

УДК 550.832

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧЕ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ ПАРТИЙ
ПО ОБЪЕКТАМ**

**SIMULATION IN THE PROBLEM OF THE DISTRIBUTION
OF SEISMIC CREWS ON OBJECTS**

Шамшович Е. А., Фаткуллин Н. Ю., Шамшович В. Ф.

**ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной
технический университет», г. Уфа Российская Федерация**

E. O. Shamshovich, N. Y. Fatkullin, V. F. Shamshovich

**FSBEI NPE “Ufa State Petroleum Technological University”,
Ufa, the Russian Federation**

e-mail: nick_idpo@mail.ru, shamshovich@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена имитационная реализация целочисленной модели оптимизации в задаче о распределении сейсморазведочных партий по объектам. Особенность данной модели заключается в том, что имитация установленных статистически вероятностных распределений параметров, носящих случайный характер, позволяет формировать с определенной точностью прогноз как загрузки мощностей сейсморазведочных партий, так и предполагаемое время на обработку объектов и перемещений между ними.

В работе количество сейсморазведочных партий и объектов сейсморазведки принимается фиксированными величинами, а элементы транспортной системы объектов моделируются по заданному закону распределения случайных величин. Иными словами, рассматривается модель распределения по объектам, распределенным в узлах

сгенерированной транспортной сети. В то же время, в общем случае закон распределения должен определяться по результатам проверки статистических гипотез на основании ретроспективных данных.

В данных исследованиях была принята гипотеза о равномерном (равновероятном) законе распределения, как варианте когда ни одна из величин транспортной сети (величина дуги) не может считаться более вероятной, чем другая из некоторого фиксированного диапазона. Кроме того, временные ограничения также приняты случайными величинами, что имитирует ограниченность работы сейсморазведочных партий по объектам, исходя из сезонных ограничений региона.

Abstract. In article imitating realization of integer model of optimization in a task about distribution of seism prospecting parties of objects is considered. Feature of this model is that imitation of the established statistically probabilistic distributions of the parameters having casual character allows forming with certain accuracy the forecast as loadings of capacities of seism prospecting parties, and estimated time for processing of objects and movements between them.

In work the number of seism prospecting parties and objects of seismic exploration is accepted by fixed values, and elements of transport system of objects are modelled under the set law of distribution of random variables. In other words, the distribution model on the objects distributed in knots of the generated transport network is considered. At the same time, generally the law of distribution has to be determined by results of check of statistical hypotheses on the basis of retrospective data.

In these researches the hypothesis of the uniform (equiprobable) law of distribution as option when any of sizes of a transport network (arch size) can't be considered as more probable, than other of some fixed range was accepted. Besides, temporary restrictions are also accepted by random variables that imitates limitation of work of seism prospecting parties on objects, proceeding from seasonal restrictions of the region.

Ключевые слова: оптимизация, критерий оптимизации, задача распределения, целочисленное программирование, метод Монте-Карло.

Key words: optimization, criterion of optimization, problem of distribution, integer programming, Monte-Carlo method.

С учетом случайного характера присущего объектам сейсморазведки - объемы работ, сложности их проведения, протяженности элементов транспортной системы, в течение года [2,4] представляется рациональным при анализе распределения сейсморазведочных партий (СРП) использовать метод имитационного моделирования - метод Монте-Карло [5], который позволяет построить экономико-математическую модель распределения СРП по объектам, находящимся в узлах существующей транспортной системы с неопределенными значениями параметров, т.е. учесть элемент случайности. Метод Монте-Карло заключается, в данном случае, в численной реализации разворачивающегося во времени процесса функционирования СРП, отражающегося в виде значений целевой функции по данной модели, и накопления статистической информации для последующего анализа [3,6].

Одна из главных задач при использовании метода Монте-Карло состоит в определении закона распределения случайных величин, входящих в набор параметров экономико-математической модели. Как правило, основой для определения его вида (нормальный, равномерный и т.д.) служит ретроспективная информация.

В статической постановке рассматривается модель целочисленного программирования

$$\sum_i \sum_j \delta_{ij} \cdot \left(F_{ij} + \sum_{\ell}^{L_j} \sum_k^{K_j} \bar{\delta}_{\ell k} \cdot R_{\ell k} \right) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$T_j \in \{T_{j\min}, \dots, T_{j\max}\} \quad (2)$$

$$\sum_i \delta_{ij} = K, \quad (3)$$

$$\sum_i F_{ij} \leq T_j, i = 1, \dots, K \quad (4)$$

$$\sum_{\ell}^{L_j} \bar{\delta}_{\ell k} = 1, k = 1, \dots, K_j, \quad (5)$$

$$\sum_k^{K_j} \bar{\delta}_{\ell k} = 1, \ell = 1, \dots, L_j, \quad (6)$$

$$\lambda_{\ell} - \lambda_k + K_j \cdot R_{\ell k} \leq K_j - 1 \quad (7)$$

$$\sum_j K_j = K, \quad (8)$$

$$\lambda_{\ell} \in \mathfrak{R}, \ell = 1, \dots, L_j, \quad (9)$$

где F_{ij} – время, необходимое на обработку i – го объекта j –й СРП;

$R_{\ell k}$ – время, необходимое на перемещение СРП от ℓ – го объекта к k – му;

δ_{ij} – булева переменная;

$\delta_{ij} = 1$, если i –й объект обрабатывается j –й СРП;

$\delta_{ij} = 0$, если i –й объект не обрабатывается j –й СРП;

$\bar{\delta}_{\ell k}$ – булева переменная;

$\bar{\delta}_{\ell k} = 1$, если при перемещении СРП выбрана дуга транспортной сети от ℓ – го объекта к k – му;

$\bar{\delta}_{\ell k} = 0$, если при перемещении СРП не выбрана дуга транспортной сети от ℓ – го объекта к k – му;

T_j – временное ограничение на работу j –й СРП;

$T_{j\min}$ – минимально возможное временное ограничение на работу j –й СРП;

$T_{j\max}$ – максимально возможное временное ограничение на работу j –й СРП.

Блок-схема экономико-математической модели (1)-(9) распределения СРП по объектам, находящимся в узлах существующей транспортной системы, на основе метода Монте-Карло представлена на рисунке 1.

В данном случае количество СРП и объектов сейсморазведки принимается фиксированными величинами, а элементы транспортной системы объектов моделируются по заданному закону распределения случайных величин. Иными словами, рассматривается модель распределения по объектам, распределенным в узлах сгенерированной транспортной сети. В общем случае закон распределения должен определяться по результатам проверки статистических гипотез на основании ретроспективных данных.

На рисунках 1-2 представлена визуализация имитационного моделирования загрузки СРП при распределении по объектам, расположенных в узлах генерируемой транспортной сети. В приведенном далее примере была принята гипотеза о равномерном (равновероятном) законе распределения, как варианте когда ни одна из величин транспортной сети (величина дуги) не может считаться более вероятной, чем другая из некоторого фиксированного диапазона. Кроме того, временные ограничения также приняты случайными величинами, что имитирует ограниченность работы СРП по объектам, исходя из сезонных ограничений региона.

Как отмечалось выше, по результатам моделирования полученную информацию (выборку), т.е. данные о возможных значениях целевой функции, подвергают статистической обработке для дальнейших выводов и выработке соответствующих рекомендаций.

В таблице 1 приведены исходные данные мощностей 9 СРП по 13 объектам сейсморазведки.

В таблицах 2 и 3 приведены статистические оценки (математическое ожидание, дисперсия, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации) загрузок и перемещений СРП между объектами генерируемой транспортной сети по результатам имитационного моделирования по блок-схеме 1.

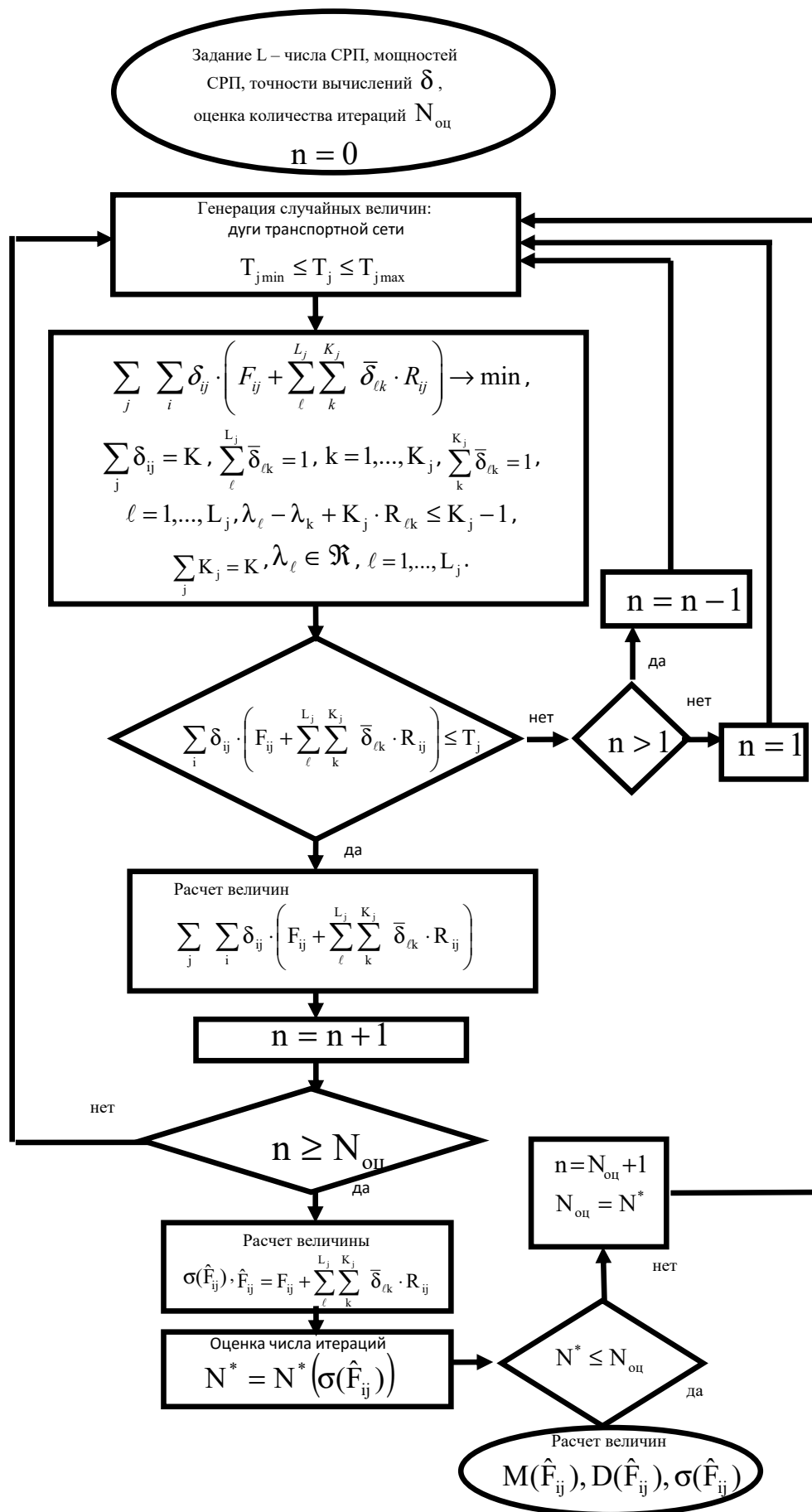


Рисунок 1. Блок-схема имитационной модели распределения СРП по объектам

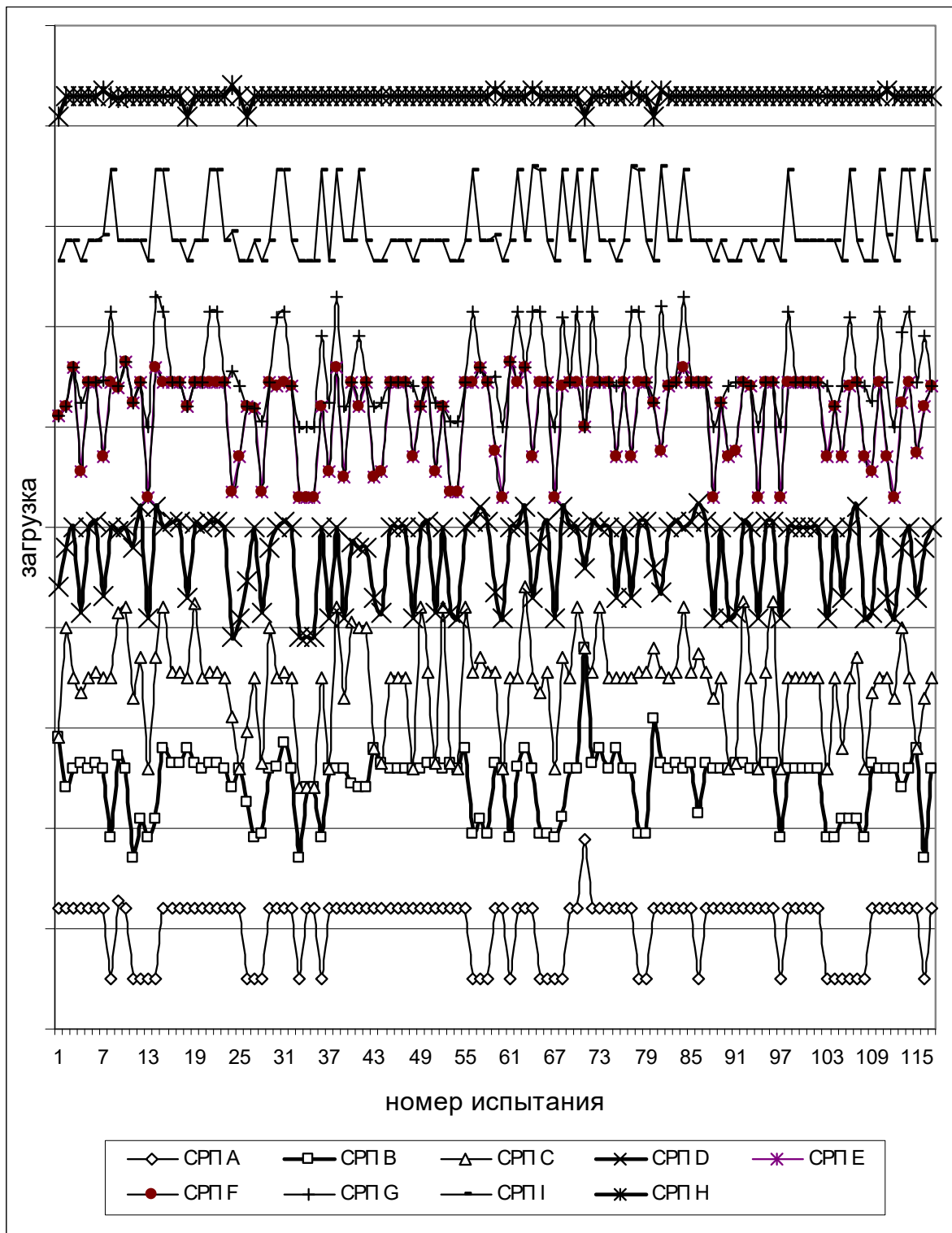


Рисунок 2. Графическое представление фрагмента итогов имитационного моделирования загрузки СРП при распределении по объектам, расположенных в узлах генерируемой транспортной сети

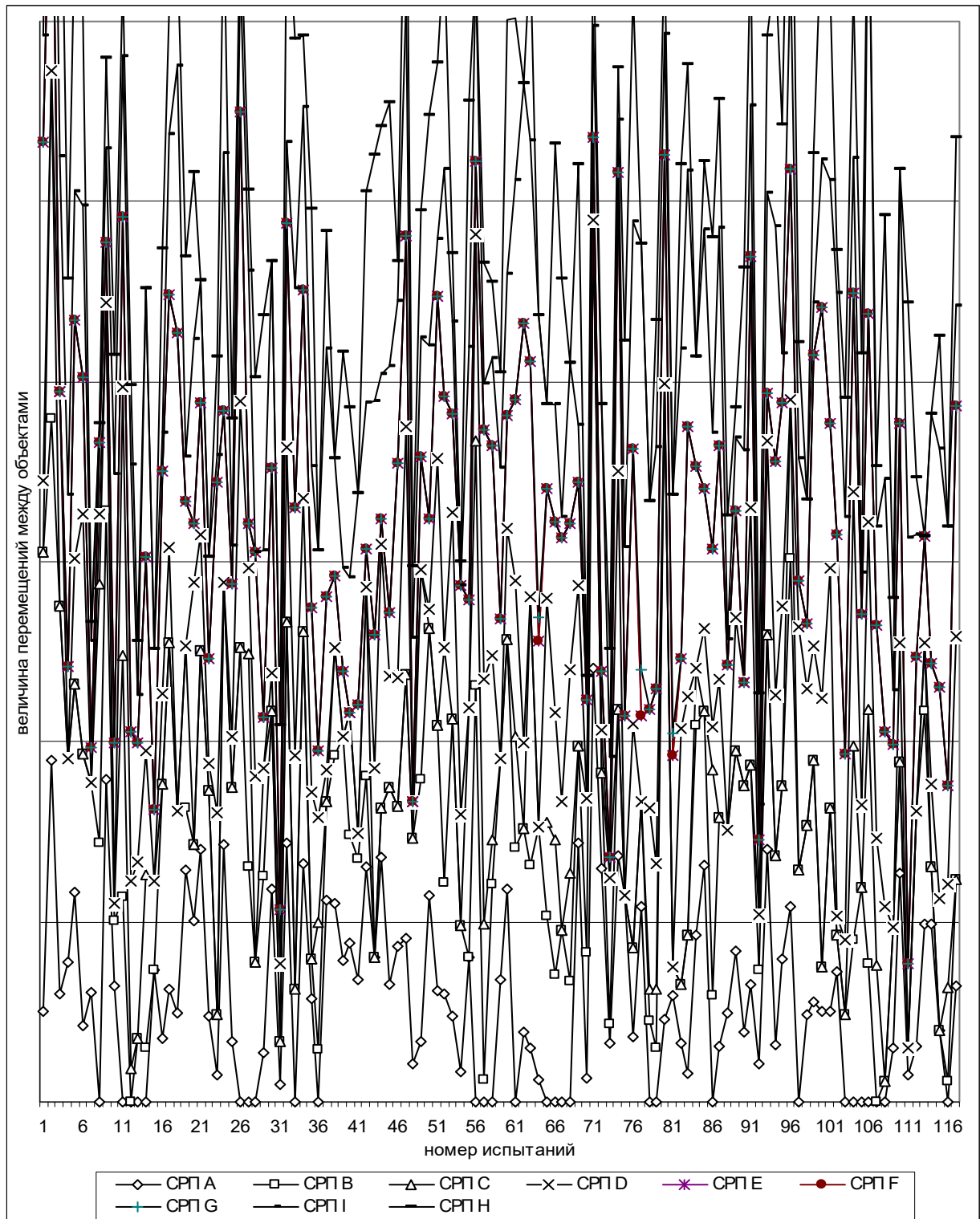


Рисунок 3. Графическое представление фрагмента итогов имитационного моделирования величины перемещений SRП по объектам, расположенных в узлах генерируемой транспортной сети

Таблица 1. Временные затраты СРП при работе на объектах

СРП	Объекты												
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
СРП А	100	150	100	140	130	115	125	130	70	100	50	70	90
СРП В	70	100	50	70	90	75	70	70	90	120	70	90	120
СРП С	90	120	70	90	120	100	90	90	70	90	120	140	180
СРП D	100	80	100	140	140	125	125	130	100	140	180	70	90
СРП E	70	100	50	70	90	75	70	70	70	90	75	90	120
СРП F	90	120	70	90	120	100	90	90	90	120	100	90	75
СРП G	100	110	100	140	120	145	125	130	75	70	70	120	100
СРП I	70	100	50	70	90	75	70	70	100	90	90	180	90
СРП H	90	120	70	90	120	100	90	90	120	70	90	90	75

Таблица 2. Таблица статистических оценок загрузок СРП по результатам имитационного моделирования

Загрузка	M(X)	D(X)	s(X)	V(X)
СРП А	103,32	986,66	31,41	30%
СРП В	143,85	152,14	12,33	9%
СРП С	96,43	2755,88	52,50	54%
СРП D	128,45	1052,49	32,44	25%
СРП E	141,71	174,85	13,22	9%
СРП F	0,00	0,00	0,00	0%
СРП G	38,39	1566,38	39,58	103%
СРП I	144,20	152,94	12,37	9%
СРП H	133,11	1084,17	32,93	25%

Таблица 3. Таблица статистических оценок величин перемещений СРП между объектами по результатам имитационного моделирования

Перемещения	M(X)	D(X)	s(X)	V(X)
СРП А	5,70	26,67	5,16	91%
СРП В	9,31	39,28	6,27	67%
СРП С	2,81	22,09	4,70	167%
СРП D	5,89	26,66	5,16	88%
СРП E	8,95	26,13	5,11	57%
СРП F	0,00	0,00	0,00	0%
СРП G	0,04	0,08	0,29	655%
СРП I	9,09	26,06	5,10	56%
СРП H	6,84	28,11	5,30	77%

Далее проведем анализ полученных данных, используя статистические характеристики распределений загрузки по СРП, применяя алгоритмы теории нечетких множеств в решении задачи оптимизации по нескольким критериям [1,7]. Результаты процедур нормирования и ранжирования, а также значения обобщенного критерия μ_3 сведем в таблицу 3 (рисунок 4).

В качестве анализа результатов расчетов, проведенных для статических и стохастических моделей, произведем сравнение величин обобщенных критериев μ_1 , μ_2 , μ_3 (рисунок 5, таблица 5). Совпадение состава СРП, входящих в подмножества элементов, имеющих наибольшие и наименьшие значения обобщенных критериев, свидетельствует о наличии устойчивых тенденций в процессе загрузки парка СРП, а также об адекватности предложенных моделей и методики дифференцирования СРП по загрузке как с учетом перемещений между объектами, так и без их учета.

Таблица 4. Таблица статистических оценок результатов моделирования

Загрузка	M(X)	D(X)	M(X)норм	D*(X)норм	μ_3
СРП I	144,20	152,94	1,00	0,94	0,97
СРП B	143,85	152,14	1,00	0,94	0,97
СРП E	141,71	174,85	0,98	0,94	0,96
СРП H	133,11	1084,17	0,92	0,61	0,75
СРП D	128,45	1052,49	0,89	0,62	0,74
СРП A	103,32	986,66	0,72	0,64	0,68
СРП G	38,39	1566,38	0,27	0,43	0,34
СРП C	96,43	2755,88	0,67	0,00	0,00
СРП F	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00

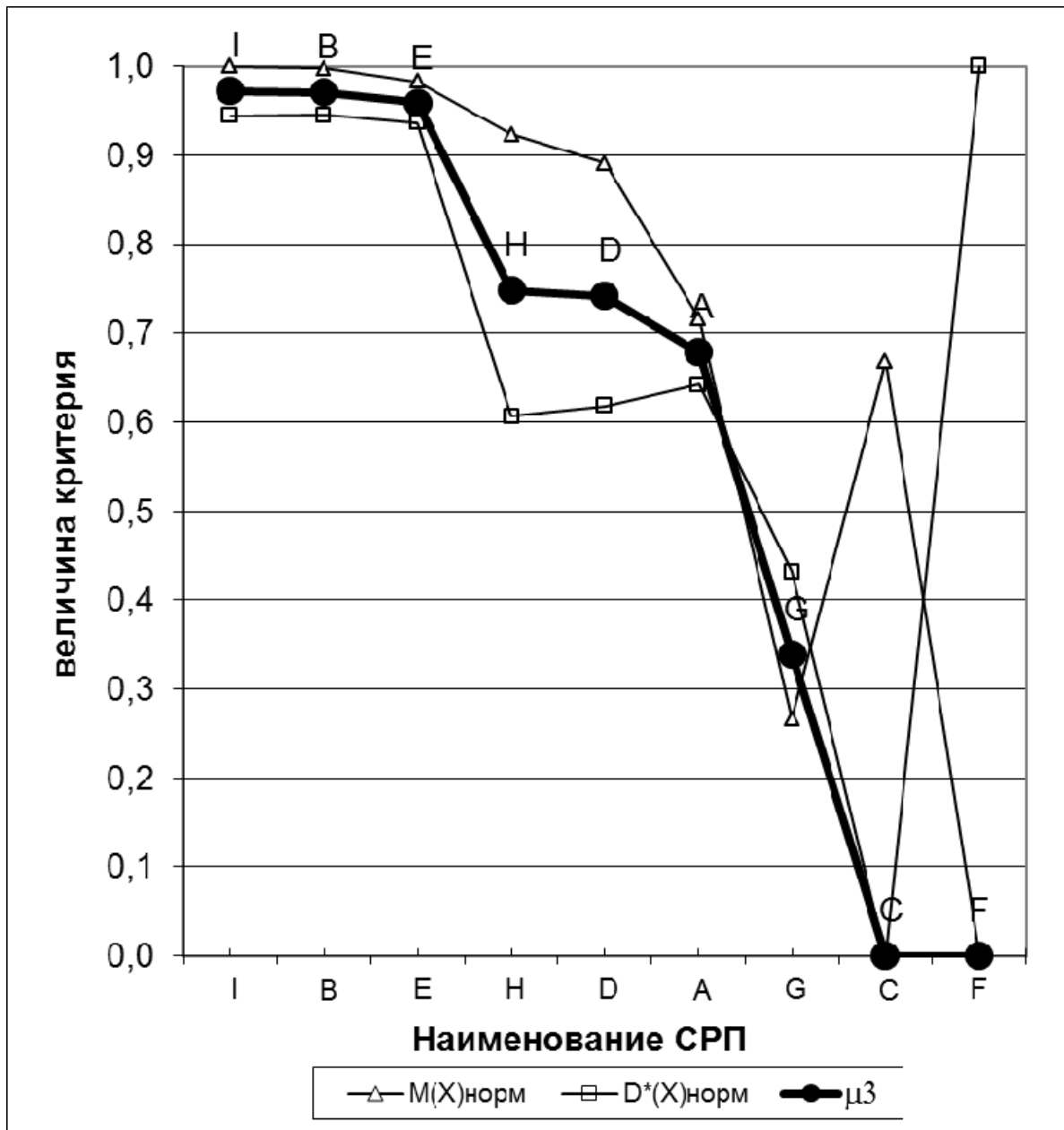


Рисунок 4. Изменение характеристик распределения загрузки по СРП по итогам имитационного моделирования

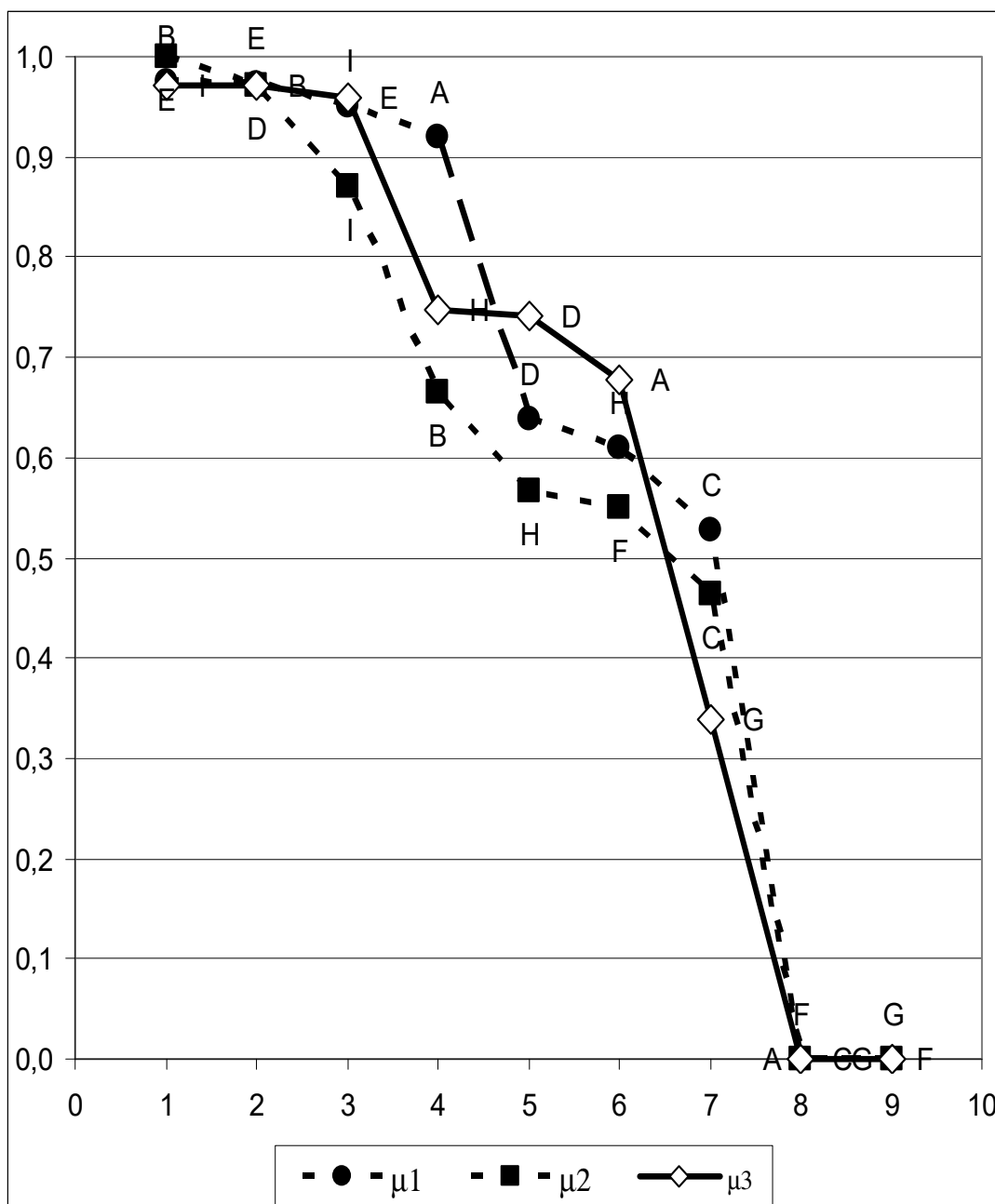


Рисунок 5. Ранжирование СРП по величинам обобщенных критериев в статических и стохастической модели с учетом и без учета перемещений между объектами транспортной сети

Таблица 5. Ранжирование СРП по величине обобщенного критерия μ_1, μ_2, μ_3

Критерий	СРП								
μ_1	B	E	I	A	D	H	C	F	G
μ_2	E	D	I	B	H	F	C	A	G
μ_3	I	B	E	H	D	A	G	C	F

На следующем этапе представляется целесообразным рассмотреть имитационную модель распределения СРП по объектам (рисунок 6) со следующими параметрами, носящими вероятностный характер:

- 1) количество объектов;
- 2) объем сейсморазведочных работ по объектам;
- 3) расположение объектов в узлах транспортной сети;
- 4) сезонное ограничение на работу СРП.

Закон распределения каждой из случайных величин должен определяться по результатам проверки статистических гипотез на основании ретроспективных данных функционирования предприятия.

Выводы

1. Разработанная экономико-математическая имитационная модель позволяет на основе выходных статистических данных сформировать прогноз как по загрузке СРП, так и по затратам времени на их перемещения по объектам генерируемой транспортной сети;

2. Сравнение результатов расчетов по статическим и стохастическим вариантам модели по нескольким критериям установило адекватность полученных расчетных данных в характеристиках работы СРП;

3. Предлагаемый алгоритм многокритериального ранжирования парка СРП позволяет дифференцировать их по степени загрузки, с последующим принятием решения по консервации части их парка.

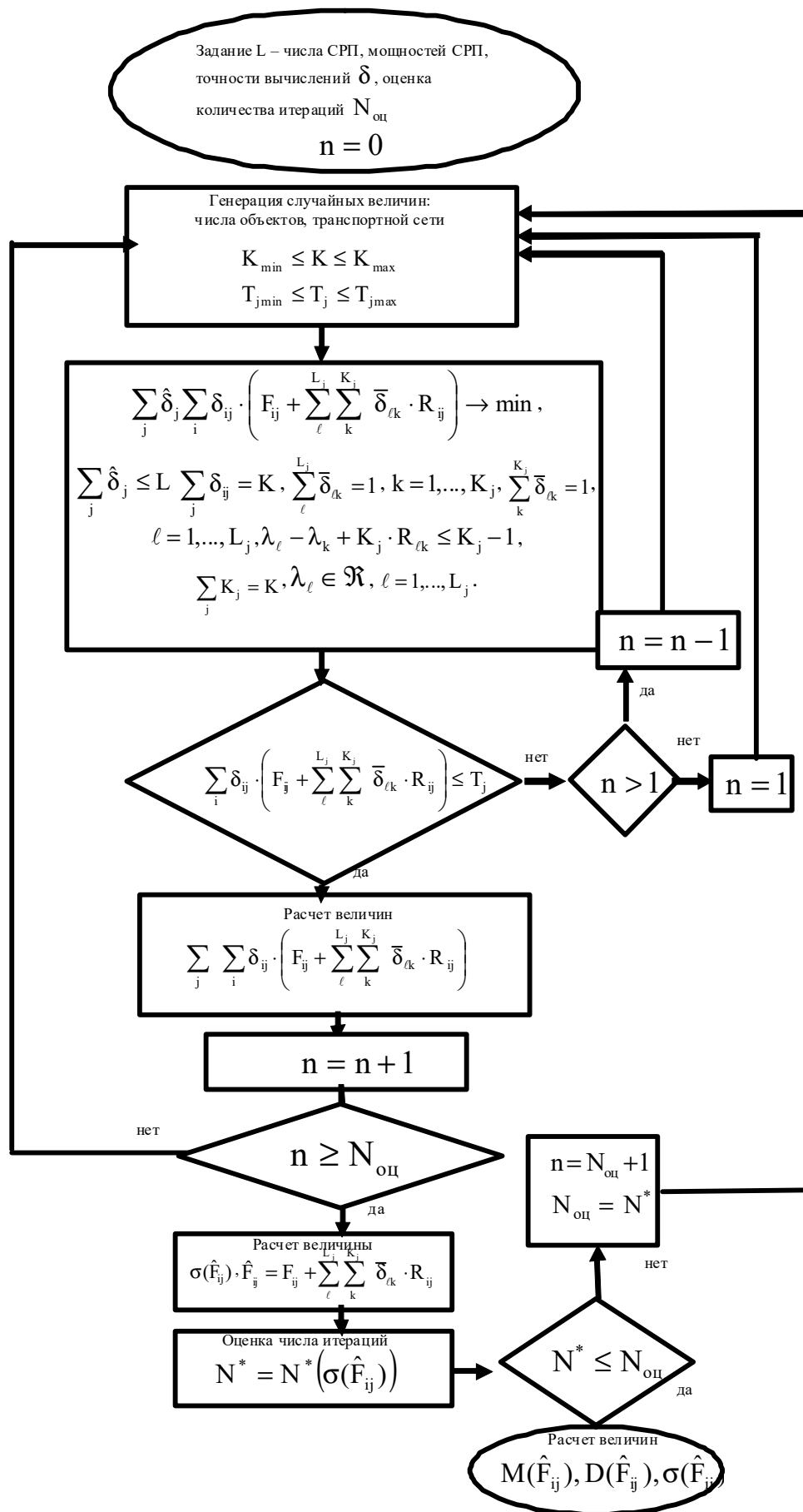


Рисунок 6. Блок-схема имитационной модели распределения СРП по объектам

Список используемых источников

1 Бахтизин Р. Н., Кантор О. Г., Хасанов М. М. Решение многокритериальных экономических задач в нечетких условиях (на примере нефтегазового комплекса) // Проблемы нефтегазового комплекса в условиях становления рыночных отношений: сб. науч. ст. Уфа, 1997. С.42-51.

2 Белошицкий А. В., Карпов В. Г., Фаткуллин Н. Ю. Инструменты оптимизации внутрифирменных планов выполнения сейсморазведочных работ в районах крайнего севера // Инновации в управлении региональным и отраслевым развитием: сб. науч. тр. Тюмень, 2010.

3 Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 2003. 479 с.

4 Карпов В. Г., Белошицкий А. В., Фаткуллин Н. Ю. Инструменты планирования сейсморазведочных работ в регионе // Технологии управления социально-экономическим развитием региона: Материалы II всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. В 3-х частях. Ч. II. Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН, 2009. 296 с.

5 Соболев И. М. Метод Монте-Карло. М.: Наука, 1968. 64 с.

6 Фаткуллин Н. Ю. Реализация метода статистических испытаний при анализе финансирования капитального ремонта магистральных нефтепроводов // Нефть и газ Западной Сибири: материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 40-летию Тюменского государственного нефтегазового университета: сб. статей / Отв. ред. И. М. Ковенский. 2003. С. 157-158.

7 Walker C.L. and Walker E.A. The algebra of fuzzy truth values // Fuzzy Sets and Systems, 2005, 149: 309-347.

References

1 Bahtizin R. N., Kantor O. G., Hasanov M. M. Reshenie mnogokriterial'nyh ekonomicheskikh zadach v nechetkikh usloviyah (na primere neftegazovogo kompleksa): sb. nauch. st. // Problemy neftegazovogo kompleksa v usloviyah stanovleniya rynochnykh otnoshenii. Ufa, 1997. S.42-51. [in Russian].

2 Beloshickii A. V., Karpov V. G., Fatkullin N. Yu. Instrumenty optimizatsii vnutrifirmennykh planov vypolneniya seismorazvedochnykh работ v raionah krainego severa // Innovatsii v upravlenii regional'nym i otraslevym razvitiem: sb. nauch. tr. Tyumen', 2010. [in Russian].

3 Gmurman V. E. Teoriya veroyatnostei i matematicheskaya statistika. M.: Vysshaya shkola, 2003. 479 s. [in Russian].

4 Karpov V. G., Beloshickii A. V., Fatkullin N. Yu. Instrumenty planirovaniya seismorazvedochnykh работ v regione // Tehnologii upravleniya social'no-ekonomicheskim razvitiem regiona. Materialy II vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. V 3-h chastyah. Ch. II. Ufa: ISEI UNC RAN, 2009. 296 s. [in Russian].

5 Sobol' I. M. Metod Monte-Karlo. M.: Nauka, 1968. 64 s. [in Russian].

6 Fatkullin N. Yu. Realizatsiya metoda statisticheskikh ispytaniy pri analize finansirovaniya kapital'nogo remonta magistral'nykh nefteprovodov : sb. // Neft' i gaz Zapadnoi Sibiri materialy Mezhdunar. nauch.-tehn. konf., posvyashennoi 40-letiyu Tyumenskogo gosudarstvennogo neftegazovogo universiteta / Otvet. red. I. M. Kovenskii. 2003. S. 157-158. [in Russian].

7 Walker C.L. and Walker E. A. The algebra of fuzzy truth values // Fuzzy Sets and Systems, 2005, 149: 309-347.

Сведения об авторах

About the authors

Шамшович Е. О., студент гр. БСТ-15-01 ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа,
Российская Федерация

E. O. Shamshovich, Student gr. BST-15-01 FSBEI HPE USPTU, Ufa,
the Russian Federation

Фаткуллин Н. Ю. доцент, канд. экон. наук, заведующий кафедрой
математики ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

N. Y. Fatkullin, Associate Professor, Candidate of Economic Sciences, Head
of the Chair "Mathematics" FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: nick_idpo@mail.ru

Шамшович В. Ф., канд. экон. наук, доцент кафедры математики ФГБОУ
ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

V. F. Shamshovich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
of the Chair "Mathematics" FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: shamshovich@mail.ru