

# Логико-вероятностный метод и его практическое использование

И.А.РЯБИНИН

**Аннотация.** Рассмотрено время возникновения логико-вероятностного метода (ЛВМ), история его названия и авторство метода ортогонализации. Изложено начало практического использования ЛВМ сотрудниками лаборатории Логико-вероятностных расчётов Института математики СО АН СССР. Дана дополнительная информация из Интернета о практическом использовании ЛВМ в последние годы. Приведена убедительная иллюстрация факта возникновения ЛВМ из потребностей практики как в нашей стране, так и в США. Высказаны условия замены качественных высказываний количественными (вероятностями) при ортогональной форме конъюнкций. При невозможности преобразовать ФАЛ из ДНФ в ОДНФ прибегают к формуле комбинаторики, то есть к перебору всех состояний на уровне СДНФ.

**Ключевые слова:** Логико-вероятностный метод (ЛВМ), логико-вероятностный анализ (ЛВА), логико-вероятностное исчисление (ЛВИ), логико-вероятностный подход (ЛВП), кратчайший путь успешного функционирования (КПУФ), минимальные сечения отказов (МСО).

В 1963 году возник новый математический метод исследования надежности структурно-сложных систем, названный авторами [1] логико-вероятностным методом (ЛВМ). Вероятно это связано с названием лаборатории «Логико-вероятностных расчетов», образованной в отделении Теоретической кибернетики института академиком Журавлевым Юрием Ивановичем. Заведующим лаборатории ЛВР в то время были Макаров Сергей Васильевич (ученик академика Линника Юрия Владимировича - специалиста по теории вероятностей), затем Мерекин Юрий Владимирович (в то время специалист по счетно-решающим приборам и устройствам). Сотрудники лаборатории ЛВР стали заниматься прикладными практическими задачами типа:

1. Анализ надежности судов.
2. Поиск полезных ископаемых.
3. Построение карты температуры-солёности океанских вод.
4. Анализ надежности и живучести технических механизмов и систем.
5. Прогнозирование поведения объектов разового использования.
6. Конструирование бронезилетов.

Так начиналось практическое использование ЛВМ в начале 60-х годов XX столетия.

Современные возможности логико-вероятностного анализа (ЛВА) на уровне 2010 года изложены мной в статье [2].

В связи с продолжающимся спросом на эту тему приведем дополнительную информацию (Из Интернета) о практическом использовании ЛВМ, ЛВА, ЛВИ.

1. Использование **логико-вероятностных методов** для оценки безопасности и надежности ТЭС как структурно-сложных технических систем [3].
2. Применение автоматизированного структурного **логико-вероятностного моделирования** для проектного расчета надежности систем телемеханики и АСУТП [4].
3. Решение задач оптимизации АСУТП по критерию «надежность-стоимость» с помощью метода **логико-вероятностных вкладов** [5].
4. **Логико-вероятностные модели** угроз информационной безопасности ситуационных центров [6].
5. **Логико-вероятностные методы** применительно к расчетам показателей надежности автомобиля [7].
6. О **логико-вероятностном моделировании** для оценки вероятности вредного воздействия на человека опасных техногенных факторов [8].
7. **Логико-вероятностный аспект** перспективы электронного правосудия [9].
8. Использование имитационно-**логико-вероятностных моделей** для оценки эффективности сложных систем [10].

9. Моделирование безопасности сложных информационно-коммуникационных систем с использованием **логико-вероятностного метода** [11].

10. **Логико-вероятностные методы** прогнозирования и распознавания нарушений динамики финансовых временных рядов [12].

11. **Логико-вероятностный подход** принятия управленческих решений при создании электронных библиотек [13].

12. Совершенствование систем управления строительными организациями с использованием механизма **логико-вероятностного моделирования** процессов управления [14].

13. Количественная оценка риска большепролетных сооружений методом анализа «деревьев событий» и **логико-вероятностного подхода** [15].

14. **Логико-вероятностный анализ** надежности бортовой телеметрической системы космического аппарата [16].

15. Построение математической модели чрезвычайного обстоятельства на объектах пенитенциарной системы посредством **логико-вероятностного исчисления** [17].

16. Алгоритм оценки риска информационной безопасности в системах защиты информации на основе **логико-вероятностного метода** И.А.Рябина [18].

В связи с вопросом о практическом использовании ЛВМ следует сказать, что сам метод возник из потребностей практики как в нашей стране, так и в мире. В монографии [19] рассмотрены «Первые поучительные примеры решения задач надежности структурно-сложных систем логико-вероятностными методами».

Этими примерами были:

1. Задача №35, опубликованная в 1971 году [20].

2. Компьютерная сеть ARPA, опубликованная в 1973 году [21].

В первом случае решалась задача надежности питания потребителей в судовой электроэнергетической системе из трех генераторов, связей между ними, распределительными щитами, т.е. в системе, состоящей из 15 структурных элементов. Функция работоспособности системы (ФРС) содержала 92 кратчайших путей успешного функционирования (КПУФ) при 2322 всех путей. Ортогонализировать функцию алгебры логики (ФАЛ), состоящую из 92 конъюнкций в те годы не удалось, т.е. получить ОДНФ ФРС, но она все же была решена схемно-логическим методом и с помощью функции неработоспособности системы (ФНС), состоящей из 31 минимального сечения отказов (МСО). ОДНФ ФНС содержала 136 конъюнкций. В октябре 2012 года выражение для ОДНФ получено аналитически методом ортогонализации (совместно со Струковым А.В.). В этом варианте ОДНФ ФНС содержала 133 конъюнкции. Выражения для ДНФ и ОДНФ приведены в Приложении. Вероятностные функции (ВФ) задачи выглядят достаточно внушительно [20]:

$$R_c = 18R^7 - 21R^8 + 80R^9 - 339R^{10} + 585R^{11} - 511R^{12} + 243R^{13} - 60R^{14} + 6R^{15}, \quad (1)$$

$$Q_c = 12Q^2 - 13Q^3 - 30Q^4 + 51Q^5 - 12Q^6 + 66Q^7 - 195Q^8 + 100Q^9 + 174Q^{10} - 234Q^{11} + 82Q^{12} + 33Q^{13} - 30Q^{14} + 6Q^{15}. \quad (2)$$

$$\text{При } R=0.995 \quad R_c=0.999701643591; \quad (3)$$

$$Q_c=0.000298346409. \quad (4)$$

Второй пример ARPANET – компьютерная сеть, созданная в 1969 года в США Агентством Министерства обороны США по перспективным исследованиям (DARPA) и явившаяся прообразом глобальной сети Интернет. Это была первая в мире сеть, перешедшая на маршрутизацию пакетов данных.

При анализе надежности структурно-сложной системы (ССС), состоящей из 21 узла и 26 дуг, авторы сначала упростили структуру (за счет последовательно-параллельных цепей). Редуцированная сеть ARPA состояла из 8 структурных элементов. ФРС содержала 24 КПУФ. ОДНФ содержала 53 конъюнкции. Точное значение вероятности безотказной работы двухполюсника «UCLA-CMU»<sup>(1)</sup> (вершины 7-8) при  $R=0.9$  по нашим данным [23] составляет

$$R_c = 0.912913736436, \quad (5)$$

$$\text{а по данным [21] - } R_c = 0.912911. \quad (6)$$

Не имея реальных контактов друг с другом, отечественные и зарубежные ученые вышли на одинаковые математические результаты (логико-вероятностные методы) и решили задачу надежности ССС с помощью одинаковой формализации их функционирования (используя

понятия КПУФ) и последующего перехода от ДНФ к ОДНФ. L.Fratta и U.G.Montanari получили ОДНФ с помощью карт Карно, т.е. без ортогонализации по Мерекину. Следует отметить, что авторы [21] с самого начала использования ЛВМ все вычисления выполняли с помощью ЭВМ, а мы – вручную (из-за отсутствия соответствующей техники). Естественно все понимали, что практическое применение ЛВМ невозможно без его компьютеризации.

Практическое использование ЛВМ, кроме того, возможно только при контрдикторной оппозиции высказываний (Истина-Ложь) и замены качественных препозиций  $(x_i, \bar{x}_i)$  их вероятностями  $(P\{x_i = 1\} = R_i, P\{\bar{x}_i = 0\} = Q_i)$  только при ортогональной форме функции алгебры логики. В случаях невозможности получения ОДНФ для ФРС или ФНС прибегают к **комбинаторной** формуле

$$P\{y(x_1, \dots, x_n) = 1\} = P\{\bigvee_{i=1}^d\} = \sum_i P(\Pi_i) - \sum_i \sum_j P(\Pi_i \wedge \Pi_j) + \sum_i \sum_j \sum_k P(\Pi_i \wedge \Pi_j \wedge \Pi_k) + \dots + (-1)^{d-1} P(\Pi_i \wedge \Pi_j \wedge \Pi_k \wedge \dots \wedge \Pi_d) , \quad (7)$$

где  $\Pi_i$  - КПУФ;  $d$  - число совместных  $\Pi_i$ , знак  $\Sigma$  распространяется на различные значения индексов  $i, j, k$ .

В книге [22] этот метод вычисления вероятности назван «рекуррентным алгоритмом» (или «градиентным» по А.С.Можаеву). При программировании этого алгоритма память ЭВМ хранит информацию лишь  $i$ -го шага, что существенно экономит ресурс машины. В зарубежной научно-технической литературе эта формула называется формулой «включения-выключения» (из-за чередования знаков + и -) или формулой Пуанкаре-Сильвестора.

<sup>(1)</sup> - UCLA- Калифорнийский университет в Лос-Анджелесе,  
 CMU – Университет Карнеги Меллон.

## Заключение

Логико-вероятностные методы позволяют:

- формализовать структурно-сложные системы наиболее компактным способом (по сравнению со словесным изложением);
- учесть логику развития событий (высказываний, предложений);
- рассматривать сами вероятности как вероятности истинности предложений.

Логико-вероятностные методы определения вероятности структурно-сложной системы через другие события, вероятности которых даны, подразумевают последние как статистические. При отсутствии исходных вероятностей ЛВМ позволяют вычислить объективное ранжирование роли каждого элемента системы.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1 – ДНФ ФНС задачи №35 (Из отчета решения задачи на ПК АРБИТР)

| Номера конъюнкций | ФНС              |
|-------------------|------------------|
| 1                 | X"6 X"9          |
| 2                 | X"9 X"13         |
| 3                 | X"6 X"15         |
| 4                 | X"13 X"15        |
| 5                 | X"4 X"9          |
| 6                 | X"9 X"11         |
| 7                 | X"4 X"14         |
| 8                 | X"11 X"14        |
| 9                 | X"4 X"6          |
| 10                | X"6 X"10         |
| 11                | X"4 X"12         |
| 12                | X"10 X"12        |
| 13                | X"3 X"6 X"8      |
| 14                | X"2 X"5 X"9      |
| 15                | X"3 X"4 X"7      |
| 16                | X"1 X"5 X"9      |
| 17                | X"1 X"2 X"3      |
| 18                | X"2 X"3 X"4      |
| 19                | X"1 X"2 X"9      |
| 20                | X"2 X"4 X"7      |
| 21                | X"1 X"3 X"6      |
| 22                | X"1 X"6 X"8      |
| 23                | X"2 X"3 X"5 X"8  |
| 24                | X"3 X"7 X"8 X"13 |
| 25                | X"2 X"5 X"7 X"15 |
| 26                | X"1 X"3 X"5 X"7  |
| 27                | X"3 X"7 X"8 X"11 |
| 28                | X"1 X"5 X"8 X"14 |
| 29                | X"1 X"2 X"7 X"8  |
| 30                | X"2 X"5 X"7 X"10 |
| 31                | X"1 X"5 X"8 X"12 |

В табл.1 обозначение X"i означает инверсию логической переменной ( $\bar{x}_i$ ).

В табл.1 все конъюнкции соединены знаком дизъюнкции ( $\vee$ ).

Таблица 2 – ОДНФ ФНС задачи №35, в которой качественные высказывания заменены количественными (их вероятностями)

| Номера термов | Вероятностные термы |
|---------------|---------------------|
| 1             | Q4 Q9               |
| 2             | P4 Q6 Q9            |
| 3             | Q4 Q6 P9            |
| 4             | Q4 P6 P9 Q13        |
| 5             | P4 P6 Q9 Q12        |
| 6             | Q4 P6 P9 P13 Q14    |
| 7             | P4 P6 Q9 Q11 P12    |
| 8             | P4 Q6 P9 Q10        |

|    |                                     |
|----|-------------------------------------|
| 9  | P4 Q6 P9 P10 Q15                    |
| 10 | P4 P6 P9 Q10 Q13                    |
| 11 | P4 P6 Q9 Q10 P11 P12 Q13            |
| 12 | P4 P6 P9 P10 Q12 Q15                |
| 13 | P4 P6 P9Q10 Q12P13 Q15              |
| 14 | Q4 P6 P9 Q12P13P14Q15               |
| 15 | P4 P6 P9P10Q11P12 Q14               |
| 16 | P4 P6 P9P10Q11Q12 Q14P15            |
| 17 | P4 P6 P9Q10Q11P12P13Q14             |
| 18 | P4 P6 P9Q10Q11Q12P13Q14P15          |
| 19 | P4 Q6 P9P10Q11 Q14P15               |
| 20 | Q1 P4Q5 P6 Q9P10P11P12              |
| 21 | Q1 P4Q5 P6 Q9Q10P11P12P13           |
| 22 | Q1Q2 P4 P5 P6 Q9 P10 P11P12         |
| 23 | Q1Q2 P4P5P6 Q9Q10P11P12P13          |
| 24 | Q1 P4 Q6 Q8P9P10P11 P15             |
| 25 | Q1 P4 Q6 Q8P9P10Q11 P14P15          |
| 26 | Q2 Q4 P6 Q7 P9 P12 P13 P14          |
| 27 | Q2 Q4 P6Q7 P9 Q12P13P14P15          |
| 28 | P1Q2 P4Q5P6 Q9P10P11P12             |
| 29 | P1Q2 P4Q5P6 Q9Q10P11P12P13          |
| 30 | Q1Q2Q3P4 P6 P9P10P11P12             |
| 31 | Q1Q2Q3P4 P6 P9P10Q11P12 P14         |
| 32 | Q1Q2Q3P4 P6 P9P10P11Q12 P15         |
| 33 | Q1Q2Q3P4 P6 P9P10Q11Q12 P14P15      |
| 34 | Q1Q2Q3P4 P6 P9Q10P11P12P13          |
| 35 | Q1Q2Q3P4 P6 P9Q10Q11P12P13P14       |
| 36 | Q1Q2Q3P4 P6 P9Q10P11Q12P13 P15      |
| 37 | Q1Q2Q3P4 P6 P9Q10Q11Q12P13P14P15    |
| 38 | Q1Q2Q3P4 Q6 P8P9P10P11 P15          |
| 39 | Q1Q2Q3P4 Q6 P8P9P10Q11 P14P15       |
| 40 | Q1Q2Q3Q4 P6P7 P9 P12P13P14          |
| 41 | Q1Q2Q3Q4 P6P7 P9 Q12P13P14P15       |
| 42 | P2Q3Q4 P6Q7 P9 P12P13P14            |
| 43 | P2Q3Q4 P6Q7 P9 Q12P13P14P15         |
| 44 | Q1P2Q3P4 Q6 P8P9P10P11 P15          |
| 45 | Q1P2Q3P4 Q6 P8P9P10Q11 P14P15       |
| 46 | P1 Q3P4 Q6 Q8P9P10P11 P15           |
| 47 | P1 Q3P4 Q6 Q8P9P10Q11 P14P15        |
| 48 | P1Q2Q3Q4 P6P7 P9 P12P13P14          |
| 49 | P1Q2Q3Q4 P6P7 P9 Q12P13P14P15       |
| 50 | Q1Q2P3P4 P6Q7Q8P9P10P11P12          |
| 51 | Q1Q2P3P4 P6Q7Q8P9P10Q11P12 P14      |
| 52 | Q1Q2P3P4 P6Q7Q8P9P10P11Q12 P15      |
| 53 | Q1Q2P3P4 P6Q7Q8P9P10Q11Q12 P14P15   |
| 54 | Q1Q2P3P4 P6Q7Q8P9Q10P11P12P13       |
| 55 | Q1Q2P3P4 P6Q7Q8P9Q10Q11P12P13P14    |
| 56 | Q1Q2P3P4 P6Q7Q8P9Q10P11Q12P13 P15   |
| 57 | Q1Q2P3P4 P6Q7Q8P9Q10Q11Q12P13P14P15 |
| 58 | Q1P2Q3P4Q5P6Q7 P9P10P11P12          |
| 59 | Q1P2Q3P4Q5P6Q7 P9P10Q11P12 P14      |
| 60 | Q1P2Q3P4Q5P6Q7 P9P10P11Q12 P15      |
| 61 | Q1P2Q3P4Q5P6Q7 P9P10Q11Q12 P14P15   |
| 62 | Q1P2Q3P4Q5P6Q7 P9Q10P11P12P13       |
| 63 | Q1P2Q3P4Q5P6Q7 P9Q10Q11P12P13P14    |

|     |                                      |
|-----|--------------------------------------|
| 64  | Q1P2Q3P4Q5P6Q7 P9Q10P11Q12P13 P15    |
| 65  | Q1P2Q3P4Q5P6Q7 P9Q10Q11Q12P13P14P15  |
| 66  | Q1P2P3P4Q5P6 Q8P9P10P11P12Q13        |
| 67  | Q1P2Q3P4Q5P6P7Q8P9P10P11P12Q13       |
| 68  | Q1Q2P3P4Q5P6P7Q8P9P10P11P12Q13       |
| 69  | Q1P2P3P4Q5P6 Q8P9P10Q11P12Q13P14     |
| 70  | Q1P2Q3P4Q5P6P7Q8P9P10Q11P12Q13P14    |
| 71  | Q1Q2P3P4Q5P6P7Q8P9P10Q11P12Q13P14    |
| 72  | Q1P2P3P4Q5P6 Q8P9P10P11Q12Q13 P15    |
| 73  | Q1P2Q3P4Q5P6P7Q8P9P10P11Q12Q13 P15   |
| 74  | Q1Q2P3P4Q5P6P7Q8P9P10P11Q12Q13 P15   |
| 75  | Q1P2P3P4Q5P6 Q8P9P10Q11Q12Q13P14P15  |
| 76  | Q1P2Q3P4Q5P6P7Q8P9P10Q11Q12Q13P14P15 |
| 77  | Q1Q2P3P4Q5P6P7Q8P9P10Q11Q12Q13P14P15 |
| 78  | P1Q2Q3P4Q5P6 Q8P9P10P11P12           |
| 79  | P1Q2Q3P4Q5P6 Q8P9P10Q11P12 P14       |
| 80  | P1Q2Q3P4Q5P6 Q8P9P10P11Q12 P15       |
| 81  | P1Q2Q3P4Q5P6 Q8P9P10Q11Q12 P14P15    |
| 82  | P1Q2Q3P4Q5P6 Q8P9Q10P11P12P13        |
| 83  | P1Q2Q3P4Q5P6 Q8P9Q10Q11P12P13P14     |
| 84  | P1Q2Q3P4Q5P6 Q8P9Q10P11Q12P13 P15    |
| 85  | P1Q2Q3P4Q5P6 Q8P9Q10Q11Q12P13P14P15  |
| 86  | Q1P2P3P4Q5P6 Q8P9P10P11P12P13Q14     |
| 87  | Q1P2Q3P4Q5P6P7Q8P9P10P11P12P13Q14    |
| 88  | Q1Q2P3P4Q5P6P7Q8P9P10P11P12P13Q14    |
| 89  | Q1P2P3P4Q5P6 Q8P9P10P11Q12P13Q14P15  |
| 90  | Q1P2Q3P4Q5P6P7Q8P9P10P11Q12P13Q14P15 |
| 91  | Q1Q2P3P4Q5P6P7Q8P9P10P11Q12P13Q14P15 |
| 92  | Q1P2P3P4Q5P6 Q8P9Q10P11P12P13Q14     |
| 93  | Q1P2Q3P4Q5P6P7Q8P9Q10P11P12P13Q14    |
| 94  | Q1Q2P3P4Q5P6P7Q8P9Q10P11P12P13Q14    |
| 95  | Q1P2P3P4Q5P6 Q8P9Q10P11Q12P13Q14P15  |
| 96  | Q1P2Q3P4Q5P6P7Q8P9Q10P11Q12P13Q14P15 |
| 97  | Q1Q2P3P4Q5P6P7Q8P9Q10P11Q12P13Q14P15 |
| 98  | P1Q2P3P4Q5P6Q7 P9Q10P11P12P13        |
| 99  | P1Q2Q3P4Q5P6Q7P8P9Q10P11P12P13       |
| 100 | Q1Q2P3P4Q5P6Q7P8P9Q10P11P12P13       |
| 101 | P1Q2P3P4Q5P6Q7 P9Q10Q11P12P13P14     |
| 102 | P1Q2Q3P4Q5P6Q7P8P9Q10Q11P12P13P14    |
| 103 | Q1Q2P3P4Q5P6Q7P8P9Q10Q11P12P13P14    |
| 104 | P1Q2P3P4Q5P6Q7 P9Q10P11Q12P13 P15    |
| 105 | P1Q2Q3P4Q5P6Q7P8P9Q10P11Q12P13 P15   |
| 106 | Q1Q2P3P4Q5P6Q7P8P9Q10P11Q12P13 P15   |
| 107 | P1Q2P3P4Q5P6Q7 P9Q10Q11Q12P13P14P15  |
| 108 | P1Q2Q3P4Q5P6Q7P8P9Q10Q11Q12P13P14P15 |
| 109 | Q1Q2P3P4Q5P6Q7P8P9Q10Q11Q12P13P14P15 |
| 110 | P1Q2P3P4Q5P6Q7 P9P10P11P12 Q15       |
| 111 | P1Q2Q3P4Q5P6Q7P8P9P10P11P12 Q15      |
| 112 | Q1Q2P3P4Q5P6Q7P8P9P10P11P12 Q15      |
| 113 | P1Q2P3P4Q5P6Q7 P9P10Q11P12 P14Q15    |
| 114 | P1Q2Q3P4Q5P6Q7P8P9P10Q11P12 P14Q15   |
| 115 | Q1Q2P3P4Q5P6Q7P8P9P10Q11P12 P14Q15   |
| 116 | P1P2Q3P4 P6Q7Q8P9P10Q11P12 P14       |
| 117 | P1Q2Q3P4P5P6Q7Q8P9P10Q11P12 P14      |
| 118 | Q1P2Q3P4P5P6Q7Q8P9P10Q11P12 P14      |

|     |                                      |
|-----|--------------------------------------|
| 119 | P1P2Q3P4 P6Q7Q8P9P10Q11Q12 P14P15    |
| 120 | P1Q2Q3P4P5P6Q7Q8P9P10Q11Q12 P14P15   |
| 121 | Q1P2Q3P4P5P6Q7Q8P9P10Q11Q12 P14P15   |
| 122 | P1P2Q3P4 P6Q7Q8P9Q10Q11P12P13P14     |
| 123 | P1Q2Q3P4P5P6Q7Q8P9Q10Q11P12P13P14    |
| 124 | Q1P2Q3P4P5P6Q7Q8P9Q10Q11P12P13P14    |
| 125 | P1P2Q3P4 P6Q7Q8P9Q10Q11Q12P13P14P15  |
| 126 | P1Q2Q3P4P5P6Q7Q8P9Q10Q11Q12P13P14P15 |
| 127 | Q1P2Q3P4P5P6Q7Q8P9Q10Q11Q12P13P14P15 |
| 128 | P1P2Q3P4 P6Q7Q8P9P10P11Q12 P15       |
| 129 | P1Q2Q3P4P5P6Q7Q8P9P10P11Q12 P15      |
| 130 | Q1P2Q3P4P5P6Q7Q8P9P10P11Q12 P15      |
| 131 | P1P2Q3P4 P6Q7Q8P9Q10P11Q12P13 P15    |
| 132 | P1Q2Q3P4P5P6Q7Q8P9Q10P11Q12P13 P15   |
| 133 | Q1P2Q3P4P5P6Q7Q8P9Q10P11Q12P13 P15   |

В табл.2 обозначено:

$P_i$  - вероятность безотказной работы  $i$  –го элемента;

$Q_i$  - вероятность отказа  $i$  –го элемента.

В табл.2 все термы многопараметрической вероятностной функции суммируются арифметически (+).

Проверка правильности полученной ОДНФ происходила с помощью однопараметрического полинома (2) при  $P_i=0.995$ ,  $Q_i=0.005$ . Результаты сложения 133 конъюнкций с абсолютной точностью совпали с вероятностью (4).

## Литература

1. А.Кондрашов, С.В.Макаров, В.А.Осипов, А.В.Филатов. Логико-вероятностный метод расчета надежности судовых энергетических установок // Вычислительные системы. Сборник трудов. Институт математики СО АН СССР. Вып.13. 1964. С. 45-57.
2. Рябинин И.А. Логико-вероятностный метод и его современные возможности // БИОСФЕРА. Международный научный и практический журнал. Том 2.№1. Санкт-Петербург. 2010. С.23-38.
3. В.В.Барановский, Т.Ю.Короткова, М.Ю.Коновалов. Использование логико-вероятностных методов для оценки безопасности и надежности ТЭС как структурно-сложных технических систем: URL: [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=3060](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3060) (Дата обращения 8.10.15).
4. Можаяев А.С., Нозик А.А. Методология проектного расчета надежности систем телемеханики и АСУТП // ТЕРРИТОРИЯ НЕФТЕГАЗ. №5, 2013. С.82.
5. Скворцов М.С. Решение задачи оптимизации надежности с помощью метода логико-вероятностных вкладов// Надежность. №2 (30). 2009. С.15-71.
6. В.А.Шарай, А.К.Малашихин. Логико-вероятностные модели угроз информационной безопасности ситуационных центров // Научные труды КубГТУ, №6. 2014. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/306> (Дата обращения 8.10.15).
7. Макаренко А.В. Логико-вероятностные методы применительно к расчетам показателей надежности автомобиля // Воронежский научно-технический вестник № 1(11) март 2015 г.: С.111-114.
8. И.С. Окраинская, О.В. Номоконова, А.И. Сидоров. О логико-вероятностном моделировании для оценки вероятности вредного воздействия на человека опасных техногенных факторов: URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-1/10-01-12.ttb.pdf> (Дата обращения 8.10.15)
9. Тягло А.В. Логико-вероятностный аспект перспективы электронного правосудия // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Философия. Культурология. Политология. Социология». Том 26 (65). 2013. № 4. С. 361–369.
10. В.Б.Козарь. Использование имитационно-логико-вероятностных моделей для оценки эффективности сложных систем // Вестник Концерна ПВО «Алмаз – Антей» | №2, 2015. С.16-20. URL: [http://www.almaz-antey.ru/InFo-data/item\\_036/file\\_0002067.pdf](http://www.almaz-antey.ru/InFo-data/item_036/file_0002067.pdf) (Дата обращения 8.10.15).

11. А.М. Хныгічева, А.Н. Новіков, А.А. Тимошенко. Моделювання захищеності складних інформаційно-комунікаційних систем із використанням логіко-ймовірнісного методу // Наукові вісті НТУУ "КПІ". 2010/6. С.70-77.: URL: <http://old.bulletin.kpi.ua/files/2010-6-11.pdf> (Дата обращения 8.10.15).
12. Демин А.В. Логико-вероятностные методы прогнозирования и распознавания нарушений динамики финансовых временных рядов // Молодой ученый. — 2013. — №11. — С. 41-46. : URL: <http://www.moluch.ru/archive/58/8132/> (Дата обращения 8.10.15).
13. Петриченко Г.С., Григорян Н.К. Логико-вероятностный подход принятия управленческих решений при создании электронных библиотек // Научный журнал КубГАУ. №69 (05). 2011.
14. Галлиев Р.Ф. Совершенствование систем управления строительных организаций с использованием механизма логико-вероятностного моделирования процессов управления// Диссертация канд.техн. наук «Государственный университет управления», 2007. : URL: [http://www.ceninauku.ru/page\\_23577.htm](http://www.ceninauku.ru/page_23577.htm) (Дата обращения 8.10.15).
15. Тамразян А.Г. Количественная оценка риска большепролетных сооружений методом анализа «деревьев событий» и логико-вероятностного подхода // Московский государственный строительный университет. НТЦ «Риск и безопасность сооружений», 2009. URL: <http://prevdis.ru/kolichestvennaya-otsenka-riska-bolsheproletnyh-sooruzhenij-metodom-analiza-dereva-sobytij-i-logiko-veroyatnostnogo-podhoda> (Дата обращения 8.10.15).
16. Мушовец К.В. Логико-вероятностный анализ надежности бортовой телеметрической системы космического аппарата // Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд.техн.наук. Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф.Решетнева. Красноярск. 2013.
17. Леонтьев П.А., Рыбаков А.П. Петров С.А. Построение математической модели чрезвычайного обстоятельства на объектах пенитенциарной системы посредством логико-вероятностного исчисления // Вестник Воронежского института МВД России. №2. 2012.
18. Финько О.А., Соколовский Е.П. Алгоритм оценки риска информационной безопасности в системах защиты информации на основе логико-вероятностного метода И.А.Рябинина // Известия Южного федерального университета. Выпуск №12 (149). 2013. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-otsenki-riska-informatsionnoy-bezopasnosti-v-sistemah-zaschity-informatsii-na-osnove-logiko-veroyatnostnogo-metoda-i-a> (Дата обращения 8.10.15).
19. Рябинин И.А. Логико-вероятностный анализ проблем надежности и безопасности. // Saarbrücken, Deutschland, Palmarium, Academic Publishing. 2012. 263 p.
20. Рябинин И.А. Основы теории расчета надежности судовых электроэнергетических систем // Л. Судостроение. 1971. 2-е Издание, дополненное и переработанное. 455 с.
21. L.Fratta, U.G.Montanari, " A Boolean Algebra Method for Computing the Terminal Reliability in a Communication Network," *IEEE Trans. Circuit Theory*, vol CT-20, 1973 May, pp 203-211.
22. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем.// Изд-во С.-Петербургского университета. 2007. 276 с.
23. АРБИТР. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности АСУТП на стадии проектирования (ПК АСМ СЗМА). Автор: Можаяев А.С. Правообладатель: АО "СПИК СЗМА". Аттестационный паспорт ПС №222 от 21 февраля 2006 г. Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) РФ. :URL: <http://www.szma.com/pkasm.shtml> (Дата обращения 8.10.15).