

АНАЛИЗ СИСТЕМ ГЕНЕРАЦИИ ТЕСТОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

В.О. Сванидзе¹, К.В. Зольников¹, С.А. Сазонова¹, А.И. Озеров¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается анализ систем генерации тестовых последовательностей. Показано, что тестопригодное проектирование цифровых устройств повышенной сложности зависит от размерности объекта проектирования, элементного состава и базы технологической реализации. Рассмотрены проблемы верификации и генерации тестов сложных цифровых схем.

Ключевые слова: верификация и генерация тестов, цифровые системы, генерация тестов, сложные системы, тестируемость.

ANALYSIS OF TEST SEQUENCE GENERATION SYSTEMS

V.O. Svanidze¹, K.V. Zolnikov¹, S.A. Sazonova¹, A.I. Ozerov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the analysis of test sequence generation systems. It is shown that the testable design of digital devices of increased complexity depends on the dimension of the design object, the elemental composition and the base of technological implementation. The problems of verification and test generation of complex digital circuits are considered.

Key words: verification and test generation, digital systems, test generation, complex systems, testability.

Ни одна из существующих программ генерации тестов не может охватить и разрешить весь комплекс проблем, связанных генерацией тестов для цифровых схем. Разработка тестов – процесс крайне трудоемкий и проблему тестируемости необходимо начинать решать на ранних этапах проектирования, когда ошибки

обнаружить и устранить значительно проще и инженеру требуется достаточно много времени для создания хороших тест – векторов (рисунок 1).

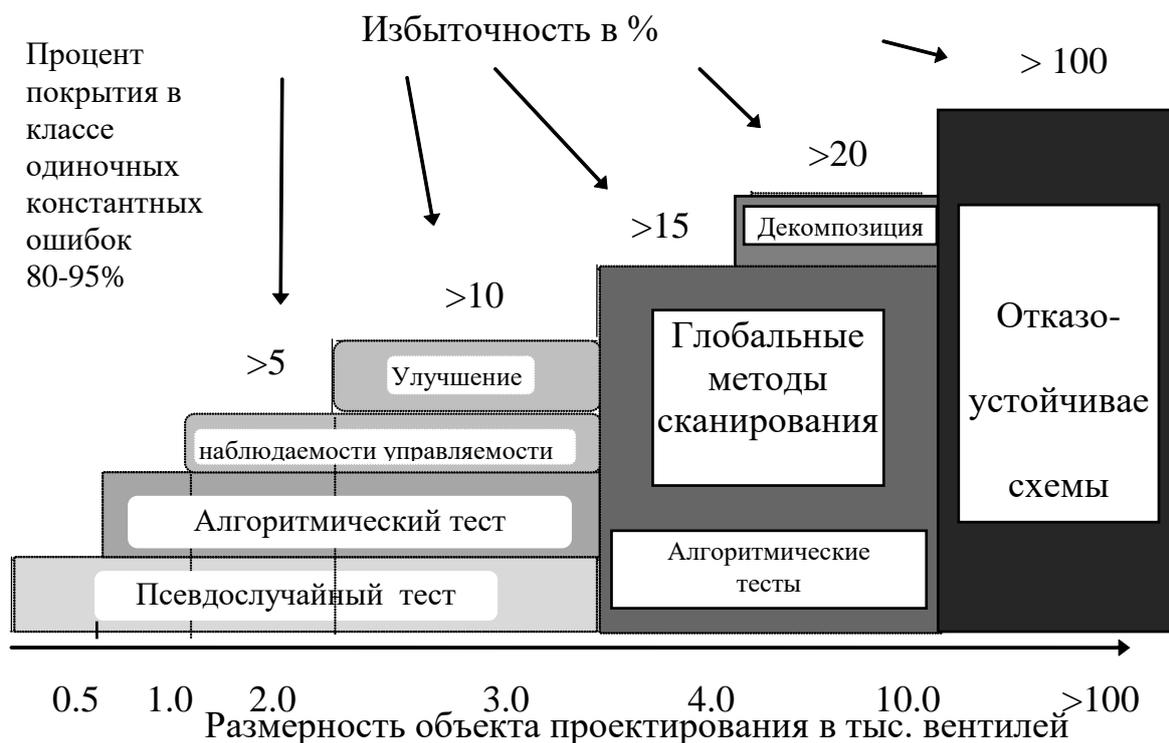


Рисунок 1 – Тест-вектор

Возможности большинства коммерческих программ автоматической генерации тестовых последовательностей таковы, что уже при размерности схемы 2000 вентилей процент покрытия снижается до 80%. $5 \cdot 10^3$ - $5 \cdot 10^4$ вентилей – это практически предел для известных способов автоматической генерации тестовых последовательностей.

Таким образом, при проектировании цифровых схем функциональные и диагностические требования необходимо рассматривать совместно, и адекватную тестопригодность можно достичь только лишь при использовании принципов контролепригодного проектирования. Трудность создания теста прямо связана со сложностью модели объекта проектирования.

Попытки создать модель, максимально точно описывающую реальную ситуацию функционирования устройства, чаще всего приводит к тому, что формальная задача создания теста становится алгоритмически неразрешимой. Если подобная ситуация не угрожает, то с алгоритмической точки зрения задача создания теста относится к класс наиболее сложных (NP – полных) и поэтому к вопросу о ее решения для реальных объектов следует подходить с пониманием сложности проблемы.

Дальнейшим развитием D – алгоритма являются PODEM и FAN – алгоритмы, позволившие модифицировать алгоритмы обратного продвижения и возвратов, существенно сократив время синтеза теста и его длину при сохранении всех диагностирующих свойств.

В отличие от алгоритмических способов генерации, предложено и реализовано разнообразных алгоритмов эвристических и псевдослучайных способов синтеза тест – векторов. В исследованиях рассмотрен метод синтеза тестопригодных дискретных устройств, ориентированных на применение равновероятных псевдослучайных сигналов для организации вероятностных преобразований во внутренних полюсах объекта контроля. Предложен алгоритм введения специальных структурных средств – вероятностных преобразователей – с целью повышения эффективности диагностических процедур.

Рассматривается метод тестирования последовательностных схем случайными тестовыми наборами, отличаются простотой реализации и высокой полнотой тестирования.

В основе подхода лежит идея сохранения случайно сгенерированного набора вектора сигналов на внешних входах или сканирующих триггерах схемы – в течении некоторого промежутка времени пока идет считывание на ее внешних выходах. Количество тестовых циклов, в течении которых случайный вектор сигналов сохраняется на входах схемы, основа анализа ее контролепригодности, класс характеристик генератора тестов.

В исследованиях рассмотрены вопросы построения и применения системы логического моделирования и генерации проверяющих тестов для цифровых устройств АСМИД-П. Предлагаемая система основана на разработанной единой математической модели цифровых устройств в виде специальных многозначных функций. Применение системы повышает производительность труда при проектировании и диагностировании цифровых устройств.

Сложность тестирования схем с памятью общеизвестна. Рассматривается методика верификации и генерации тестов для последовательностных схем типа конечных автоматов. В основе метода лежит процедура обхода состояний в графе перехода состояний. Рассмотрены проблемы эффективного обхода графа состояний, выявление в нем избыточных состояний, а также построение модели ошибочных состояний.

Для достижения высокой полноты проверки корректности конечного автомата предложен метод свертки переходов состояния.

Для ускоренной верификации генерируемых тестовых последовательностей используется эвристическая информация, которая также обеспечивает сокращение пространства анализируемых состояний верификации и генерации тестов для последовательностных схем типа конечных автоматов.

Вопросы генерации тестовых последовательностей для СБИС ориентированы на создание оптимальной системы генерации оптимального тест – вектора, как с позиции обнаружения максимального количества неисправностей, так минимизации и длины тестовой последовательности и сокращения времени получения этой последовательности.

На основании рассмотренных материалов по обеспечению тестопригодного проектирования сложных цифровых устройств что эта системная задача должна включать в себя:

- анализ требований ТЗ (условия реализации целевой функции, быстродействие, возможности технологии, реализации) ;
- анализ тестопригодности элементов технологической базы реализации;
- анализ экономических показателей проектирования, отладки, тестирования, эксплуатации.

Наличие эффективной системы автоматизированного проектирования и технологической базы реализации – основа успешного проектирования с учетом тестопригодности, приводит к сокращению сроков проектирования и экономических показателей, при этом вероятно снижение производительности проектируемого устройства на 5-10% и увеличение элементного состава на 20-30%.

Тестопригодное проектирование цифровых устройств повышенной сложности (СБИС) зависит от размерности объекта проектирования, элементного состава и базы технологической реализации.

Рассмотрим проблемы верификации и генерации тестов сложных цифровых схем. Сокращение времени жизни новых продуктов на рынке требует интерактивного диагностирования, то есть, прогнозирования возможных неисправностей и превентивного устранения причин их возникновения на этапах разработки, предшествующих промышленному производству.

Основные способы диагностирования: выявление потенциально слабых узлов ИС и их устранение совместно с разработчиками, анализ статических данных о наиболее характерных неисправностях ИС, выполненных ранее с использованием аналогичного технологического процесса; генерация помимо традиционных промышленных отбраковочных тестов специальных “диагностических” тестовых последовательностей, ориентированных на локализацию неисправных

элементов; введение в ИС вспомогательных цепей повышающих диагностируемость, поскольку традиционные методы повышения тестируемости не обеспечивают необходимой разрешающей способности. Необходимо создавать специальные программы средств автоматизации диагностирования.

Проблема создания удовлетворительного теста, а именно это и является основной целью работы (а одновременно и создания формальной модели объекта проектирования) можно считать решенной, если на устройство подаются всевозможные тестовые воздействия (исчерпывающее тестирование).

Если объект комбинационный – будет осуществлена полная проверка, при условии, что имеется информация о реакции исправного устройства на все входные воздействия. Естественно – объем информации огромен и это достаточно серьезная проблема, поскольку эталонную **информацию необходимо сохранять**. Здесь необходимо сделать некоторые замечания относительно полного множества ошибок присущего объекту диагностирования.

Выше было отмечено, что выбор определенного (характеристического) множества потенциальных ошибок, которые могут с достаточно высокой вероятностью возникать и отражаться на работоспособность, позволяет сократить как объем эталонных реакций, так и длину тестовой последовательности.

Единственным препятствием к реализации подобного похода, является сильная зависимость роста входных воздействий от размерности входа, которая еще более усугубляется для объектов проектирования с памятью.

В силу того, что проведение полной проверки невозможно, необходим поиск методов верификации, базирующих на законах больших чисел, а решение “годен – не годен” принимать по значениям некоторой целевой (интегральной) функции.

Процент покрытия ошибок, определяется в процессе процедур проектирования с использованием программ моделирования. Основная проблема низкая скорость верификации огромного числа входных воздействий. Причиной **снижения скорости** моделирования связано как выбором алгоритма моделирования, его реализации (программной либо аппаратной), формальной модели объекта и выбора адекватной модели неисправности.

С увеличением степени интеграции СБИС растет вероятность отказов их структурных элементов. Перспективным путем является проектирование СБИС способных к самотестированию и самовосстановлению. Разработанные средства позволяют проектировать системы, способные обнаруживать и корректировать

неисправности, путем структурной рекофигурации и внесения аппаратной избыточности.

Резюмируя рассмотренные вопросы, можно сделать следующие выводы об основных проблемах верификации и генерации тестов:

- рост сложности объекта проектирования (элементный, структурный, функциональный), числа ошибок и как следствие резкое снижение скорости моделирования (верификации) и снижение процента ошибок из-за низкой эффективности тестовых последовательностей;

- выбор формальной модели неисправности, адекватной физическим неисправностям конкретного устройства и конкретного технологического процесса;

- разработка структурных решений, улучшающих тестопригодность;

с ростом размерности объекта диагностирования падает эффективность способов генерации тестовых последовательностей, растет как время генерации, так и длина теста.

При разработке данной работы использовались материалы исследований [1-18].

Список литературы

1. Компьютерное моделирование работоспособности электрической схемы в системах автоматизации проектирования / В. К. Зольников, С. В. Стоянов, Е. В. Шмаков, Н. Н. Литвинов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 26-36. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-24-34. – EDN EJJKJP.

2. Елифанов, Е. Н. Системный анализ акустических свойств речевых оповещателей / Е. Н. Елифанов, В. Ф. Асминин, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 42-53. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53. – EDN VMZBYL.

3. Создание средств проверки электрической схемы с использованием схемы тестовых внешних воздействий / К. В. Зольников, Д. В. Шеховцов, К. В. Литвинов, М. А. Солодилов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 36-44. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-34-42. – EDN EAGOOO.

4. Формализация верификации топологии и электрической схемы для систем автоматизированного проектирования / Т. В. Скворцова, К. В. Зольников, А. М. Плотников, И. В. Скоркин // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 61-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-59-68. – EDN DUYQNJ.

5. Зольников, К. В. Моделирование и оптимизация конструкции полосового фильтра на основе коаксиального резонатора / К. В. Зольников, Д. А. Ачкасов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 43-50. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-43-50. – EDN POHLTW.
6. Николенко, С. Д. Моделирование возникновения внутренних напряжений в сложной структуре материала / С. Д. Николенко, С. П. Козодаев, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61. – EDN DIXFHX.
7. Алгоритм диагностики утечек целевого продукта в условиях неопределенности для гидравлической системы / С. А. Сазонова, А. Н. Кошель, И. Н. Пантелеев [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 71-82. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82. – EDN HDRQPC.
8. Повышение формализации задач верификации топологии и электрической схемы для систем автоматизированного проектирования / А. В. Полуэктов, К. В. Зольников, А. В. Ачкасов, Ю. А. Чевычелов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 102-111. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-102-111. – EDN QIKKRO.
9. Сазонова, С. А. Моделирование процесса диагностики утечек на основе двухальтернативной гипотезы с учетом помех от стохастичности потребления в гидравлической системе / С. А. Сазонова, И. В. Щербакова, Г. И. Сметанкина // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 111-120. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120. – EDN CSKRIZ.
10. Полуэктов, А. В. Моделирование влияния электромагнитных полей на микросхемы / А. В. Полуэктов, Р. Ю. Медведев, К. В. Зольников // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 129-136. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-129-136. – EDN HWPUXU.
11. Полуэктов, А. В. Моделирование ослабления ионизирующего излучения за счет защитного корпуса микросхем / А. В. Полуэктов, Р. Ю. Медведев, А. И. Заревич // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 93-100. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-93-100. – EDN QQRQXE.
12. Diagnostics of leaks with unknown amplitudes against the background of interference caused by accidental consumption in the hydraulic system for the forest complex / S. Sazonova, K. Zolnikov, T. Skvortsova [et al.] // BIO Web of Conferences. – 2024. – Т. 145. – С. 04016. – DOI: 10.1051/bioconf/202414504016. – EDN: SQXQKY.

13. Асмнин, В.Ф. Экспериментальные исследования вибровозбужденных тонкостенных элементов конструкций станков дискретными вибродемпфирующими вставками / В.Ф. Асмнин, С.А. Сазонова, А.С. Самофалова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 3. – С. 525-529. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-525-526. – EDN: CBJRSA.

14. Николенко, С.Д. Улучшение качества материала промышленных полов для повышения ударной стойкости при воздействии машиностроительного оборудования / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Ф. Асмнин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 3. – С. 495-498. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-495-496. – EDN: SBVFRO.

15. Перцев, В.Т. Повышение качества бетона путем применения металлических фибр / В.Т. Перцев, С.Д. Николенко, С.А. Сазонова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 3. – С. 480-484. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-480-481. – EDN: TJXBCE.

16. Asminin, V.F. Evaluation of the sound insulation properties of a lightweight panel with an internal diamond-shaped structure based on computer modeling of the process of passage and absorption of sound energy in it / V.F. Asminin, E.V. Druzhinina, S.A. Sazonova // Noise Theory and Practice. – 2024. – Т. 10. – № 1 (36) . – С. 82-96. – EDN: OZLOHG.

17. Samofalova, A.S. Damping of vibration-damping thin-walled steel structures with discrete rubber inserts / A.S. Samofalova, V.F. Asminin, S.A. Sazonova // Noise Theory and Practice. – 2024. – Т. 10. – № 1 (36). – С. 69-81. – EDN: FLGZTH.

18. Асмнин, В.Ф. Защита от шума вибровозбужденных тонкостенных элементов конструкций станков дискретными вибродемпфирующими вставками / В.Ф. Асмнин, С.А. Сазонова, А.С. Самофалова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. № 12. – С. 161-169. – DOI: 10.24412/2071-6168-2023-12-161-162. – EDN: XBSGJY.

References

1. Computer simulation of the operability of an electrical circuit in design automation systems / V. K. Zolnikov, S. V. Stoyanov, E. V. Shmakov, N. N. Litvinov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 26-36. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-24-34. – EDN EJKJP.

2. Epifanov, E. N. System analysis of acoustic properties of speech annunciators / E. N. Epifanov, V. F. Asminin, S. A. Sazonova // Modeling of systems and processes.

– 2024. – Vol. 17, No. 4. – pp. 42-53. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53. – EDN BMZBYL.

3. Creation of means of checking an electrical circuit using a circuit of test external influences / K. V. Zolnikov, D. V. Shekhovtsov, K. V. Litvinov, M. A. Solodilov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 36-44. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-34-42. – EDN EAGOOO.

4. Formalization of topology verification and electrical circuit for computer-aided design systems / T. V. Skvortsova, K. V. Solnikov, A.M. Plotnikov, I. V. Skorkin // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 61-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-59-68. – EDN DUYQHJ.

5. Zolnikov, K. V. Modeling and optimization of the design of a polar filter based on a coaxial resonator / K. V. Zolnikov, D. A. Achkasov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – pp. 43-50. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-43-50. – EDN POHLTW.

6. Nikolenko, S. D. Modeling of the occurrence of internal stresses in a complex material structure / S. D. Nikolenko, S. P. Kozodaev, S. A. Sazonova // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – pp. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61. – EDN DIXFHX.

7. The algorithm for diagnosing leaks of the target product in uncertain conditions for the hydraulic system / S. A. Sazonova, A. N. Koshel, I. N. Panteleev [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – pp. 71-82. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82. – EDN HDRQPC.

8. Increasing the formalization of topology and electrical circuit verification tasks for computer-aided design systems / A.V. Poluektov, K. V. Zolnikov, A.V. Achkasov, Yu.A. Chevychelov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 102-111. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-102-111. – EDN QIKKRO.

9. Sazonova, S. A. Modeling of the leak diagnosis process based on a two-alternative hypothesis, taking into account interference from stochastic consumption in the hydraulic system / S. A. Sazonova, I. V. Shcherbakova, G. I. Smetankina // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 111-120. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120. – EDN CSKRIZ.

10. Poluektov, A.V. Modeling the influence of electromagnetic fields on microcircuits / A.V. Poluektov, R. Y. Medvedev, K. V. Zolnikov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 129-136. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-129-136. – EDN HWPUXU.

11. Poluektov, A.V. Modeling the attenuation of ionizing radiation due to the protective housing of microcircuits / A.V. Poluektov, R. Y. Medvedev, A. I. Zarevich // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – pp. 93-100. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-93-100. – EDN QQRQXE.
12. Diagnostics of leaks with unknown amplitudes against the background of interference caused by accidental consumption in the hydraulic system for the forest complex / S. Sazonova, K. Zolnikov, T. Skvortsova [et al.] // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – p. 04016. – DOI: 10.1051/bioconf/202414504016. – EDN: SQXQKY.
13. Asminin, V.F. Experimental studies of vibro-excited thin-walled structural elements of machine tools with discrete vibration damping inserts / V.F. Asminin, S.A. Sazonova, A.S. Samofalova // Extracts from Tula State University. Technical sciences. – 2024. – No. 3. – pp. 525-529. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-525-526. – EDN: CBJRSA.
14. Nikolenko, S.D. Improving the quality of the material of industrial floors to increase impact resistance when exposed to machine-building equipment / S.D. Nikolenko, S.A. Sazonova, V.F. Asminin // Proceedings of Tula State University. Technical sciences. – 2024. – No. 3. – pp. 495-498. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-495-496. – EDN: SBVFRO.
15. Pertsev, V.T. Improving the quality of concrete by using metallic fibers / V.T. Pertsev, S.D. Nikolenko, S.A. Sazonova // Proceedings of Tula State University. Technical sciences. – 2024. – No. 3. – pp. 480-484. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-480-481. – EDN: TJXBCE.
16. Asminin, V.F. Evaluation of the sound insulation properties of a light-weight panel with an internal diamond-shaped structure based on computer modeling of the process of passage and absorption of sound energy in it / V.F. Asminin, E.V. Druzhinina, S.A. Sazonova // Noise Theory and Practice. – 2024. – T. 10. – № 1 (36). – Pp. 82-96. – EDN: OZLOHG.
17. Samofalova, A.S. Damping of vibration-damping thin-walled steel structures with discrete rubber inserts / A.S. Samofalova, V.F. Asminin, S.A. Sazonova // Noise Theory and Practice. – 2024. – Vol. 10. – № 1 (36). – Pp. 69-81. – EDN: FLGZTH.
18. Asminin V.F., Sazonova S.A., Samofalova A.S. Protection from noise of vibrationally excited thin-walled structural elements of machine tools with discrete vibration damping inserts // Proceedings of Tula State University. Technical sciences. – 2023. No. 12. – pp. 161-169. – DOI: 10.24412/2071-6168-2023-12-161-162. – EDN: XBSGJY.