



Гусеница Я. Н., Малахов А. В.
Ya. N. Gusenitsa, A. V. Malakhov

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ
МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ
ИНФОРМАЦИИ О МОМЕНТАХ ПОСТУПЛЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ
НА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ**

**SIMULATION MODEL OF RECONFIGURABLE METROLOGICAL COMPLEXES
FUNCTIONING IN THE CONDITIONS OF INFORMATION UNCERTAINTY
ON THE RECEIPT OF MEASUREMENT FUNDS FOR METROLOGICAL SERVICE**

Гусеница Ярослав Николаевич – кандидат технических наук, преподаватель кафедры метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского (Россия, Санкт-Петербург). E-mail: yaromir226@mail.ru.

Mr. Yaroslav N. Gusenitsa – PhD in Engineering, Lecturer, Metrological Maintenance of Arms, Military and Special Equipment Department, Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky (Russia, St. Petersburg). E-mail: yaromir226@mail.ru.

Малахов Александр Владимирович – адъюнкт кафедры метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского (Россия, Санкт-Петербург). E-mail: sanya-mall@yandex.ru.

Mr. Aleksandr V. Malakhov – Post-graduate Student, Metrological Maintenance of Arms, Military and Special Equipment Department, Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky (Russia, St. Petersburg). E-mail: sanya-mall@yandex.ru.

Аннотация. В статье представлена имитационная модель, которая, в отличие от имеющихся, учитывает возможность реконфигурации метрологических комплексов, а также неопределенность информации о моментах поступления средств измерений на метрологическое обслуживание.

Summary. The article presents the simulation model, which, unlike available ones, considers possibility of reconfiguration of metrological complexes, as well as information uncertainty on the receipt of measurement funds for metrological service.

Ключевые слова: имитационная модель, реконфигурируемые метрологические комплексы, метрологическое обслуживание, средства измерений, неопределенность информации.

Key words: simulation model, reconfigurable metrological complexes, metrological service, measuring instruments, information uncertainty.

УДК 78.21.35

Введение

Современный этап развития военно-политической обстановки в мире характеризуется острым соперничеством ведущих государств за сферы влияния, источники сырья и рынки сбыта. Данная тенденция уже сейчас определяет серьезные предпосылки для возникновения военных опасностей и угроз для России [2]. Это обуславливает необходимость уделять постоянное внимание вопросам развития технической составляющей Вооруженных Сил Российской Федерации, их оснащению вооружением, военной и специальной техникой (ВВСТ) в таком количестве и таком качестве, которые позволят обеспечить парирование любых военных опасностей и военных угроз.

Важное место в техническом оснащении отводится метрологическому обеспечению Вооруженных Сил Российской Федерации, под которым понимается комплекс мероприятий по установлению и применению научных и организационных основ, технических средств, правил и норм,

необходимых для достижения единства и требуемой точности, полноты, своевременности и экономичности измерений в войсках [4].

Организованность и целенаправленность процесса метрологического обеспечения Вооруженных сил Российской Федерации ориентированы на поддержание боеспособности воинских частей и здоровья личного состава, обеспечение боевой готовности войск (сил), готовности к применению, эффективности использования по назначению и безаварийности эксплуатации ВВСТ, экономии всех видов ресурсов при боевом, а также материально-техническом обеспечении и, в конечном итоге, на обеспечение превосходства в прогнозируемых военных конфликтах, в какие может быть втянуто государство (либо на завершение этих военных конфликтов на приемлемых уровнях).

Одним из приоритетных направлений развития метрологического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации является широкое применение метрологических комплексов (МК) военного назначения (ВН), предназначенных для метрологического обслуживания ВВСТ, а также средств измерений (СИ) ВН [5].

Эффективность метрологического обслуживания ВВСТ и СИ ВН в значительной степени зависит от технического облика МК ВН, который определяется составом рабочих мест (РМ), применяемых для аттестации эталонов, поверки СИ ВН, а также ремонта этих эталонов и СИ ВН. Таким образом, обеспечение требуемого уровня эффективности метрологического обслуживания ВВСТ и СИ ВН на основе выбора оптимального технического облика является актуальной военно-научной задачей.

Формализация задачи

В формализованном представлении данная задача имеет следующий вид:

$$x^* = \arg \max_{\substack{K_n(x) \leq K_n^d \\ \Pi(x) \leq \Pi^d \\ C_{\text{эксп}}(x) \leq C_{\text{эксп}}^d}} P_{\text{обс}}(x),$$

где x – вариант технического облика МК ВН; $P_{\text{обс}}(x)$ – вероятность метрологического обслуживания ВВСТ и СИ ВН; $K_n(x)$ – коэффициент простоя МК ВН; K_n^d – допустимое значение коэффициента простоя МК ВН; $\Pi(x)$ – производительность МК ВН; Π^d – допустимое значение производительности МК ВН; $C_{\text{эксп}}(x)$ – затраты на эксплуатацию, включающие ущерб из-за отклонения значений метрологических характеристик от предъявляемых к МК ВН требований; $C_{\text{эксп}}^d$ – допустимые затраты на эксплуатацию, включающие ущерб из-за отклонения метрологических характеристик от предъявляемых к МК ВН требований.

Решение поставленной задачи может быть реализовано по схеме, приведенной на рис. 1.

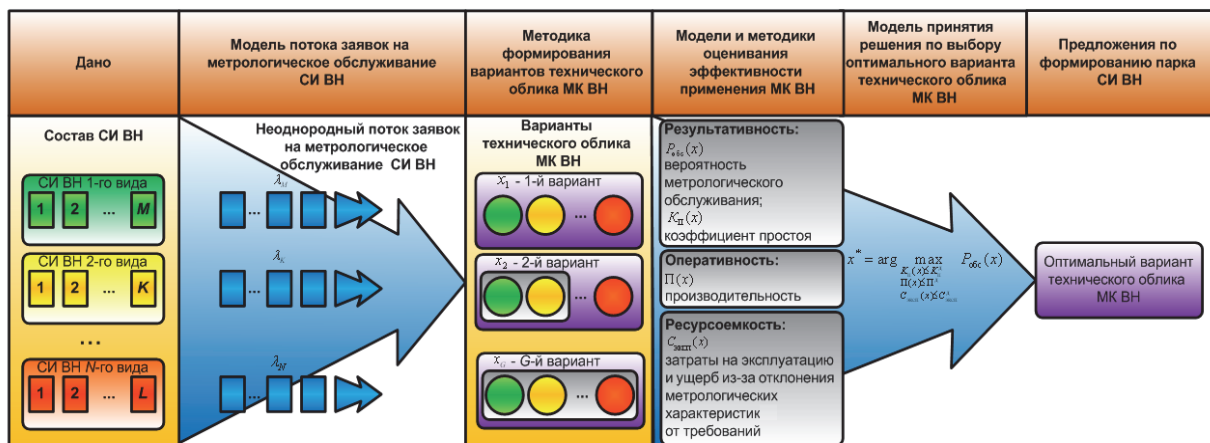


Рис. 1. Схема решения задачи обоснования технического облика к метрологическим комплексам военного назначения

Обоснование имитационного моделирования

Сложнейшей задачей при обосновании технического облика МК ВН является вычисление показателей результативности, в роли которых выступают:

- $P_{\text{обс}}(x)$ – вероятность метрологического обслуживания СИ ВН;
- $K_{\text{п}}(x)$ – коэффициент простоя МК ВН.

Сложность решения задачи расчета перечисленных показателей результативности МК ВН объясняется рядом причин. Во-первых, $P_{\text{обс}}(x)$ и $K_{\text{п}}(x)$ должны рассчитываться для всех вариантов технического облика МК ВН, количество которых может достигать нескольких сотен. Ко всему прочему в некоторых из вариантов необходимо учитывать возможность реконфигурации МК ВН путем замены одних РМ на другие. Во-вторых, при вычислении $P_{\text{обс}}(x)$ и $K_{\text{п}}(x)$ должна учитываться неопределенность информации о моментах поступления СИ ВН на метрологическое обслуживание. Такая неопределенность обусловлена территориальным распределением воинских частей (подразделений), эксплуатирующих СИ ВН, а также отсутствием данных о конкретных днях представления СИ ВН воинскими частями (подразделениями) на метрологическое обслуживание.

Представленные факторы не позволяют получить исчерпывающие решения на базе аналитических методов даже при численной реализации последних. В такой ситуации приходится прибегать к использованию имитационной модели функционирования реконфигурируемых МК в условиях неопределенности информации о моментах поступления СИ на метрологическое обслуживание.

В ней неопределенность информации о моментах поступления СИ ВН на метрологическое обслуживание разрешается на основе применения датчиков случайных чисел (ДСЧ) в ходе моделирования неоднородного потока заявок. Эти ДСЧ формируют псевдослучайные значения для моментов поступления СИ ВН в каждом календарном месяце.

Кроме того, реализующий имитационную модель алгоритм для каждой конфигурации каждого варианта технического облика МК ВН воспроизводит процесс его функционирования во времени и пространстве. При этом имитируются следующие составляющие процесса функционирования: поступление очередного СИ ВН определенного вида измерений на метрологическое обслуживание; проверка наличия РМ, не занятых метрологическим обслуживанием; непосредственно метрологическое обслуживание СИ ВН. Результаты каждого шага имитационного моделирования интерпретируются как состояние МК ВН в определенный момент времени. Это роднит имитационное моделирование с физическим экспериментом [6].

В ходе имитационного моделирования каждая конфигурация каждого варианта технического облика МК ВН представляется как разомкнутая однофазная многоканальная система массового обслуживания с отказами $\mathbf{GI} / \mathbf{G} / \mathbf{n} / \mathbf{0} / \mathbf{m}$, функционирующая по принципу FIFO (обслуживаются заявки в порядке поступления).

Здесь время распределения интервалов между заявками является произвольным, однако в первом приближении может использоваться \mathbf{D} закон равномерной плотности. Причем применение данного закона позволяет моделировать максимальную нагрузку на МК ВН по метрологическому обслуживанию СИ ВН.

Время распределения интервалов обслуживания заявок также является произвольным. Хотя и в этом случае возможно применение \mathbf{D} постоянного времени обслуживания заявок.

Количество каналов обслуживания \mathbf{n} для каждой конфигурации каждого варианта технического облика МК ВН различно. Оно соответствует числу видов измерений, для метрологического обслуживания которых предназначены РМ из состава МК ВН. Поэтому допускается, что при наличии в конфигурации нескольких РМ, предназначенных для метрологического обслуживания СИ ВН одного вида измерений, они объединяются в один канал обслуживания с суммарной производительностью.

Очередь в системе массового обслуживания не предусмотрена – $\mathbf{0}$, что объясняется территориальным распределением заявок.

Количество потоков m равно общему числу видов измерений, т.е. 18.

Структура имитационной модели

Имитационное моделирование реализуется на основе метода статистических испытаний Монте-Карло. Согласно этому методу имитация осуществляется путем многократного отображения единичного действия МК ВН через заданный дискретный шаг времени, позволяющего отражать на основе статистических выходных данных вероятностный характер процесса функционирования МК ВН [3].

Для получения результатов для каждой k -й конфигурации каждого x -го варианта технического облика МК ВН проводится I независимых испытаний. Проведение независимых испытаний осуществляется по алгоритму, схема которого представлена на рис. 2:

Шаг 1. Формирование неоднородного потока СИ ВН, поступающих на метрологическое обслуживание. Этот шаг предполагает выполнение алгоритма моделирования неоднородных потоков СИ ВН, поступающих на метрологическое обслуживание.

Шаг 2. Установка начального значения номера варианта технического облика МК ВН:

$$x = 1.$$

Шаг 3. Проверка окончания перебора вариантов технического облика МК ВН исходя из условия

$$x > X,$$

где X – общее количество вариантов технического облика МК ВН.

Если номер варианта технического облика МК ВН больше общего количества вариантов, то выполнение алгоритма завершается. В противном случае выполняется шаг 4.

Шаг 4. Установка начального значения номера конфигурации варианта технического облика МК ВН:

$$k = 1.$$

Шаг 5. Проверка окончания перебора конфигураций варианта технического облика МК ВН исходя из условия

$$k > K_x,$$

где K_x – общее количество вариантов x -го технического облика МК ВН.

Если номер конфигурации варианта технического облика МК ВН больше общего количества конфигураций, то осуществляется переход на шаг 6. В противном случае реализуется шаг 9.

Шаг 6. Вычисление вероятности метрологического обслуживания СИ ВН x -м вариантом технического облика МК ВН:

$$P_{\text{обс}}(x) = \frac{\sum_{k=1}^K P_{\text{обс}k}(x)}{K},$$

где $P_{\text{обс}k}(x)$ – вероятности метрологического обслуживания СИ ВН k -й конфигурацией x -го варианта технического облика МК ВН.

Шаг 7. Вычисление коэффициента простоя x -го варианта технического облика МК ВН:

$$K_{\text{п}}(x) = \frac{\sum_{k=1}^K K_{\text{п}k}(x)}{K},$$

где $K_{\text{п}k}(x)$ – коэффициент простоя k -й конфигурации x -го варианта технического облика МК ВН.

Шаг 8. Переход к очередному варианту технического облика МК ВН:

$$x = x + 1.$$



Шаг 9. Установка начального значения счетчика независимых испытаний:

$$i = 1.$$

Шаг 10. Проверка окончания проведения независимых испытаний исходя из условия

$$i > I,$$

где I – общее количество испытаний.

Если данное условие является истинным, то выполняется шаг 18. Иначе выполняется шаг 11.

Шаг 11. Установка начального значения счетчика модельного времени:

$$t = 1,$$

при этом единицей модельного времени являются сутки.

Шаг 12. Проверка условия окончания моделирования:

$$t > T,$$

где T – допустимое модельное время.

В случае выполнения условия осуществляется переход на шаг 13. Иначе реализуется шаг 14.

Шаг 13. Проведение очередного независимого испытания:

$$i = i + 1.$$

Шаг 14. Для всех РМ обнуление флага «занято обслуживанием»:

$$\forall j: \text{PM}_j = 0,$$

где PM_{jm} – флаг j -го РМ, который указывает на то, что оно занято метрологическим обслуживанием.

Шаг 15. Обнуление счетчиков событий, характеризующих результаты метрологического обслуживания СИ ВН:

$$N = 0, \quad M = 0, \quad G = 0, \quad H = 0,$$

где N – количество событий, при которых СИ ВН успешно обслужены; M – количество событий, при которых СИ ВН не обслужены; G – количество событий, при которых k -я конфигурация x -го варианта технического облика МК ВН занята метрологическим обслуживанием; H – количество событий, при которых k -я конфигурация x -го варианта технического облика МК ВН свободна от метрологического обслуживания.

Шаг 16. Обнуление производительности канала обслуживания:

$$\Pi = 0.$$

Шаг 17. Установка начального значения счетчика видов измерений:

$$m = 1.$$

Шаг 18. Вычисление частоты метрологического обслуживания СИ ВН k -й конфигурацией x -го варианта технического облика МК ВН:

$$P_{\text{обск}}(x) = \frac{N}{N + M}.$$

Шаг 19. Вычисление коэффициента простоя k -й конфигурации x -го варианта технического облика МК ВН:

$$K_{\text{пк}}(x) = \frac{G}{G + H}.$$

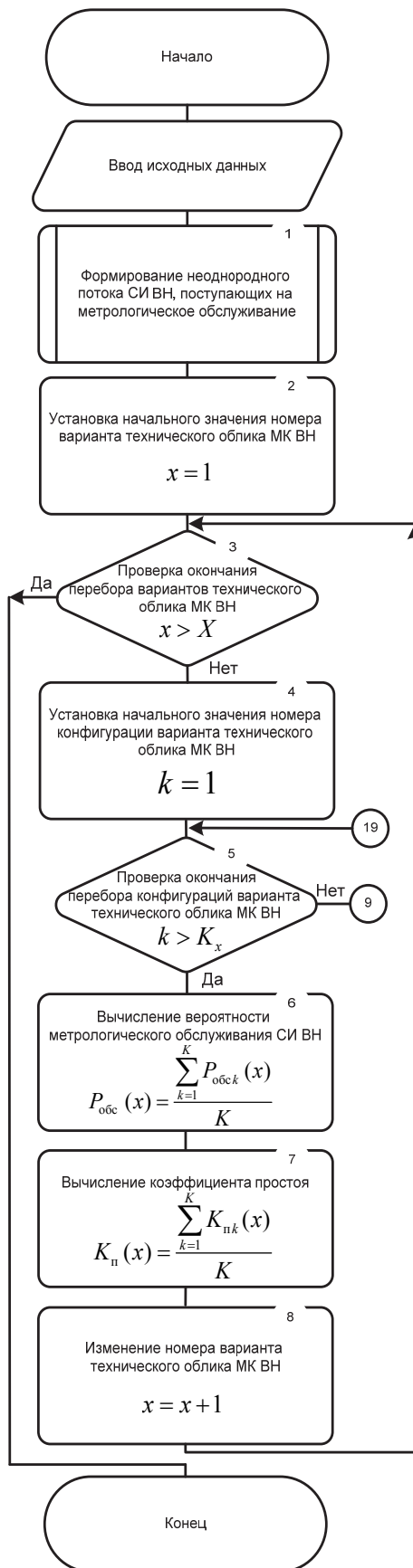


Рис. 2. Схема имитационной модели (начало)

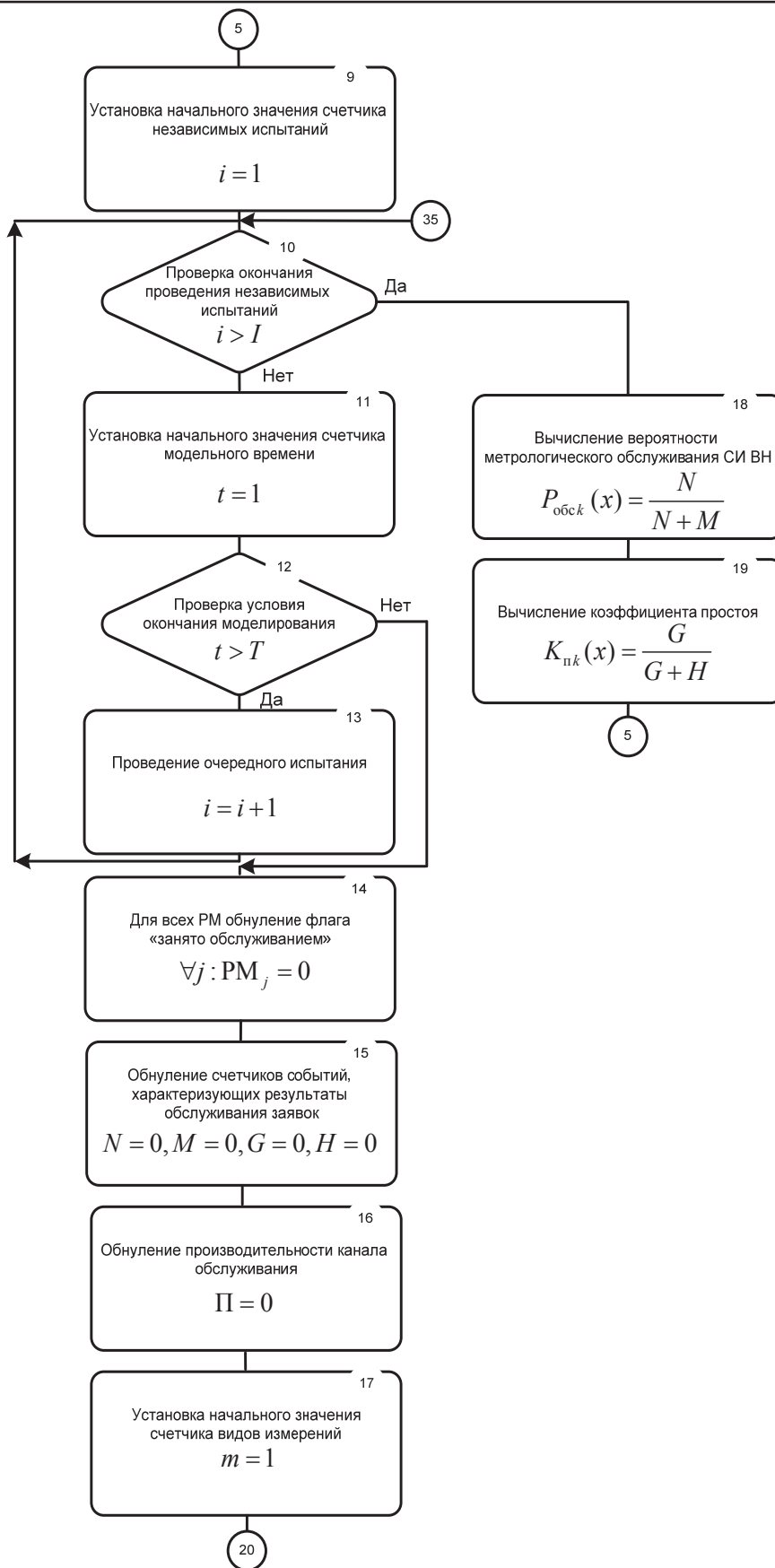


Рис. 2. Схема имитационной модели (продолжение)

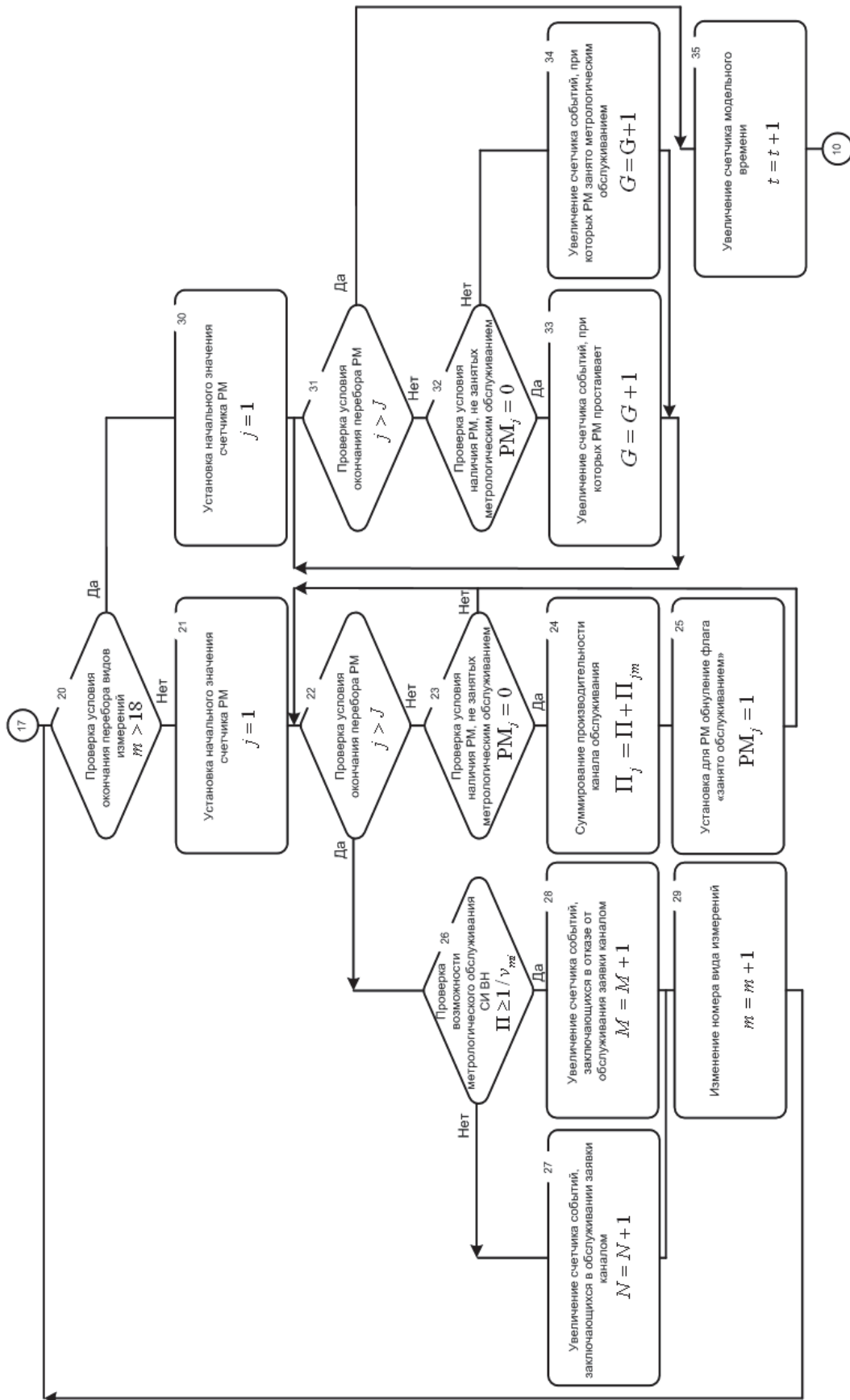


Рис. 2. Схема имитационной модели (окончание)



Шаг 20. Проверка окончания перебора видов измерений исходя из следующего условия:

$$m > 18.$$

Если это условие выполняется, то осуществляется переход на шаг 30. В противном случае реализуется шаг 21.

Шаг 21. Установка начального значения счетчика РМ:

$$j = 1.$$

Шаг 22. Проверка условия окончания перебора РМ:

$$j > J.$$

В случае выполнения условия осуществляется переход на шаг 26. Иначе реализуется шаг 23.

Шаг 23. Проверка того, что j -е РМ не занято метрологическим обслуживанием:

$$PM_j = 0.$$

Если это условие выполняется, то осуществляется переход на шаг 24. В противном случае реализуется шаг 22.

Шаг 24. Суммирование производительности канала обслуживания:

$$\Pi_j = \Pi + \Pi_{jm},$$

где Π_{jm} – производительность (количество СИ ВН в сутки) j -го РМ по метрологическому обслуживанию СИ ВН m -го вида измерений.

Шаг 25. Установка для j -го РМ обнуления флага «занято обслуживанием»:

$$PM_j = 1.$$

Шаг 26. Проверка возможности метрологического обслуживания СИ ВН k -й конфигурации x -го варианта технического облика МК ВН исходя из условия

$$\Pi \geq \frac{1}{v_{mi}},$$

где v_{mi} – интенсивность поступления на метрологическое обслуживание СИ ВН m -го вида измерений.

В случае выполнения условия осуществляется переход на шаг 27. Иначе реализуется шаг 28.

Шаг 27. Увеличение счетчика событий, заключающихся в обслуживании заявки каналом:

$$N = N + 1.$$

Шаг 28. Увеличение счетчика событий, заключающихся в отказе от обслуживания заявки каналом:

$$M = M + 1.$$

Шаг 29. Переход к очередному виду измерений:

$$m = m + 1.$$

Шаг 30. Установка начального значения счетчика РМ:

$$j = 1.$$

Шаг 31. Проверка условия окончания перебора РМ:

$$j > J .$$

В случае выполнения условия осуществляется переход на шаг 35. Иначе реализуется шаг 32.

Шаг 32. Проверка того, что j -е РМ не занято метрологическим обслуживанием:

$$PM_j = 0 .$$

Если это условие выполняется, то осуществляется переход на шаг 33. В противном случае реализуется шаг 34.

Шаг 33. Увеличение счетчика событий, при которых j -й РМ простаивает:

$$G = G + 1 .$$

Шаг 34. Увеличение счетчика событий, при которых j -й РМ занято метрологическим обслуживанием:

$$H = H + 1 .$$

Шаг 35. Сначала осуществляется увеличение счетчика модельного времени:

$$t = t + 1 .$$

Затем выполняется переход на шаг 10.

Алгоритм моделирования неоднородного потока СИ ВН, поступающих на метрологическое обслуживание, включает следующие действия (см. рис. 3):

Шаг 1. Установка начального значения счетчика независимых испытаний:

$$i = 1 .$$

Шаг 2. Проверка окончания проведения независимых испытаний исходя из условия

$$i > I .$$

Если данное условие является истинным, то алгоритм завершается. Иначе выполняется шаг 3.

Шаг 3. Установка начального значения счетчика модельного времени:

$$t = 1 .$$

Шаг 4. Проверка условия окончания моделирования:

$$t > T .$$

В случае выполнения условия осуществляется переход на шаг 5. Иначе реализуется шаг 6.

Шаг 5. Проведение очередного независимого испытания:

$$i = i + 1 .$$

Шаг 6. Установка начального значения счетчика видов измерений:

$$m = 1 .$$

Шаг 7. Проверка окончания перебора видов измерений исходя из следующего условия:

$$m > 18 .$$

Если это условие выполняется, то осуществляется переход на шаг 9. В противном случае реализуется шаг 8.

Шаг 8. Проверка предельного значения случайной величины:

$$N_{СИ} = 0 .$$

Если данное условие является истинным, то выполняется шаг 7. Иначе выполняется шаг 10.

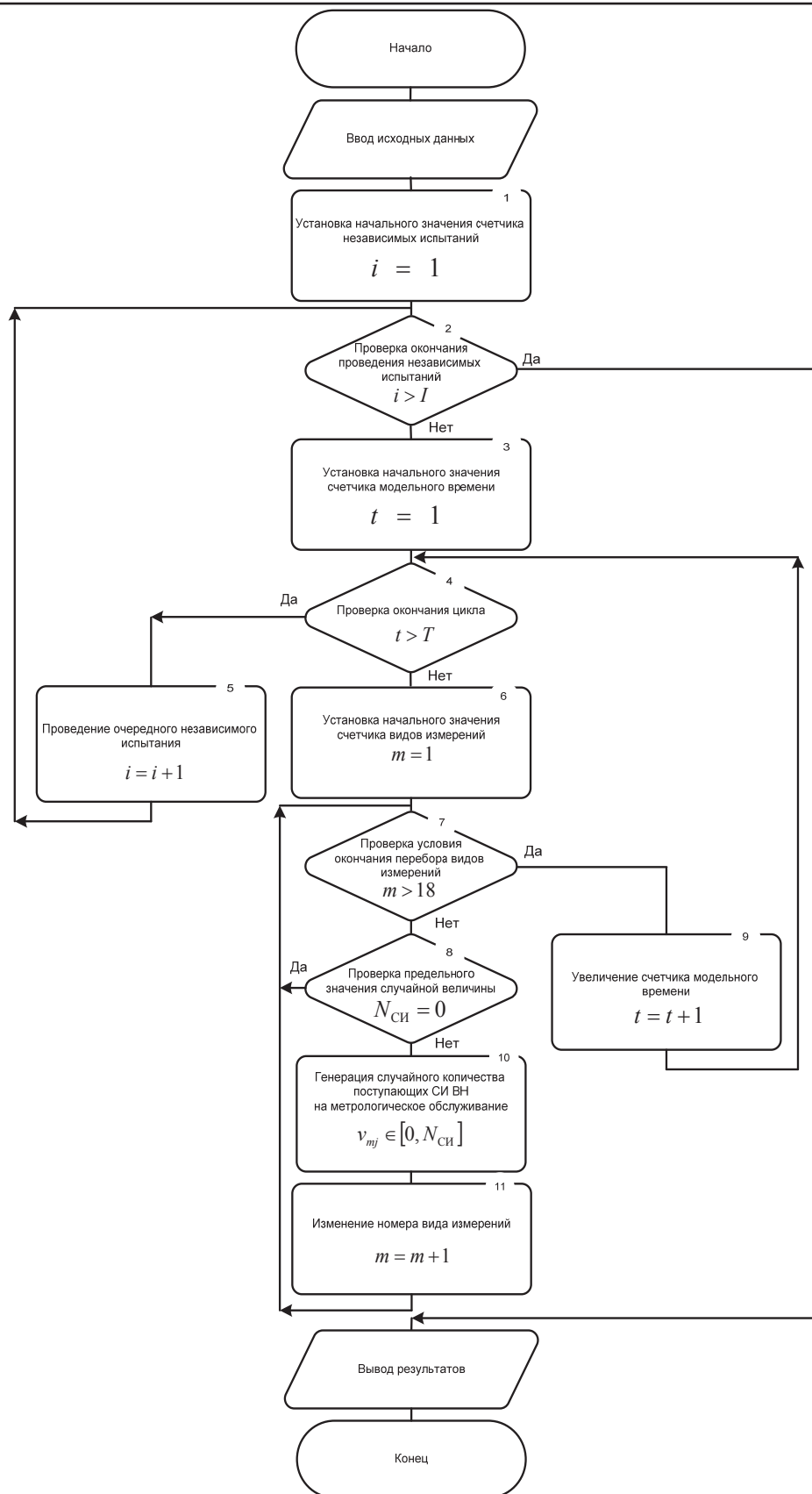


Рис. 3. Алгоритм моделирования неоднородного потока СИ ВН, поступающих на метрологическое обслуживание

Шаг 9. Увеличение счетчика модельного времени:

$$t = t + 1.$$

Шаг 10. Генерация с помощью ДСЧ случайного количества поступающих СИ ВН на метрологическое обслуживание $v_{mj} \in [0, N_{СИ}]$.

Шаг 11. Изменение номера вида измерений:

$$m = m + 1.$$

Обоснование адекватности имитационной модели

Для проверки адекватности имитационного моделирования используется метод получения статистически значимых выводов относительно выходных данных имитационного моделирования. Этот метод ориентирован, прежде всего, на анализ степени однородности данных, получаемых в ходе проведения серии независимых испытаний. В частности, в рамках метода анализируется количественное содержание аномальных результатов в получаемой совокупности (выборке) для одной и той же конфигурации варианта технического облика. При этом в ходе независимых испытаний оцениваются математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение вероятностных показателей результативности $P_{обск}(x)$ и $K_{пк}(x)$ конфигурации варианта технического облика по формулам

$$M[*] = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I M_i[*];$$

$$\sigma[*] = \frac{1}{I-1} \sum_{i=1}^I (u_i - M_i[*])^2,$$

где $M_i[*]$ – математическое ожидание показателя результативности конфигурации варианта технического облика в i -м испытании; u_i – значение показателя результативности конфигурации варианта технического облика в i -м испытании.

Оценки математического ожидания и среднеквадратического отклонения $P_{обск}(x)$ и $K_{пк}(x)$ представлены на рис. 4-6. Данные оценки подставляются в критерий согласия Колмогорова-Смирнова, который позволяет определить в полученной выборке значение u^* показателя результативности конфигурации варианта технического облика, максимально отклоняющееся от оценки $M[*]$. При этом u^* считается аномальным, если выполняется следующее неравенство [1]:

$$\xi_i > \xi_{п},$$

где $\xi_i = \frac{|u^* - M[*]|}{\sigma[*]}$ – i -я статистика; $\xi_{п}$ – пороговое значение статистики. Пороговое значение статистики при $I > 50$ определяется по формуле

$$\xi_{п} = V \cdot \sqrt{\frac{2(I-1)}{2I-5+V^2 + \frac{(3+V^2+2V^4)}{6(2I-5)}}},$$

где $V = \Phi^{-1}(1 - \alpha/2I)$ – функция, обратная функции нормального распределения, аргумент которой включает $\alpha \leq 0,2$ (ошибку первого рода).

Статистики и пороговые значения статистик для полученных оценок математического ожидания и среднеквадратического отклонения $P_{обск}(x)$ и $K_{пк}(x)$ представлены на рис. 7 и 8.

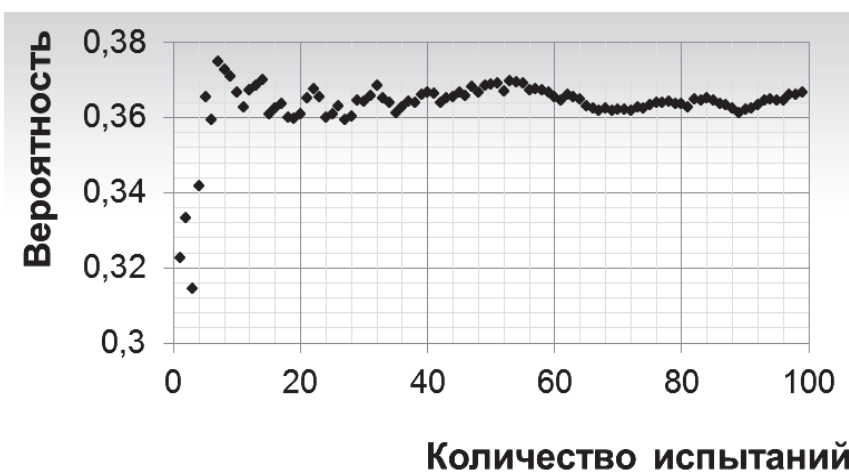


Рис. 4. Математическое ожидание вероятности обслуживания СИ ВН конфигурацией варианта технического облика

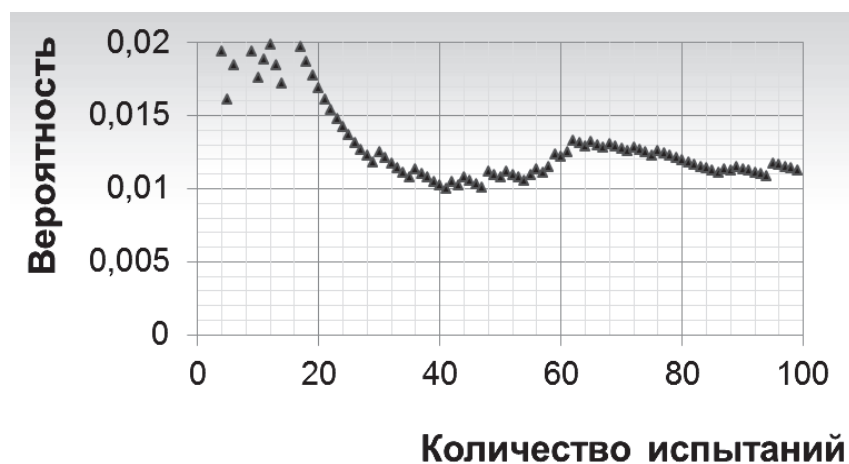


Рис. 5. Математическое ожидание коэффициента простоя конфигурации варианта технического облика

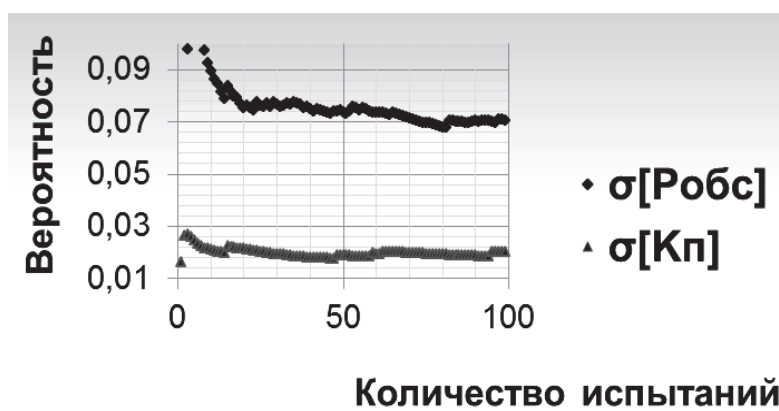


Рис. 6. Среднеквадратические отклонения вероятности обслуживания СИ ВН конфигурацией варианта технического облика и коэффициент простоя

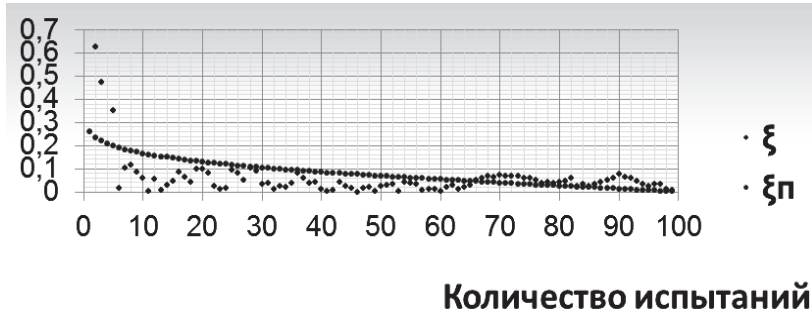


Рис. 7. Статистики и пороговые значения статистик для полученных оценок математического ожидания вероятности обслуживания СИ ВН конфигурацией варианта технического облика

Как видно из рис. 7 и 8, результаты имитационного моделирования позволяют получить достаточную совокупность (выборку) для вычисления вероятности обслуживания СИ ВН $P_{обск}(x)$ и коэффициента простоя $K_{пк}(x)$ для произвольной конфигурации варианта технического облика МК ВН, что указывает на достоверность имитационной модели.

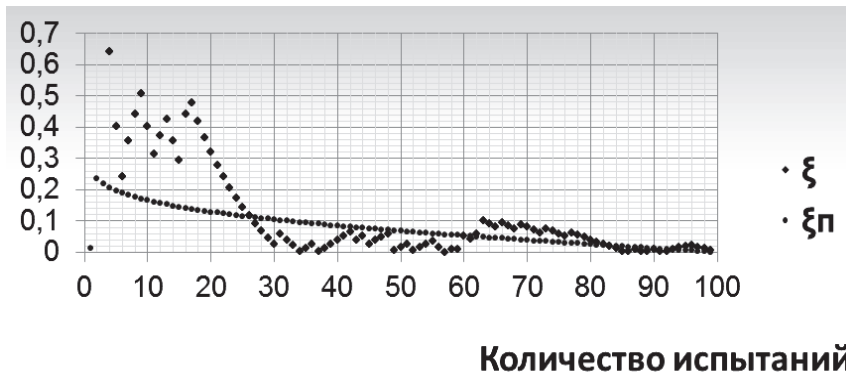


Рис. 8. Статистики и пороговые значения статистик для полученных оценок математического ожидания коэффициента простоя конфигурации варианта технического облика

Подтверждением этому является и достаточно низкое значение доверительных интервалов для оценок математического ожидания $P_{обск}(x)$ и $K_{пк}(x)$. Так, с вероятностью 0,95 можно утверждать, что среднее значение $P_{обск}(x)$ при выборке большего объема не выйдет за пределы интервала (0,35; 0,38), приведенного на рис. 9.

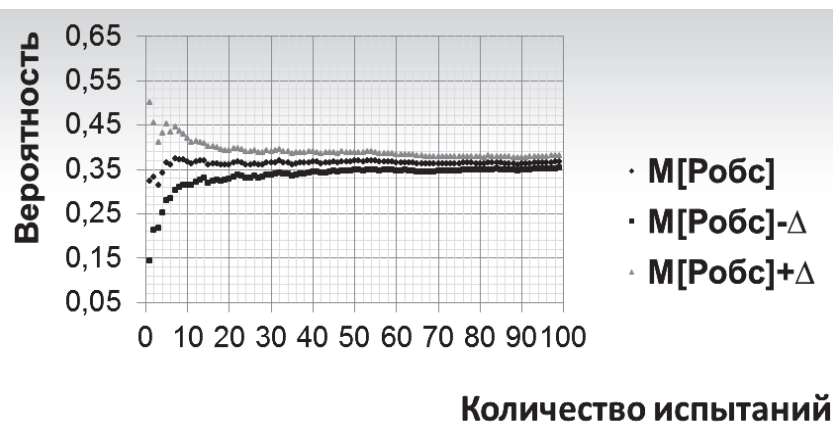


Рис. 9. Доверительные границы для вероятности обслуживания СИ ВН конфигурацией варианта технического облика

Кроме того, с вероятностью 0,95 можно утверждать, что среднее значение $K_{пк}(x)$ при выборке большого объема не выйдет за пределы интервала (0,00735; 0,0152), приведенного на рис. 10.

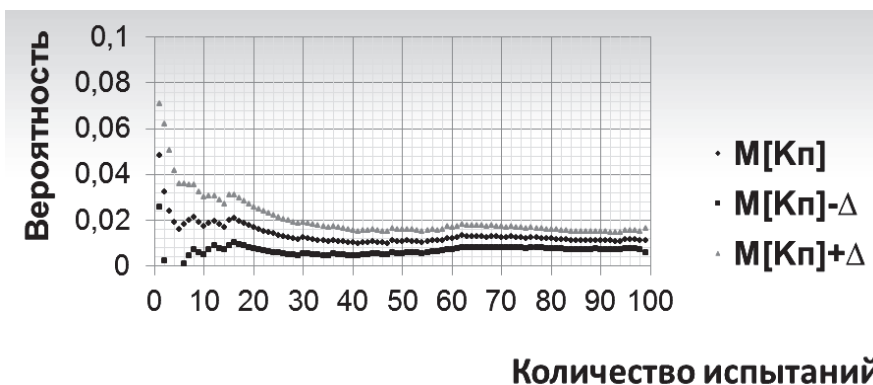


Рис. 10. Доверительные границы для коэффициента простоя конфигурации варианта технического облика

Заключение

Таким образом, предлагаемая имитационная модель, в отличие от имеющихся, учитывает возможность реконфигурации МК ВН, а также неопределенность информации о моментах поступления СИ ВН на метрологическое обслуживание. Данная модель может быть использована при военно-научном обосновании разработки перспективных МК ВН и повышении эффективности функционирования существующих, при разработке методов и технических средств метрологического обслуживания СИ ВН, оценивании тактико-технических характеристик МК ВН при их контроле и испытаниях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алгазинов, Э. К. Анализ и компьютерное моделирование информационных процессов и систем / Э. К. Алгазинов, А. А. Сирота; под общ. ред. А. А. Сироты. – М.: Диалог-МИФИ, 2009. – 416 с.
2. Анализ военных угроз и военных опасностей Российской Федерации на долгосрочную перспективу / Я. Н. Гусеница, Ю. Л. Кругляк, Д. О. Петрич, О. В. Беленович // СРДР. Сер. Б. – М.: ЦВНИ МО РФ, 2014. – Вып. 107.
3. Бусленко, Н. П. Метод статистических испытаний (Монте-Карло) и его реализация на цифровых вычислительных машинах / Н. П. Бусленко, Ю. А. Шрейдер. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1970. – 228 с.
4. ГОСТ РВ 8.572-99. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение обороны. Термины и определения. – Взамен ГОСТ ВД 16263-82; введ. 1999-10-14. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 12 с.
5. Лесун, И. В. Основные направления развития метрологического обеспечения вооружения и военной техники / И. В. Лесун // Оборонный комплекс Российской Федерации: состояние и перспективы развития. – 2011. – Т. 7. – С. 447-454.
6. Рыжиков, Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технологии / Ю. И. Рыжиков. – СПб.: КОРОНА принт, 2004. – 384 с.