

## Раздел 2. «Информационно-коммуникационные технологии»

МРНТИ 50.01.75

У.У. Умбетов, В.В. Яворский, А.О. Чванова

<sup>1</sup>*Карагандинский индустриальный университет, г.Темуртау, Казахстан  
(E-mail.ru: [uumbetov@mail.ru](mailto:uumbetov@mail.ru))*

### Принятие решений для гибких технологических процессов с использованием информационно-аналитических систем

Работа посвящена изучению вопроса принятия решений в условиях гибких производственных систем. Основной целью принятия решений в ГПС является оптимизация производственных процессов с учетом ограничений и достижение поставленных целей, таких как повышение эффективности, снижение затрат, сокращение времени производства и повышение качества продукции. Развитие и организация транспортных потоков в гибких производственных системах являются сложной комплексной задачей. Предлагается организация информационно-аналитической системы, которая позволяет прогнозировать и оптимизировать объемы транспортных потоков между узловыми точками заданной транспортной сети, решать задачи маршрутизации транспортных потоков, эффективно распределять материальные ресурсы для обеспечения обслуживания транспортных потоков. В результате была сформулирована смысловая постановка и разработан алгоритм моделирования параметрического анализа решений для транспортной задачи ГПС. На основе метода расширения и моделирования нестационарных параметров был предложен алгоритм решения транспортной задачи с дополнительными условиями при воздействии случайных возмущений. Кроме того, была разработана общая структура информационно-аналитической системы принятия решений в ГПС для железнодорожного транспорта.

*Ключевые слова:* моделирование, гибкие производственные системы, случайные величины, алгоритмы, принятие решений

#### Введение

Гибкие производственные системы (ГПС), которые в настоящее время широко внедряются в различные производства, кардинально повышают производительность труда и объемы производства продукции, расширяют ее номенклатуру за счет сокращения времени обновления моделей машин и механизмов. Высокая степень автоматизации в ГПС сокращает количество рабочих, занятых в производстве, и улучшает условия труда. ГПС включает основное и вспомогательное технологическое оборудование, автоматизированные транспортно-накопительные системы, робототехнологические комплексы, средства вычислительной техники [1].

Организация и управление транспортными потоками ГПС, представляет собой сложную комплексную проблему. По мере возрастания сложности транспортных сетей, которое сопровождается возрастанием роли проблем обеспечения их надежности, растет интерес к ним как к объекту исследования. Проблемы совершенствования системы управления ГПС, методов подготовки и принятия решений, формирование целей и критериев, сбора и обработки информации для транспортных систем чрезвычайно сложны. Особое значение приобретает совершенствование системы управления на базе экономико-математических методов, имитационного моделирования и системного анализа. Исследуемая система может одновременно содержать элементы непрерывного и дискретного характера, быть подверженной влиянию многочисленных случайных факторов и описываться весьма громоздкими соотношениями.

## **Раздел 2. «Информационно-коммуникационные технологии»**

### *Материалы и методы*

Транспортная система ГПС представляет собой совокупность транспортных средств, коммуникационной среды, загрузочных и разгрузочных пунктов, подразделения анализа, планирования и управления процессами доставки объектов транспортировки. Одно из важных условий оптимальной эксплуатации транспортной системы заключается в эффективном регулировании транспортных потоков.

В данной работе рассматриваются вопросы анализа транспортных систем с применением метода имитационного моделирования ГПС. Можно отметить общие характерные компоненты имитационного подхода, такие как структура системы, модель и правила имитации. Если же рассматривать каждую задачу отдельно, то предлагается исследование различных типов моделей (линейная, нелинейная, дискретная, динамическая и т.д.) в зависимости от специфики задачи или же наличие одной модели и возможность изучения реакции системы или ее участников при изменении целевой функции, условий ограничений или параметров системы, носящих случайный характер.

Сформулируем основные задачи предлагаемой информационно-аналитической системы принятия решений в ГПС [ 2]:

- 1) выполнение прогнозных расчетов по объемам транспортных потоков между узловыми точками заданной транспортной сети;
- 2) решение задач маршрутизации транспортных потоков;
- 3) оптимизация транспортных потоков;
- 4) распределение материальных ресурсов для обеспечения процессов обслуживания транспортных потоков;
- 5) моделирование случайных факторов для параметрического анализа решений транспортных задач;
- 6) анализ полученных решений и корректировка исходных параметров транспортных задач ГПС.

Для реализации указанных задач разработана Информационно-аналитической системы принятия решений (ИНАПР) в ГПС, структура которой приведена на рисунке 1.

Блок “Решение транспортных задач” предназначен для решения задачи оптимизации транспортных потоков в виде различных детерминированных транспортных задач: ТЗ с нарушенным балансом, ТЗ с промежуточными пунктами, сетевых транспортных задач, ТЗ по критерию времени. Для решения транспортных задач с нарушенным балансом используются методы линейного программирования, метод потенциалов [3]. Сетевая транспортная задача решается методом Дейкстры и Беллмана-Форда путем нахождения кратчайших расстояний и маршрутов между заданными пунктами отправления и потребления [4 ].

Для стохастических задач предусмотрен блок “Моделирование случайных параметров”, в котором реализуются алгоритмы моделирования различных случайных факторов от простого события до случайных процессов и потоков, который рассмотрен ниже более подробно.

## Раздел 2. «Информационно-коммуникационные технологии»

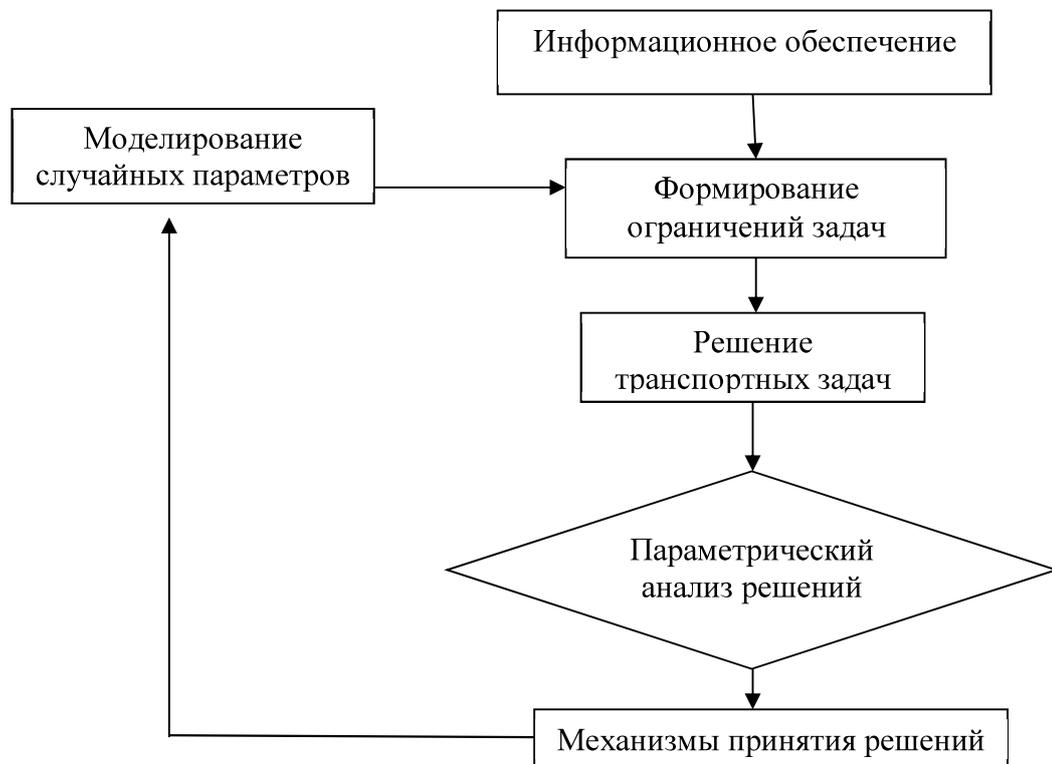


Рисунок 1 – Функциональная структура системы ИНАПР

При построении моделирующего алгоритма (рисунок 2) в качестве блока «Ввод исходных данных» используются параметры случайных величин с заданными законами распределения.

В блоке «Выбор случайных закономерностей» происходит формирование случайных процессов, потоков, событий и величин с заданными законами распределения, имитирующие реальные характеристики перевозочных процессов.

С помощью операторов 4-12 происходит моделирование случайных событий. В зависимости от типа события выбирается один из алгоритмов моделирования случайного события. Моделирование случайных величин предусмотрено в операторах 13-40, а именно операторами 13-31 моделируются непрерывные случайные величины, а операторами 32-40 – дискретные. Моделирование стандартных теоретических распределений осуществляется операторами 22-31 и 35-40. Операторами 41-47 осуществляется имитация случайных процессов, наиболее приближенных к реальным. Операторы 48-56 моделируют случайные потоки событий.

Вывод результатов обеспечивается оператором 58. Результаты могут быть представлены как в графической, так и табличной форме.

Для моделирования Марковских процессов и случайных потоков используется подсистема «Моделирование случайных процессов и потоков», данная подсистема позволит моделировать случайные события, представляющие собой: простейший поток, поток Эрланга, а также неординарный поток событий.

Разработан пакет прикладных программ «Имитация». При загрузке программного пакета на экран дисплея будет выведена форма, предлагающая выбрать режим работы с системой моделирования

## Раздел 2. «Информационно-коммуникационные технологии»

### Результаты и обсуждение

Рассмотрим модель транспортной задачи ГПС с ограничениями по пропускной способности и количеству перевозимой продукции:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = \overline{1, n}, \quad (3)$$

$$\underline{d}_{ij} \leq x_{ij} \leq \overline{d}_{ij}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Применительно к данной задаче, нас может интересовать вопрос о том, в каких пределах можно изменять коэффициенты стоимости  $c_{ij}$ , прежде чем оптимальное решение перестанет быть таковым, и насколько можно изменить коэффициенты, характеризующие запасы пунктов отправления или потребности пунктов потребления, прежде чем решение перестанет быть допустимым.

Также в данной задаче нас может интересовать вопрос о том, в каких пределах можно изменять пропускную способность:

$$1) \quad x_{ij} \leq \overline{d}_{ij} + t, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad t \in [\alpha, \beta], \quad (5)$$

$$2) \quad x_{ij} \leq \overline{d}_{ij} - t, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad t \in [\alpha, \beta], \quad (6)$$

$$3) \quad x_{ij} \geq \underline{d}_{ij} + t, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad t \in [\alpha, \beta], \quad (7)$$

$$4) \quad x_{ij} \geq \underline{d}_{ij} - t, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad t \in [\alpha, \beta], \quad (8)$$

**Раздел 2. «Информационно-коммуникационные технологии»**

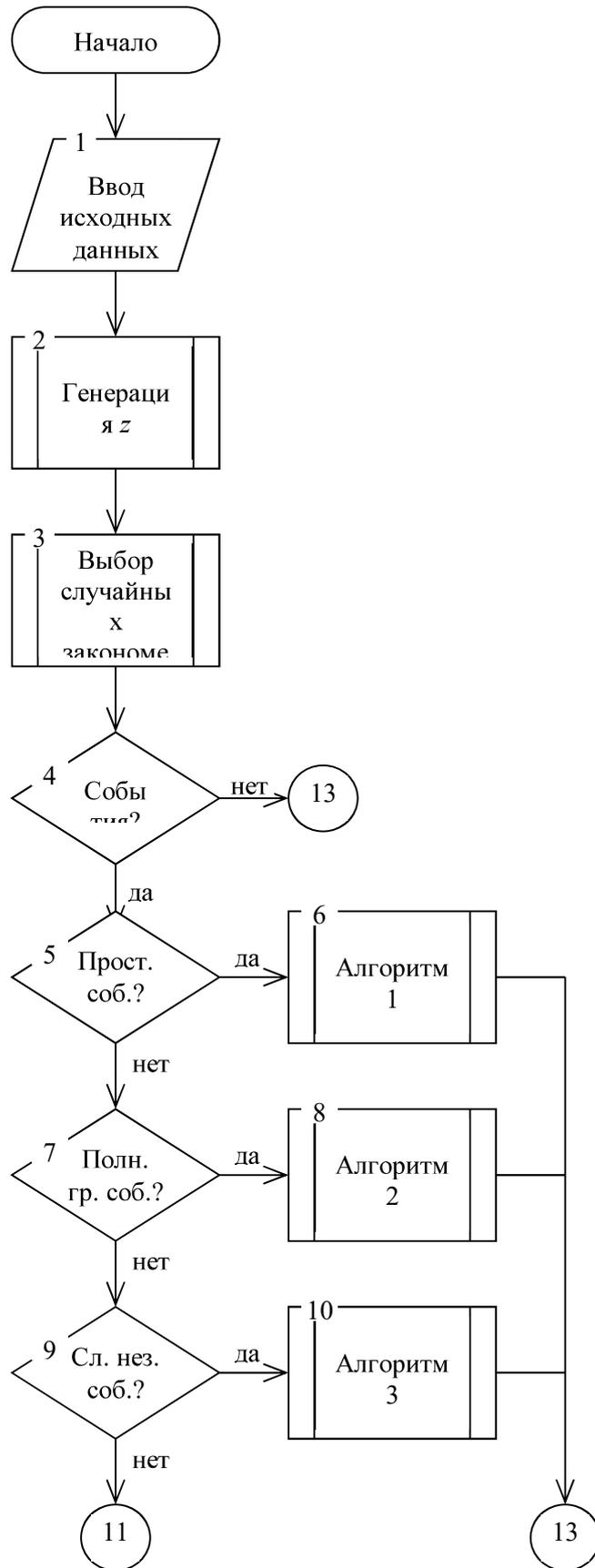


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма моделирования случайных закономерностей, лист 1

**Раздел 2. «Информационно-коммуникационные технологии»**

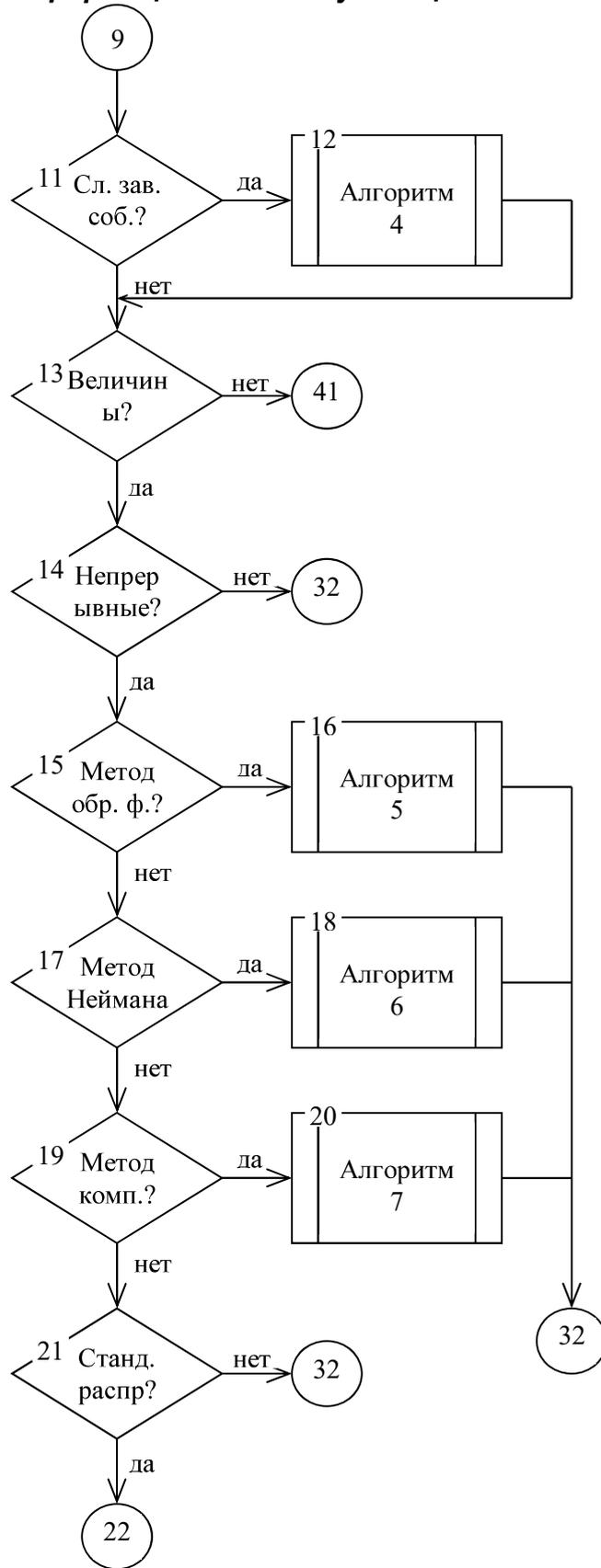


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма моделирования случайных закономерностей, лист 2

**Раздел 2. «Информационно-коммуникационные технологии»**

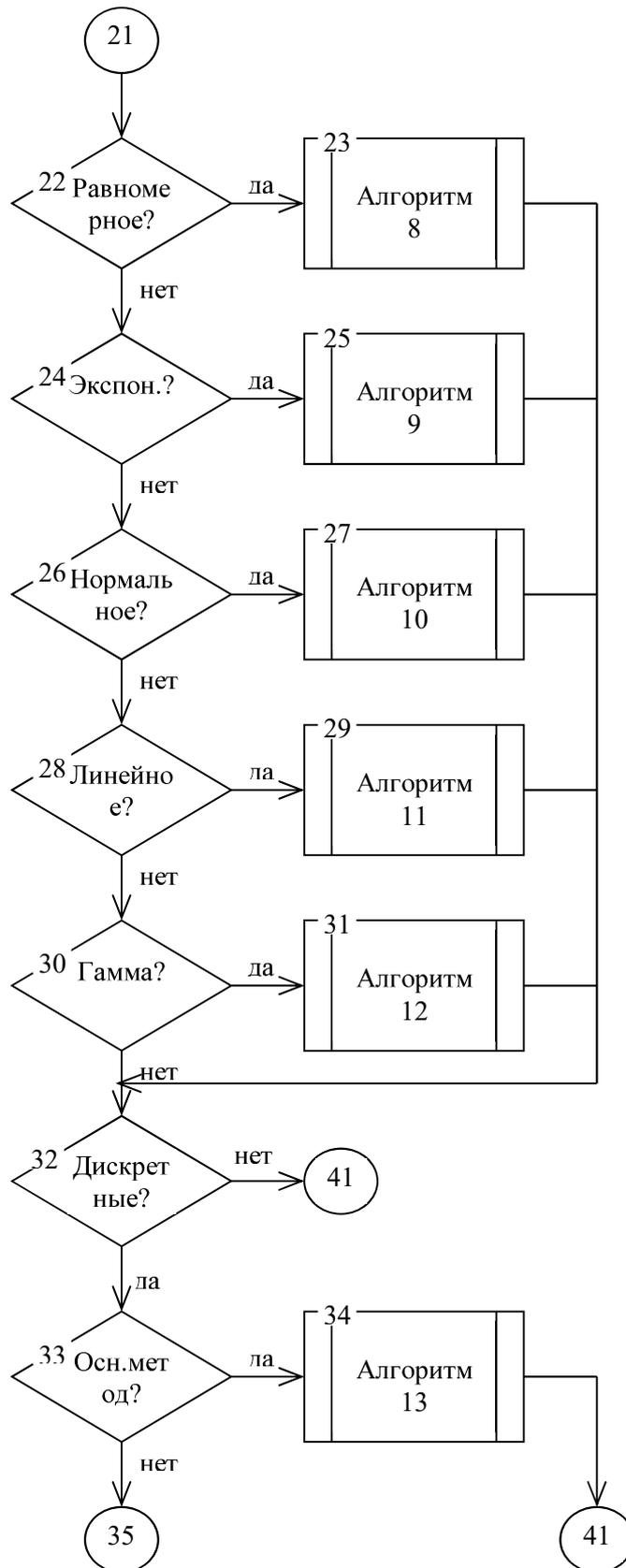


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма моделирования случайных закономерностей, лист 3

**Раздел 2. «Информационно-коммуникационные технологии»**

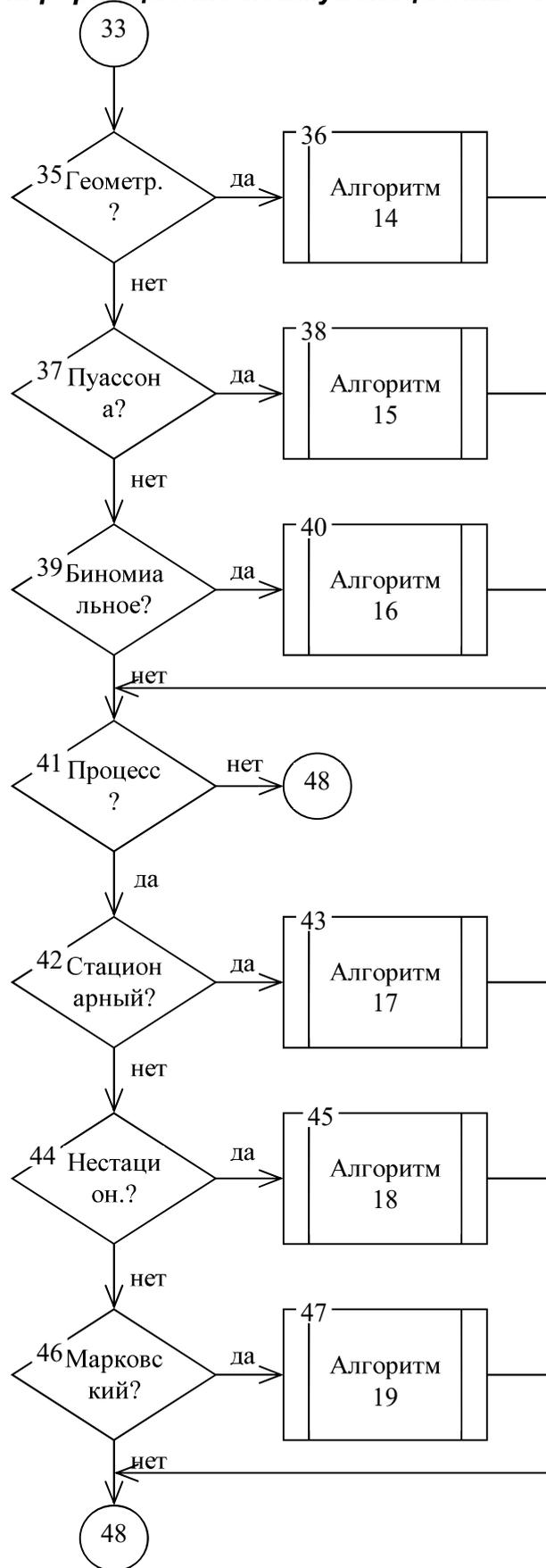


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма моделирования случайных закономерностей, лист 4

**Раздел 2. «Информационно-коммуникационные технологии»**

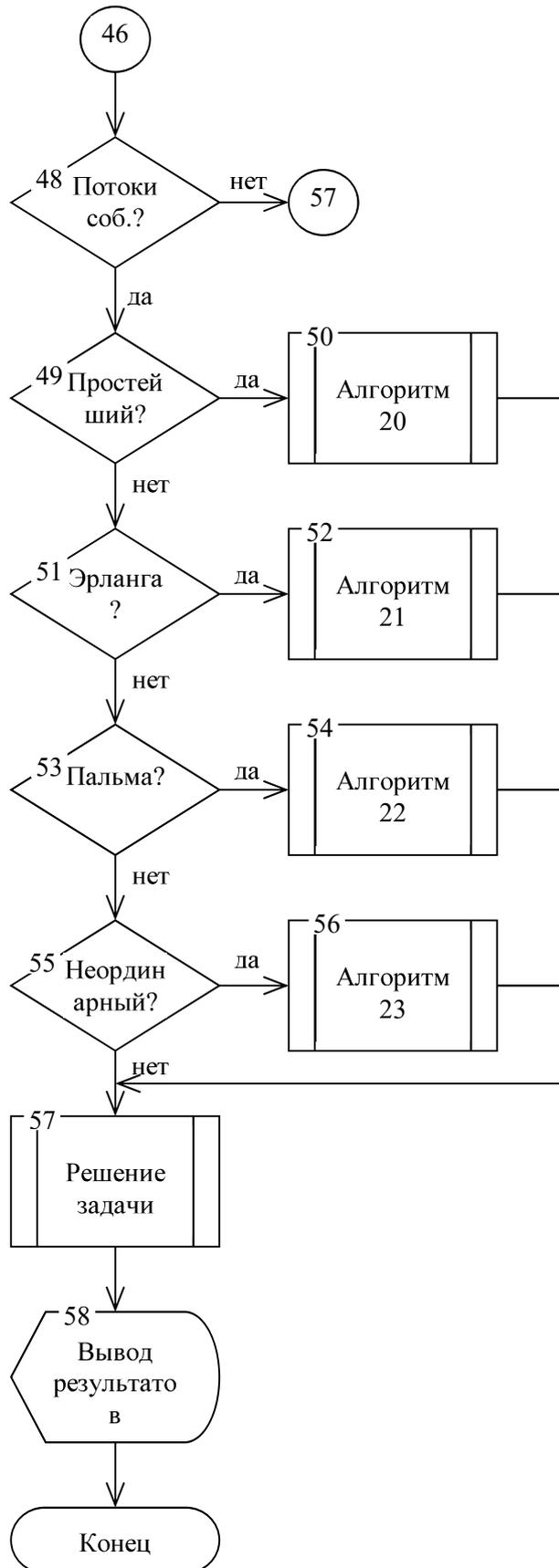


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма моделирования случайных закономерностей, лист 5

## Раздел 2. «Информационно-коммуникационные технологии»

Таким образом, алгоритм параметрического анализа решений транспортной задачи с заданными ограничениями выглядит следующим образом:

Шаг 1. Параметру  $t$  дают фиксированное значение, например  $t = \alpha$ . Решая эту задачу одним из методов, приведенных выше, находят значение, в которой  $z_i$  достигает минимума.

Шаг 2. Определяют интервал изменений параметра  $t$ , для которого минимум  $z_i$  достигается при одном и том же плане  $X$ . Найденный интервал исключают из отрезка  $[\alpha, \beta]$ . Для оставшейся части отрезка снова решают задачу, т.е. переходят к 1 шагу. Решение продолжается до тех пор, пока весь отрезок  $[\alpha, \beta]$  не будет разбит на частичные интервалы.

Исходя из предложенной выше общей структуры решения транспортной задачи и на основе метода расширения множества допустимых значений можно реализовать следующий алгоритм решения исходной задачи (1)-(4), охватывающий наиболее известные теоретические распределения случайных величин: нормальное, равномерное, экспоненциальное, линейное, геометрическое, распределение Пуассона и гамма распределение [5-9].

Шаг 1. Ввод исходных данных для заданных законов распределения параметров  $m, n, a_i, b_j, d_{ij}, c_{ij}$ .

Шаг 2. Выбор закона распределения для  $m$ . Если  $P\{m = k\} = p * (1 - p)^{k-1} = p_k$ , то переход на шаг 3, иначе переход на шаг 5.

Шаг 3. Моделирование  $z$ .

Шаг 4. Вычислить  $m = \ddot{O} \left[ \frac{\ln z}{\ln(1-p)} \right] + 1$ . Переход на шаг 12.

Шаг 5.  $P\{m = k\} = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}$ ,  $n_1 = \lambda/p, j = 1, k = 0$ .

Шаг 6. Моделирование  $z$ .

Шаг 7. Проверить условие  $z \leq p$ . При нарушении этого условия переход на шаг 9.

Шаг 8. Принять  $k = k + 1$ .

Шаг 9. Положить  $j = j + 1$ .

Шаг 10. Проверить условие  $j > n_1$ . При нарушении этого условия переход на шаг 6.

Шаг 11.  $m = k$ .

Шаг 12. Выбор закона распределения для  $n$ . Если  $P\{n = k\} = p * (1 - p)^{k-1} = p_k$ , то переход на шаг 13, иначе переход на шаг 15.

Шаг 13. Моделирование  $z$ .

Шаг 14. Вычислить  $n = \ddot{O} \left[ \frac{\ln z}{\ln(1-p)} \right] + 1$ . Переход на шаг 22.

Шаг 15.  $P\{n = k\} = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}$ ,  $n_1 = \lambda/p, j = 1, k = 0$ .

Шаг 16. Моделирование  $z$ .

Шаг 17. Проверить условие  $z \leq p$ . При нарушении этого условия переход на шаг 19.

Шаг 18. Принять  $k = k + 1$ .

Шаг 19. Положить  $j = j + 1$ .

Шаг 20. Проверить условие  $j > n_1$ . При нарушении этого условия переход на шаг 6.

Шаг 21.  $n = k$ .

Шаг 22. Выбор закона распределения для  $a_i$ . Если  $f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}$ , то переход на шаг

23, иначе на шаг 26.

Шаг 23. Положить  $i = 1$ .

## Раздел 2. «Информационно-коммуникационные технологии»

Шаг 24.  $a_i = m_x + \sigma_x \sum_{l=1}^{12} (z_l - 6)$ ,  $i = i + 1$ .

Шаг 25. Проверить условие  $i > m$ . При нарушении условия возврат на шаг 24.

Шаг 26. Если  $f(x) = \frac{1}{\max - \min}$ ,  $x \in [\min, \max]$ , то переход на шаг 27, иначе на шаг 30.

Шаг 27. Положить  $i = 1$ .

Шаг 28.  $a_i = \min + z(\max - \min)$ ,  $i = i + 1$ .

Шаг 29. Проверить условие  $i > m$ . При нарушении условия возврат на шаг 28.

Шаг 30. Если  $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$ , то переход на шаг 31, иначе на шаг 34.

Шаг 31. Положить  $i = 1$ .

Шаг 32.  $a_i = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - z)$ ,  $i = i + 1$ .

Шаг 33. Проверить условие  $i > m$ . При нарушении условия возврат на шаг 32.

Шаг 34. Если  $f(x) = \lambda \left(1 - \frac{\lambda}{2} x\right)$ , то переход на шаг 35, иначе на шаг 38.

Шаг 35. Положить  $i = 1$ .

Шаг 36.  $a_i = \frac{2}{\lambda} (1 - \sqrt{z})$ ,  $i = i + 1$ .

Шаг 37. Проверить условие  $i > m$ . При нарушении условия возврат на шаг 36.

Шаг 38. Если  $f(x) = \frac{\alpha^k}{(k-1)!} x^{(k-1)} e^{-\alpha x}$ , то переход на шаг 39, иначе на шаг 42.

Шаг 39. Положить  $i = 1$ .

Шаг 40.  $a_i = -\frac{1}{\alpha} \ln(z_1 * z_2 * \dots * z_k)$ ,  $i = i + 1$ .

Шаг 41. Проверить условие  $i > m$ . При нарушении условия возврат на шаг 40.

Шаг 42. Шаги 22-41 повторяются только применительно к  $b_j, d_{ij}, c_{ij}$ .

Шаг 43. Для заданных значений  $m, n, a_i, b_j, d_{ij}, c_{ij}$  решение расширенной задачи.

Шаг 44. Проверка полученного решения на допустимость по ограничениям (2) задачи (1)-(4). Если решение допустимо, то оно оптимально. В противном случае, в соответствии с алгоритмом метода расширения, переход к новому решению  $x = x^p + h$  и возврат к шагу 43 [10-15].

### Выводы

Таким образом, сформулирована содержательная постановка и построена алгоритм моделирование параметрического анализа решений транспортной задачи ГПС. На основе метода расширения и методов моделирования нестационарных параметров предложен алгоритм решения транспортной задачи с дополнительными условиями при воздействии случайных возмущений. Разработана общая структура информационно-аналитической системы принятия решений в ГПС.

### Список использованных литератур

- 1 [Электронный ресурс]: <http://promrob.com/napravleniya-deyatelnosti/innovatsionny-e-resheniya/gibkie-proizvodstvenny-e-sistemy/>
- 2 Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – С. 344.
- 3 Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления. – М.: Энергоиздат, 1982. – С. 288.

**Раздел 2. «Информационно-коммуникационные технологии»**

- 4 [Электронный ресурс]: <https://algowiki-project.org/ru>
- 5 Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: Математические основы. – М.: Мир, 1978. – С. 312.
- 6 Лэсдон Л.С. Оптимизация больших систем / пер. с англ. – М.: Наука, 1975. – С. 432.
- 7 Артамонов А.Г., Володин В.М., Авдеев В.Г. Математическое моделирование и оптимизация плазмохимических процессов. – М.: Химия, 1989. – С. 224.
- 8 Умбетов У. Особенность сложных химико-технологических комплексов как объектов управления // Вестн. КазАТК им. М. Тынышпаева. – Алматы, 2007. – № 5. – С. 137–143.
- 9 Володин В.М., Мокрова Н.В. Моделирование декомпозиционного управления многостадийными процессами // Хим. и нефтегазовое машиностроение. – 2007. – № 2. – С. 17–19.
- 10 Zhang J., Chen B., Ye Y. A multi-exchange local search algorithm for the capacitated facility location problem [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: <http://www.optimization-online.org/DBFILE/2003/10/761.pdf>.
- 11 Шукаев Д.Н., Тажибаева А.К. Имитационная модель анализа на чувствительность параметров задачи распределения ресурсов // Математическое моделирование и управление в сложных системах. – М.: МГАПИ, 1999. – С. 66–70.
- 12 Шукаев Д.Н., Кригер Е.В., Тажибаева А.К. Распределение ресурсов в социально-экономических системах в условиях неопределенности // Современные проблемы информатики, управления и создания информационных технологий. – Алматы, 1998. – Ч. I. – С. 212.
- 13 Умбетов У. Иерархическое управление при распределении ресурсов // Наука и образование Южного Казахстана. Серия Процессы и аппараты. – Шымкент, 2006. – № 5 (54). – С. 134–137.
- 14 Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 275 с.
- 15 Shukaev D.N. Optimization of resource allocation processes in parallel structure systems // Presentation of International scientific and technical conference FEIC. International scientific and technical conference «New technologies in Islamic Countries». – Almaty, 1999. – P 185–192.

У.У. Умбетов, В.В. Яворский, А.О. Чванова

**Ақпараттық және аналитикалық жүйелерді пайдалана отырып, икемді технологиялық процестерге шешім қабылдау**

Жұмыс икемді өндірістік жүйелер жағдайында шешім қабылдау мәселесін зерттеуге арналған. GPS-те шешім қабылдаудың негізгі мақсаты шектеулерді ескере отырып, өндірістік процестерді оңтайландыру және тиімділікті арттыру, шығындарды азайту, өндіріс уақытын қысқарту және өнім сапасын арттыру сияқты мақсаттарға қол жеткізу болып табылады. Икемді өндірістік жүйелердегі көлік ағындарын дамыту және ұйымдастыру күрделі кешенді міндет болып табылады. GPS шешім қабылдау процесінде әртүрлі әдістер мен құралдар қолданылады, соның ішінде математикалық модельдеу, оңтайландыру алгоритмдері, сараптамалық жүйелер және шешімдерді қолдау жүйелері. Деректерді талдау, модельдеу және модельдеу негізінде өндірістік параметрлерді реттеу, өндірістік тапсырмаларды жоспарлау, ресурстарды басқару және технологиялық процестер туралы шешімдер қабылданады. Көлік желілерінің күрделілігінің артуымен олардың сенімділігін қамтамасыз етуге байланысты мәселелерді шешудің маңыздылығы артады, бұл осы саланы зерттеуге деген қызығушылықты арттырады. Берілген Көлік желісінің тораптық нүктелері арасындағы көлік ағындарының көлемін болжауға және оңтайландыруға, көлік ағындарын бағыттау мәселелерін шешуге, көлік ағындарына қызмет көрсетуді қамтамасыз ету үшін материалдық ресурстарды тиімді бөлуге мүмкіндік беретін ақпараттық-аналитикалық жүйені ұйымдастыру ұсынылады. Нәтижесінде

## Раздел 2. «Информационно-коммуникационные технологии»

семантикалық тұжырым жасалды және GPS көлік мәселесіне арналған шешімдерді параметрлік талдауды модельдеу алгоритмі жасалды. Стационарлық емес параметрлерді кеңейту және модельдеу әдісі негізінде кездейсоқ бұзылуларға ұшыраған кезде қосымша шарттармен көлік мәселесін шешу алгоритмі ұсынылды. Бұдан басқа, темір жол көлігі үшін МЖӘ-де шешім қабылдаудың ақпараттық-талдамалық жүйесінің жалпы құрылымы әзірленді.

*Кілт сөздер:* модельдеу, икемді өндіріс жүйелері, кездейсоқ шамалар, Алгоритмдер, шешім қабылдау

U.U. Umbetov, V.V. Yavorskij, A.O. Chvanova

### Decision making for flexible technological processes using information and analytical systems

The work is devoted to the study of the issue of decision-making in flexible production systems. The main purpose of decision-making in GPS is to optimize production processes taking into account limitations and achieve set goals, such as increasing efficiency, reducing costs, reducing production time and improving product quality. The development and organization of transport flows in flexible production systems is a complex complex task. Various methods and tools are used in the decision-making process in GPS, including mathematical modeling, optimization algorithms, expert systems and decision support systems. Based on data analysis, modeling and simulation, decisions are made about setting production parameters, planning production tasks, managing resources and technological processes. With the increasing complexity of transport networks, the importance of solving problems related to ensuring their reliability increases, which attracts increasing interest in studying this area. It is proposed to organize an information and analytical system that allows you to predict and optimize the volume of traffic flows between the nodal points of a given transport network, solve the problems of routing traffic flows, efficiently allocate material resources to ensure the maintenance of traffic flows. As a result, a semantic formulation was formulated and an algorithm for modeling parametric analysis of solutions for the GPS transport problem was developed. Based on the method of expansion and modeling of non-stationary parameters, an algorithm for solving the transport problem with additional conditions under the influence of random disturbances was proposed. In addition, the general structure of the information and analytical decision-making system in GPS for railway transport was developed.

*Keywords:* modeling, flexible production systems, random variables, algorithms, decision making

#### References

- 1 Gibkie proizvodstvennyye sistemy. [Electron resource] // URL: <http://promrob.com/napravleniya-deyatel-nosti/innovatsionny-e-resheniya/gibkie-proizvodstvenny-e-sistemy/> (Date of application: 11.06.2023).
- 2 Mesarovich M., Mako D., Takahara I. Teoriya ierarhicheskikh mnogourovnevnyh sistem. – М.: Mir, 1973. –344 p.
- 3 Denisov A.A., Kolesnikov D.N. Teoriya bol'shih sistem upravleniya. – М.: Энергоиздат, 1982. – 288 p.
- 4 Algoritm Bellmana-Forda. [Electron resource] // URL: [https://algowiki-project.org/ru/Алгоритм\\_Беллмана-Форда](https://algowiki-project.org/ru/Алгоритм_Беллмана-Форда) (Date of application: 12.06.2023).
- 5 Mesarovich M., Takahara YA. Obshchaya teoriya sistem: Matematicheskie osnovy. – М.: Mir, 1978. – 312 c.

**Раздел 2. «Информационно-коммуникационные технологии»**

- 6 Lesdon L.S. Optimizaciya bol'shih sistem / per. s angl. – M.: Science, 1975. – p. 432.
- 7 Artamonov A.G., Volodin V.M., Avdeev V.G. Matematicheskoe modelirovanie i optimizaciya plazmohimicheskikh processov. – M.: Chemistry, 1989. – 224 p.
- 8 Umbetov U. Osobennost' slozhnyh himiko-tehnologicheskikh kompleksov kak ob"ektov upravleniya // Vestn. KazATK im. M. Tynyspaeva. – Almaty, 2007. – No 5. – p. 137–143.
- 9 Volodin V.M., Mokrova N.V. Modelirovanie dekompozitsionnogo upravleniya mnogostadijnyimi processami // Him. i neftegazovoe mashinostroenie. – 2007. – No 2. – p. 17–19.
- 10 Zhang J., Chen B., Ye Y. A multi-exchange local search algorithm for the capacitated facility location problem [Electron resource]. // URL: <http://www.optimization-online.org/DBFILE/2003/10/761.pdf>. (Date of application: 12.06.2023).
- 11 SHukaev D.N., Tazhibaeva A.K. Imitacionnaya model' analiza na chuvstvitel'nost' parametrov zadachi raspredeleniya resursov // Matematicheskoe modelirovanie i upravlenie v slozhnyh sistemah. – M.: MGAPI, 1999. – p. 66–70.
- 12 SHukaev D.N., Kriger E.V., Tazhibaeva A.K. Raspredelenie resursov v social'no-ekonomicheskikh sistemah v usloviyah neopredelennosti // Sovremennyye problemy informatiki, upravleniya i sozdaniya informacionnyh tekhnologij. – Almaty, 1998. – Part. I. – p. 212.
- 13 Umbetov U. Ierarhicheskoe upravlenie pri raspredelenii resursov // Nauka i obrazovanie YUzhnogo Kazahstana. Seriya Processy i apparaty. – Snymkent, 2006. – No 5 (54). – p. 134–137.
- 14 Moiseev N.N. Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza. – M.: Science, 1981. – 275 p.
- 15 Shukaev D.N. Optimization of resource allocation processes in parallel structure systems // Presentation of International scientific and technical conference FEIIC. International scientific and technical conference «New technologies in Islamic Countries». – Almaty, 1999. – P 185–192.