,83	0,84	0,36	0,60	0,82	0,50	0,81	0,80
81	0,85	0,85	0,85	0,85	0,83	0,36	0,82	0,86	0,49	0,83	0,83
82	0,83	0,84	0,84	0,84	0,83	0,48	0,81	0,85	0,35	0,80	0,81
83	0,82	0,85	0,85	0,85	0,83	0,34	0,86	0,81	0,34	0,86	0,80
84	0,86	0,82	0,82	0,82	0,80	0,49	0,87	0,85	0,46	0,83	0,81
85	0,85	0,85	0,85	0,86	0,85	0,40	0,87	0,85	0,44	0,83	0,81
86	0,85	0,85	0,85	0,84	0,87	0,48	0,85	0,81	0,44	0,83	0,86
87	0,85	0,81	0,81	0,82	0,85	0,38	0,84	0,86	0,43	0,85	0,82
88	0,82	0,81	0,81	0,82	0,83	0,49	0,86	0,81	0,50	0,80	0,81
89	0,82	0,84	0,84	0,80	0,82	0,33	0,87	0,87	0,43	0,84	0,84
90	0,84	0,82	0,82	0,84	0,87	0,42	0,84	0,86	0,35	0,85	0,82
91	0,82	0,81	0,81	0,81	0,82	0,38	0,86	0,85	0,41	0,87	0,81
92	0,86	0,86	0,86	0,85	0,80	0,43	0,82	0,85	0,36	0,85	0,80
93	0,83	0,85	0,85	0,80	0,86	0,47	0,81	0,85	0,41	0,84	0,80
94	0,82	0,83	0,83	0,86	0,84	0,44	0,86	0,86	0,43	0,86	0,86
95	0,85	0,86	0,86	0,82	0,85	0,50	0,81	0,83	0,46	0,87	0,83
96	0,82	0,85	0,85	0,80	0,83	0,34	0,82	0,86	0,44	0,85	0,82
97	0,86	0,86	0,86	0,84	0,87	0,45	0,83	0,81	0,49	0,86	0,83
98	0,85	0,80	0,84	0,81	0,83	0,44	0,84	0,80	0,43	0,80	0,84
99	0,84	0,84	0,86	0,86	0,80	0,42	0,85	0,80	0,39	0,80	0,82
100	0,83	0,80	0,84	0,83	0,83	0,34	0,85	0,84	0,43	0,85	0,83

извне и ограничение общей численности студентов и аспирантов иностранцев по количеству мест в общежитии (табл. 3),

проведем анализ получения дохода вузом за каждый год обучения в зависимости от случайных величин.

Таблица 2

Средняя стоимость года обучения в БелГУ (2006 — 2007 гг.)

На подготовительном отделении	\$1627,50
Бакалавра	\$1428,00
Магистра	\$1393,00
Аспиранта	\$2000,00

Таблица 3

Оптимальные ограничения по набору студентов и аспирантов в БелГУ

На подготовительное отделение	100
На бакалавриат	
В магистратуру извне*	10
В аспирантуру извне	27
Количество мест в общежитии	500

*Сумма магистров и аспирантов, поступающих извне, не должна превышать 37 человек при начальном потоке поступающих на подфак 100 человек. В таблице приведены потоки, при которых возможно получить максимальный доход и удовлетворить ограничению по количеству мест в общежитии.

Таблица 4

Поступление и первый год обучения

	Подфак		Бакалавры		Магистры				Аспиранты			
	Кол-во студентов	Стоимость года обучения	Кол-во студентов	Стоимость года обучения	Бакалавры вуза	Бакалавры извне	Итого	Стоимость года обучения	Магистры вуза	Магистры извне	Итого	Стоимость года обучения
1	100	\$162 750	80	\$114 789	15	10	25	\$35 111	8	27	35	\$70 779
2	100	\$162 750	83	\$118 428	17	10	27	\$38 222	9	27	36	\$71 040
3	100	\$162 750	83	\$117 942	320	10	30	\$42 038	7	27	34	\$68 228
4	100	\$162 750	82	\$117 218	17	10	27	\$37 038	8	27	35	\$70 209
5	100	\$162 750	82	\$116 417	21	10	31	\$43 205	11	27	38	\$75 076
6	100	\$162 750	85	\$121 567	20	10	30	\$41 610	10	27	37	\$73 348
7	100	\$162 750	84	\$119 800	18	10	28	\$38 968	7	27	34	\$68 691
8	100	\$162 750	81	\$115 463	19	10	29	\$40 247	9	27	36	\$71 191
9	100	\$162 750	82	\$116 620	15	10	25	\$34 857	7	27	34	\$68 575
10	100	\$162 750	85	\$121 515	15	10	25	\$34 887	8	27	35	\$69 198
11	100	\$162 750	83	\$118 374	16	10	26	\$36 416	7	27	34	\$68 798
90	100	\$162 750	87	\$123 947	19	10	29	\$39 870	10	27	37	\$73 326
91	100	\$162 750	86	\$122 819	19	10	29	\$40 161	9	27	36	\$72 730
92	100	\$162 750	85	\$121 048	19	10	29	\$40 850	9	27	36	\$72 487
93	100	\$162 750	86	\$123 232	20	10	30	\$41 235	7	27	34	\$68 802
94	100	\$162 750	84	\$120 272	20	10	30	\$41 335	9	27	36	\$72 967
95	100	\$162 750	86	\$123 478	18	10	28	\$39 271	10	27	37	\$73 335
96	100	\$162 750	82	\$116 588	13	10	23	\$32 214	6	27	33	\$65 696
97	100	\$162 750	85	\$120 895	20	10	30	\$41 552	7	27	34	\$68 486
98	100	\$162 750	83	\$118 428	20	10	30	\$41 282	7	27	34	\$67 298
99	100	\$162 750	82	\$117 609	18	10	28	\$39 377	9	27	36	\$72 241
100	100	\$162 750	84	\$119 900	16	10	26	\$36 417	8	27	35	\$69 590

Аналогично строим таблицы для второго — четвертого года обучения, тогда результирующая таблица получения дохода вузом, по данным которой можно

построить гистограмму распределения (получения) дохода в зависимости от изменений $\lambda_{i,i+1}$, β и γ будет выглядеть следующим образом (табл. 5).

Таблица 5

Сводная таблица зависимости общего среднего дохода вуза от общей численности студентов и аспирантов-иностранцев

№ пп	Средний доход вуза	Число студентов
1	\$777 403,83	504
2	\$758 189,76	493
3	\$784 938,68	512
4	\$737 987,64	477
5	\$766 972,23	498
6	\$743 033,15	482
7	\$792 706,80	514
8	\$793 760,88	517
9	\$751 454,51	487
10	\$788 851,32	513
11	\$766 901,29	499
90	\$806 050,32	515
91	\$806 084,92	516
92	\$783 220,95	499
93	\$785 404,84	502
94	\$787 161,41	503
95	\$761 061,90	486
96	\$776 029,28	494
97	\$768 647,02	490
98	\$805 252,28	513
99	\$808 064,67	515
100	\$766 905,93	492
макс	\$819 231,43	524
мин	\$741 883,55	474
среднее значение	\$782 327,91	500

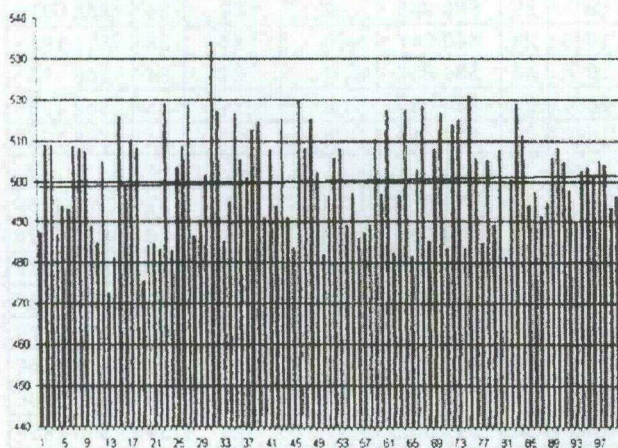


Рис. 2. Гистограмма общей численности студентов и аспирантов иностранцев

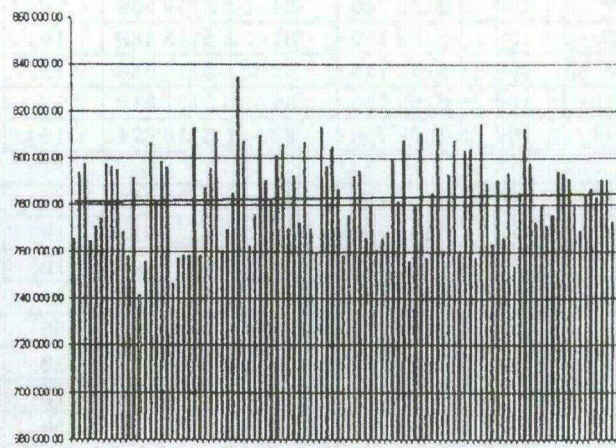


Рис. 3. Гистограмма распределения дохода от обучения студентов и аспирантов-иностранцев

По данным сводной таблицы рассчитаем интервал для математического ожидания общей численности студентов-иностранцев: $MX \in (498; 502)$. На основании полученных данных построим гистограмму и линейный тренд, который на графике (рис. 2) будет отображать диапазон математического ожидания численности студентов и гистограмму (рис.3) распределения дохода в зависимости от изменений $\lambda_{i,i+1}$, β и γ .

Таким образом, все ограничения, поставленные в задаче, учтены, получены оптимальные значения для каждого параметра задачи. На этом первый этап исследования поведения модели при различных значениях $\lambda_{i,i+1}$, β и γ можно считать завершенным.

Второй этап исследования поведения модели заключается в эмпирическом выявлении фактического закона рас-

пределения для вероятностных величин $\lambda_{i,i+1}$, β и γ .

На *третьем этапе* необходимо по числовым характеристикам гипотетических и фактических значений вероятностных коэффициентов $\lambda_{i,i+1}$, β и γ проверить гипотезу H_0 , и если нулевая гипотеза принимается, то для перспективного планирования получения дохода вузом в процессе обучения иностранных студентов и аспирантов можно использовать имитационную модель, построенную на первом этапе исследования. Если нулевая гипотеза отвергается, то необходимо провести генерирование случайных величин $\lambda_{i,i+1}$, β и γ по закону распределения, найденному на втором этапе исследования, и, исходя из полученных данных, проводить перспективное планирование получения дохода.

10.09.2009