

МЕТОДИКА ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ СВОБОДНОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ЗДАНИЯ

С.А. Сазонова¹, В.Ф. Асминин², И.М. Казбанова²

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Рассматриваются методика для численного определения скорости свободного движения при эвакуации людей из здания роддома. Выполнен анализ путей эвакуации. Выполнен расчет расчетного времени эвакуации из наиболее удаленной точки здания. Разработаны рекомендации по повышению эффективности эвакуации людей.

Ключевые слова: методика, численные расчеты, движение потоков людей, эвакуация из здания роддома, пожарная безопасность.

A TECHNIQUE FOR NUMERICALLY DETERMINING THE SPEED OF FREE MOVEMENT DURING EVACUATION FROM A BUILDING

S.A. Sazonova¹, V.F. Asminin², I.M. Kazbanova²

¹Voronezh State Technical University

²Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. A technique for numerically determining the speed of free movement during the evacuation of people from the hospital building is considered. The analysis of escape routes has been performed. The estimated evacuation time from the most remote point of the building has been calculated. Recommendations have been developed to improve the efficiency of evacuation of people.

Keywords: methodology, numerical calculations, movement of human flows, evacuation from the hospital building, fire safety.

В период с 2018 по 2020 год проведено естественное наблюдение за определением скорости свободных движений пациентов в родовых учреждениях в одной из основных перинатальных центров города Москва. Для проведения оценки была выбрана женщина третьего триместра 7-9 месяцев беременности.

Всего в группе женщин было выполнено порядка 400 измерений на прямом следовании пути, на лестнице вверх, на лестнице вниз (рис. 1).

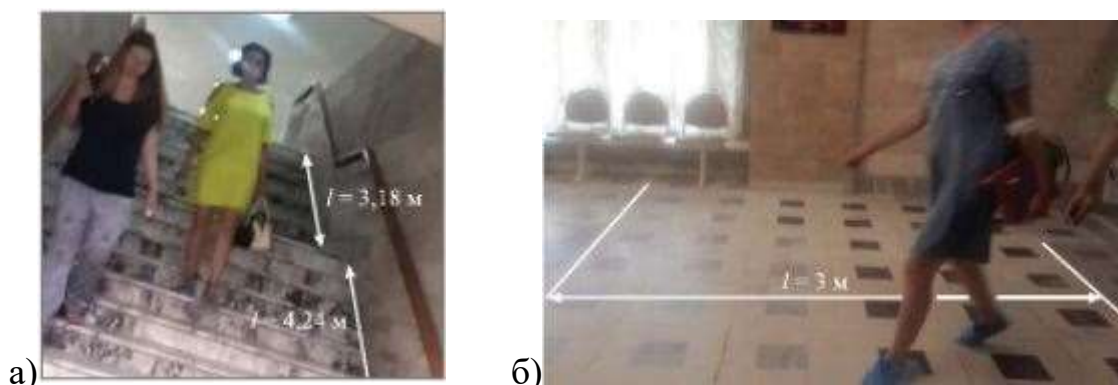


Рисунок 1 – Участки длиной l для фиксации движения беременных по лестнице а) и по горизонтальному участку пути б).

Рассмотрим применение методики на примере расчёта времени эвакуации. Время задержки начала эвакуации определяем из выражения

$$t_{н.э.} = 5 + 0,01 \cdot (2,2 \cdot 3,7) = 5,08 = 0,085 \text{ мин.} \quad (1)$$

Табличным значением выбранной методики определено, что в зданиях класса Ф 1.1 время эвакуации зависит от типа системы оповещения и управления эвакуацией человека. При условии, использования свода правил, где для больниц определяется СОУЭ 2 и 3 типа и учитывая фактическое использование СОУЭ 2 типа в здании обсервации БУЗ ВО «ВОКБ №2», табличное значение времени 6,0, что превышает расчётное. Тогда в дальнейшем расчёте будет использоваться время, рассчитанное по формуле (1). План путей эвакуации приведен на рис. 2.

Расчёт фактического времени эвакуации проводится с 2 этажа из палаты на улицу, количество человек в помещении – 3.

Первый участок - эвакуация из палаты второго этажа.

Плотность однородного людского потока на первом участке пути D_1 рассчитывают по формуле:

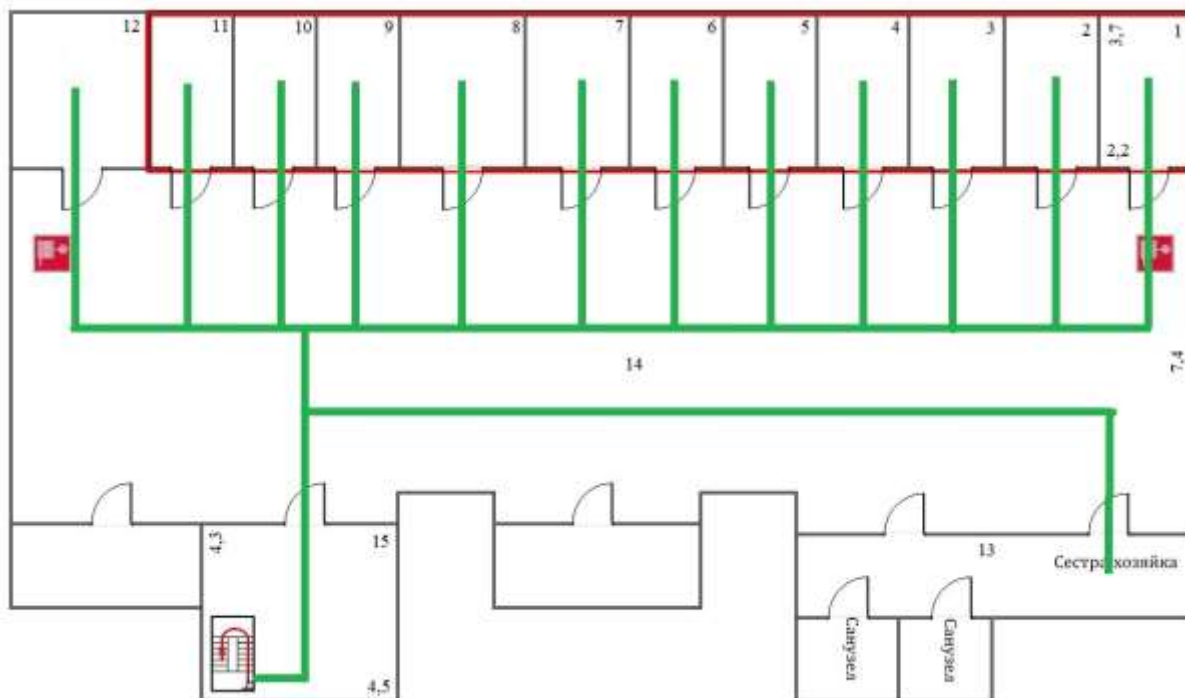
$$D_H = \frac{N_H \cdot f}{l_H \cdot \delta_H}, \quad (2)$$

где: N_H – количество человек, $N_H=3$ чел, $D_1 = 3 \cdot 0,13 / 3,7 \cdot 2,3 = 0,05 \text{ м/м}^2$.

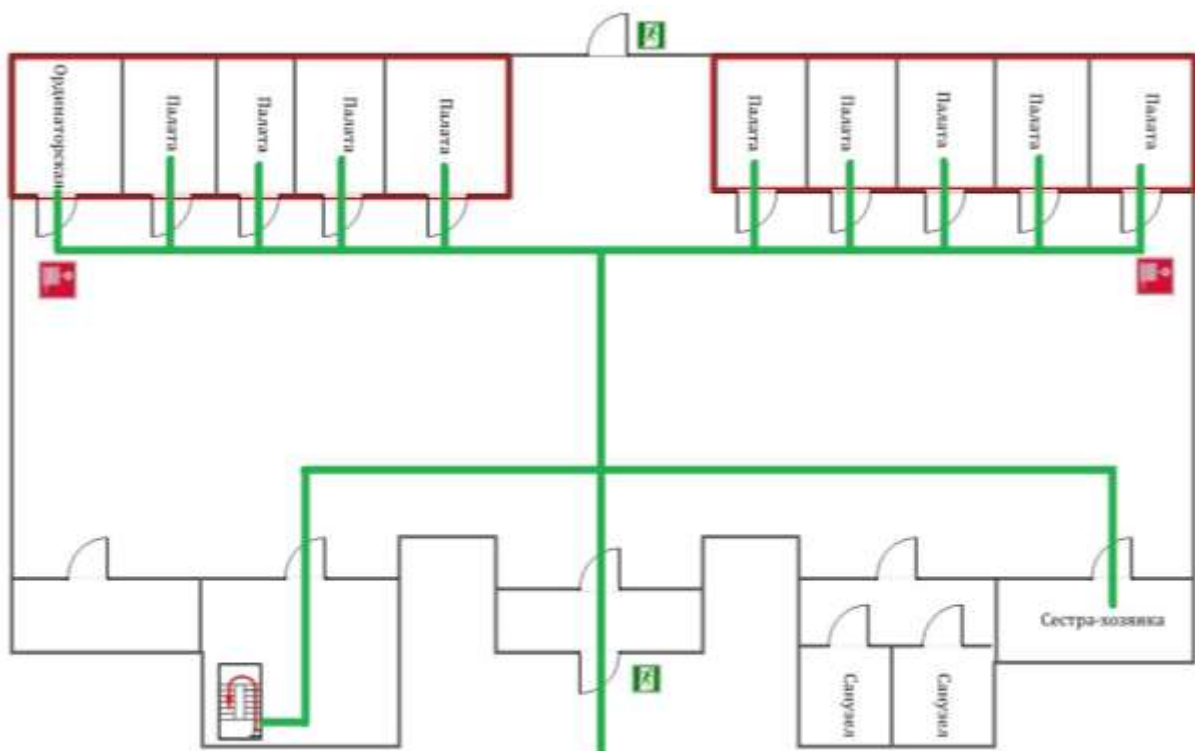
Получены следующие значения для плотности людского потока, интенсивности движения и скорости соответственно $D_H = 0,05 \text{ м/м}^2$ $q_1 = 5,0 \text{ м/мин}$, $V_H = 100 \text{ м/мин}$. Время движения потока на начальном участке:

$$t_1 = \frac{l_1}{V_1}. \quad (3)$$

t начального участка=3,7/100=0,037 мин.



а)



б)

Рисунок 2 - Пути эвакуации людей из здания роддома: а) эвакуация с 2 на 1 этаж; б) эвакуация первого и второго этажа с условием блокирования одного из выходов с момента начала пожара

Второй участок д – дверной проём, ведущий в коридор.

$$q_i = \frac{q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (4)$$

где δ_i, δ_{i-1} – ширина рассматриваемого i -го и предшествующего ему участка пути, м; q_i, q_{i-1} – интенсивности движения людского потока по рассматриваемому i -му и предшествующему участкам пути, м/мин.

$$q_2 = 5 \cdot 2,3/0,9 = 12,7 \text{ м/мин}, \quad l_2 = 0 \text{ м}, \quad d_2 = 0,9 \text{ м}.$$

Интенсивность движения по коридору:

$$q_3 = 12,7 \cdot 0,9/7,4 = 1,54 \text{ м/мин},$$

Третий участок – коридор второго этажа.

Далее в помещении 14 происходит слияние потоков из помещений палат второго этажа, ординаторской и из комнаты сестры-хозяйки.

При слиянии в начале i -го участка двух и более людских потоков, интенсивность движения q_i , м/мин, рассчитывают по формуле

$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (5)$$

где q_{i-1} – интенсивность движения людских потоков, сливающихся в начале i -го участка, м/мин; δ_{i-1} – ширина участков пути слияния, м; δ_i – ширина рассматриваемого участка пути, м.

Для нахождения значения слияния потоков, необходимо рассчитать интенсивность каждого потока людей при скоплении в одной точке. Так как здание имеет планировку секционно-коридорную, размеры палат с №1 по №7 (включительно), а также №9, №10 и №11 являются идентичными. Соответственно расчёты для выхода из палат в коридор через дверь будут являться повторением расчёта, проведённого для палаты №1.

Рассчитаем плотность потока и время для палаты № 8 и ординаторской, а также комнаты сестры-хозяйки.

Палата №8:

N_n – количество человек, $N_n = 3$ чел.

$$D_8 = 3 \cdot 0,13/3,7 \cdot 3,4 = 0,31 \text{ м/м}^2$$

Для промежуточных значений применяется метод линейной интерполяции.

$$b = 1,0 + \frac{5,0-1,0}{0,05-0,01} \times (0,03 - 0,01) = 3,0.$$

При плотности людского потока $D_n = 0,03 \text{ м/м}^2$, интенсивность движения $q_1 = 3,0 \text{ м/мин}$, скорость $V_n = 100 \text{ м/мин}$.

$$t_8 = l_8/v_8 = 31/100 = 0,031 \text{ мин}.$$

Проход через дверь в коридор:

$$l_{8д} = 0 \text{ м}, d_{8д} = 0,9 \text{ м}, q_{8д} = 3 \cdot 3,4/0,9 = 11,3 \text{ м/мин}, q_8 = 11,3 \cdot 0,9/7,4 = 1,37 \text{ м/мин.}$$

Ординаторская:

N_n – количество человек, $N_n = 6$ чел., $f = 0,29 \text{ м}^2$ – по размерам ПГП человека с младенцем на руках

$$D_{12} = 6 \cdot 0,29/3,7 \cdot 3,4 = 0,138 \text{ м/м}^2$$

При плотности людского потока $D_n = 0,138 \text{ м/м}^2$, интенсивность движения $q_1 = 3,0 \text{ м/мин}$, скорость $V_n = 100 \text{ м/мин}$.

$$b = 1,0 + \frac{5,0-1,0}{0,05-0,01} \times (0,138 - 0,01) = 13,8, t_{12} = l_{12}/v_{12} = 3,7/50 = 0,074 \text{ мин.}$$

Проход через дверь в коридор:

$$L_{12д} = 0 \text{ м}, \delta_{12д} = 0,9 \text{ м}, q_{12д} = 13,8 \cdot 3,4/0,9 = 17,75 \text{ м/мин} > q_{\max}$$

$$t = 6 \cdot 0,29 \cdot \left(\frac{1}{16,5 \cdot 1,9} - \frac{1}{17,75 \cdot 0,9} \right) = 0,118 \text{ мин.}$$

Время существования скопления $t_{ск}$ на участке i определяется по формуле:

$$t_{ск} = \frac{6 \cdot 0,29}{16,5 \cdot 1,9} = 0,05 \text{ мин}, q_{12} = 17,75 \cdot 0,9/7,4 = 2,158 \text{ м/мин},$$

Помещение для сестры-хозяйки:

N_n – количество человек, $N_n = 4$ чел., $f = 0,29 \text{ м}^2$ – средняя площадь горизонтальной проекции человека в летней одежде; l_n – длина участка, $l_{13} = 2,1 \text{ м}$; δ_n – ширина участка, $\delta_{13} = 6,6 \text{ м}$.

$$D_{13} = 4 \cdot 0,29/2,1 \cdot 6,6 = 0,83 \text{ м/м}^2; b = 1,0 + \frac{5,0-1,0}{0,05-0,01} \times (0,083 - 0,01) = 0,83; t_{13} = l_{13}/v_{13} = 2,1/19 = 0,110 \text{ мин.}$$

Проход через дверь в коридор:

$$L_{13д} = 0 \text{ м}, \delta_{13д} = 0,9 \text{ м}; q_{13д} = 0,83 \cdot 6,6/0,9 = 5,1 \text{ м/мин},$$

$$q_{13} = 5,1 \cdot 0,9/7,4 = 0,620 \text{ м/мин},$$

По формуле (13) определялась интенсивность объединенного людского потока:

$$q_{14} = (1,54 \times 0,9 + 1,54 \times 0,9 + 1,54 \times 0,9 + 1,54 \times 0,9 + 1,54 \times 0,9 + 1,54 \times 0,9 + 1,54 \times 0,9 + 1,37 \times 0,9 + 1,54 \times 0,9 + 1,54 \times 0,9 + 1,54 \times 0,9 + 2,158 \times 0,9 + 0,620 \times 0,9) / 7,4 = 2,3 \text{ мин}$$

$$t_{14} = l_{14}/v_{14} = 31/100 = 0,31 \text{ мин.}$$

Четвёртый участок д – дверь в помещение лестничной клетки

$$q_{15д} = 2,3 \cdot 7,4 / 0,9 = 18,9 \text{ м/мин} > q_{\max};$$

$$t = (33 \times 0,13) + (10 \times 0,29) \left(\frac{1}{16,5 \times 0,9} - \frac{1}{18,9 \times 7,4} \right) = 0,256 \text{ мин}; \quad t_{\text{ск}} = \frac{10 \cdot 0,29}{16,5 \cdot 0,9} = 0,195 \text{ мин.}$$

Пятый участок – помещение лестничной клетки

$$q_{15} = 18,9 \cdot 0,9 / 4,5 = 3,78 \text{ м/мин}, \quad t_{15} = l_{15} / v_{15} = 4,3 / 100 = 0,43 \text{ мин.}$$

Шестой участок дл – дверь на лестничную клетку

$$q_{15д5} = 3,78 \cdot 4,5 / 1,35 = 12,6 \text{ м/мин},$$

Седьмой участок – на этом участке вид пути лестница вниз, для данного вида пути максимальное значение интенсивности $q_{\max} = 16,0 \text{ м/мин}$, условие выполняется $q_{15дл} < q_{\max}$.

$$q_{15л} = 12,6 \cdot 1,35 / 1,35 = 12,6 \text{ м/мин},$$

для двухмаршевых лестниц (14):

$$L = \frac{L'}{\cos \alpha} \quad (14)$$

где L' – горизонтальная проекция длины наклонного пути, м; α – угол наклона к горизонту.

$$t_{15л} = l_{15л} / v_{15л} = 32,3 / 67 = 0,48 \text{ мин.}$$

Восьмой участок – проход через дверь в коридор для эвакуации.

$$q_{15д} = 12,6 \times 1,35 / 1,35 = 12,6 \text{ м/мин},$$

Девятый участок – движение по коридору первого этажа.

По формуле (13) определялась интенсивность объединенного людского потока:

$$q_{14} = (1,54 \times 0,9 + 1,54 \times 0,9 + 1,54 \times 0,9 + 1,54 \times 0,9 + 1,54 \times 0,9 + 1,54 \times 0,9 + 1,54 \times 0,9 + 1,37 \times 0,9 + 1,54 \times 0,9 + 1,54 \times 0,9 + 1,54 \times 0,9 + 2,158 \times 0,9 + 0,620 \times 0,9) / 7,4 = 12,3 \text{ мин}$$

$$t_{16} = l_{16} / v_{16} = 31 / 60 = 0,5 \text{ мин.}$$

Десятый участок – проход через дверь в тамбур

$$q_{17л} = 4,232 \times 7,4 / 1,35 = 23,19 \text{ м} > q_{\max};$$

$$t = 60 \times 0,13 \times \left(\frac{1}{19,6 \times 1,35} - \frac{1}{23,19 \times 7,4} \right) = 0,449 \text{ мин};$$

$$t_{\text{ск}} = \frac{(10 \cdot 0,29 + 60 \cdot 0,13)}{19,6 \cdot 1,35} = 0,657 \text{ мин.}$$

Одиннадцатый участок – движение по тамбуру

$$q_{17} = 23,19 \times 1,35 / 4,5 = 6,957 \text{ м}, \quad t_{17} = l_{17} / v_{17} = 1,9 / 90 = 0,021 \text{ мин.}$$

Двенадцатый участок – проход через дверь на улицу

$$q_{171} = 6,957 \times 4,5 / 1,35 = 23,19 \text{ М} > q_{\text{max}}$$

$$t = (60 \times 0,13) + (10 \times 0,29) \times \left(\frac{1}{19,6 \times 1,35} - \frac{1}{23,19 \times 4,5} \right) = 0,652 \text{ мин.}$$

По формуле (6) рассчитаем время эвакуации из палаты 2 этажа t_p

$$t_p = \sum t_i = 0,037 + 0,31 + 0,256 + 0,43 + 0,48 + 0,5 + 0,449 + 0,021 + \\ + 0,652 = 3,135 \text{ мин.}$$

Получили: 188,1 секунда – время эвакуации второго и первого этажа через центральный выход из здания роддома 60 беременных женщин, 20 человек медперсонала и 20 новорожденных детей.

Выполнен анализ соответствия объекта требованиям нормативных документов в области пожарной безопасности. В выпускной квалификационной работе на примере здания БУЗ ВО «ВРД № 2» были рассчитаны необходимое и расчётное время эвакуации. Расчётное время эвакуации из наиболее удаленной точки составляет 3,135 минуты.

Были даны следующие рекомендации по повышению эффективности эвакуации людей: иметь на объекте средства для эвакуации людей; иметь достаточный запас средств индивидуальной защиты участников тушения пожара и эвакуируемых лиц. В работе использовались материалы исследований [1-19].

Список литературы

1. Николенко, С.Д. Исследование причин аварий грузоподъемных кранов / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Ф. Асмнин // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. - 2021. - № 3-4 (25-26). - С. 107-111.
2. Сазонова, С.А. Формирование транспортного резерва в теплоэнергетических системах / С.А. Сазонова, В.Ф. Асмнин, С.Н. Кораблин, Д.А. Володкин // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. - 2022. - № 1 (27). - С. 28-34.
3. Condition monitoring of multi-apartment buildings / S. Sazonova, S. Nikolenko, E. Chernikov, S. Dyakonova, D. Sysoev, A. Lemeshkin, A. Minakov // AIP Conference Proceedings. – 2022. – V. 2647. - P. 030018.

4. Sazonova, S. Inspection of project documentation during the construction of an apartment building / S. Sazonova, S. Nikolenko, A. Meshcheryakova, L. Stenyukhin, D. Sysoev, A. Lemeshkin, A. Osipov // AIP Conference Proceedings. - 2022. – V. 2647. - P. 030019.

5. Nikolenko, S.D. Behavior of dispersion-reinforced concrete under dynamic action / S.D. Nikolenko, S.A. Sazonova, V.F. Asminin, N.V. Mozgovoi, L.N. Zvyagina // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. ICMSIT-III 2022: Metrological Support of Innovative Technologies. - 2022. - С. 022006.

6. Епифанов, Е.Н. Математическое моделирование процессов в звуковом поле помещений при речевом оповещении / Е.Н. Епифанов, В.Ф. Асмнин, С.А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. - 2023. - Т. 16. - № 3. - С. 21-30.

7. Асмнин, В.Ф. Моделирование и компьютерная визуализация процесса прохождения звуковых волн и их рассеивания в облегченной звукоизолирующей панели с гофрированной ромбовидной структурой / В.Ф. Асмнин, Е.В. Дружинина, С.А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. - 2023. - Т. 16. - № 3. - С. 7-20.

8. Методы обеспечения стойкости электронной компонентной базы к одиночным событиям путем резервирования / А.Е. Козюков, В.К. Зольников, С.А. Евдокимова, О.Н. Квасов, К.А. Яковлев, А.Д. Платонов // Моделирование систем и процессов. - 2021. - Т. 14. - № 1. - С. 10-16.

9. Зольников, В.К. Состояние разработок элементной базы для систем связи и управления / В.К. Зольников, А.Ю. Кулай, В.П. Крюков, С.А. Евдокимова // Моделирование систем и процессов. - 2016. - Т. 9. - № 4. - С. 11-13.

10. Зольников, В.К. Анализ проектирования блоков RISC-процессора с учетом сбоеустойчивости / В.К. Зольников, А.С. Ягодкин, В.И. Анциферова, С.А. Евдокимова, Т.В. Скворцова, А.И. Яньков // Моделирование систем и процессов. - 2019. - Т. 12. - № 4. - С. 56-65.

11. 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.

12. Сазонова, С.А. Разработка программных продуктов с использованием символьных и строковых переменных в объектно-ориентированной среде / С.А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. - 2022. - Т. 15. - № 3. - С. 44-54.

13. Asminin, V.F. Reducing the vibration excitability of a metal plate by applying variable vibrodamping inserts / V.F. Asminin, S.A. Sazonova, A.S. Samofalova // В сборнике: IX International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development. Namangan, Uzbekistan, 2024. - С. 03003.

14. Зольников, В.К. Экспериментальные исследования радиационного воздействия на микросхемы FRAM / В.К. Зольников, Н.Г. Гамзатов, В.И. Анциферова, А.В. Полуэктов, В.А. Фиронов // Моделирование систем и процессов. - 2022. - Т. 15. - № 3. - С. 16-24.

15. Ачкасов, А.В. Особенности проектирования микросхем, выполненных по глубоко-субмикронным технологиям / А.В. Ачкасов, М.В. Солодилов, Н.Н. Литвинов, П.А. Чубунов, В.К. Зольников, Д.В. Шеховцов, О.Л. Бордюжа // Моделирование систем и процессов. - 2022. - Т. 15. - № 4. - С. 7-17.

16. Ягодкин, А.С. Разработка алгоритмов и программ анализа электрических характеристик БИС / А.С. Ягодкин, В.К. Зольников, Т.В. Скворцова, А.В. Ачкасов, С.А. Кузнецов, Ф.В. Макаренко // Моделирование систем и процессов. - 2022. - Т. 15. - № 4. - С. 136-148.

17. Полуэктов, А.В. Моделирование работы диода и оценка параметров его работы / А.В. Полуэктов, Р.Ю. Медведев, В.К. Зольников // Моделирование систем и процессов. - 2023. - Т. 16. - № 1. - С. 85-93.

18. Sazonova, S.A. Environmental impact consideration in the measures to improve the builders of different specialties working conditions / S.A. Sazonova, V.K. Zolnikov, K.V. Zolnikov, E.A. Anikeev, S.A. Evdokimova, A. Groshev, E. Grosheva // В сборнике: E3S Web of Conferences. Ural Environmental Science Forum "Sustainable Development of Industrial Region" (UESF-2023). Chelyabinsk, 2023. - С. 02007.

19. Зольников, В.К. Разработка тестового кристалла при проектировании микросхем технологии КМОП / В.К. Зольников, О.В. Оксюта, К.А. Чубур, О.Н. Квасов // Моделирование систем и процессов. - 2020. - Т. 13. - № 3. - С. 58-65.

References

1. 1. Nikolenko, S.D. Investigation of the causes of accidents of lifting cranes / S.D. Nikolenko, S.A. Sazonova, V.F. Asminin // Information technologies in construction, social and economic systems. - 2021. - № 3-4 (25-26). - Pp. 107-111.

2. Sazonova, S.A. Formation of transport reserve in thermal power systems / S.A. Sazonova, V.F. Asminin, S.N. Korablin, D.A. Volodkin // Information technologies in construction, social and economic systems. - 2022. - № 1 (27). - Pp. 28-34.
3. Sazonova, S. Condition monitoring of multi-apartment buildings / S. Sazonova, S. Nikolenko, E. Chernikov, S. Dyakonova, D. Sysoev, A. Lemeshkin, A. Minaikov // AIP Conference Proceedings. – 2022. – V. 2647. - P. 030018.
4. Sazonova, S. Inspection of project documentation during the construction of an apartment building / S. Sazonova, S. Nikolenko, A. Meshcheryakova, L. Stenyukhin, D. Sysoev, A. Lemeshkin, A. Osipov // AIP Conference Proceedings. - 2022. – V. 2647. - P. 030019.
5. Nikolenko, S.D. Behavior of dispersion-reinforced concrete under dynamic action / S.D. Nikolenko, S.A. Sazonova, V.F. Asminin, N.V. Mozgovoi, L.N. Zvyagina // In the collection: Journal of Physics: Conference Series. ICMSIT-III 2022: Metrological Support of Innovative Technologies. - 2022. - p. 022006.
6. Epifanov, E.N. Mathematical modeling of processes in the sound field of rooms with speech notification / E.N. Epifanov, V.F. Asminin, S.A. Sazonova // Modeling of systems and processes. - 2023. - Vol. 16. - No. 3. - Pp. 21-30.
7. Asminin, V.F. Modeling and computer visualization of the process of sound waves passing and scattering in a lightweight soundproof panel with a corrugated diamond-shaped structure / V.F. Asminin, E.V. Druzhinina, S.A. Sazonova // Modeling of systems and processes. - 2023. - Vol. 16. - No. 3. - Pp. 7-20.
8. Kozyukov, A.E. Methods of ensuring the stability of the electronic component base to single events by redundancy / A.E. Kozyukov, V.K. Zolnikov, S.A. Evdokimova, O.N. Kvasov, K.A. Yakovlev, A.D. Platonov // Modeling of systems and processes. - 2021. - Vol. 14. - No. 1. - pp. 10-16.
9. Zolnikov, V.K. The state of development of the element base for communication and control systems / V.K. Zolnikov, A.Y. Kulai, V.P. Kryukov, S.A. Evdokimova // Modeling of systems and processes. - 2016. - Vol. 9. - No. 4. - pp. 11-13.
10. Zolnikov, V.K. Analysis of the design of RISC processor blocks taking into account fault tolerance / V.K. Zolnikov, A.S. Yagodkin, V.I. Antsiferova, S.A. Evdokimova, T.V. Skvortsova, A.I. Yankov // Modeling of systems and processes. - 2019. - Vol. 12. - No. 4. - pp. 56-65.
11. Asminin, V.F. Protection from noise of vibro-excited thin-walled structural elements of machine tools with discrete vibration damping inserts / V.F. Asminin, S.A. Sazonova, A.S. Samofalova // Proceedings of Tula State University. Technical sciences. - 2023. - No. 12. - Pp. 161-169.

12. Sazonova, S.A. Development of software products using symbolic and string variables in an object-oriented environment / S.A. Sazonova // Modeling of systems and processes. - 2022. - Vol. 15. - No. 3. - Pp. 44-54.

13. Asminin, V.F. Reducing the vibration excitability of a metal plate by using variable vibration damping inserts / V.F. Asminin, S.A. Sazonova, A.S. Samofalova // In the collection: IX International Conference on Advanced Agricultural Technologies, Environmental Engineering and Sustainable Development. Namangan, Uzbekistan, 2024. - P. 03003.

14. Zolnikov, V.K. Experimental studies of radiation effects on FRAM chips / V.K. Zolnikov, N.G. Gamzatov, V.I. Antsiferova, A.V. Poluektov, V.A. Fironov // Modeling of systems and processes. - 2022. - Vol. 15. - No. 3. - pp. 16-24.

15. Achkasov, A.V. Features of designing microcircuits made using deep-sub-micron technologies / A.V. Achkasov, M.V. Solodilov, N.N. Litvinov, P.A. Chubunov, V.K. Zolnikov, D.V. Shekhovtsov, O.L. Bordyuzha // Modeling of systems and processes. - 2022. - Vol. 15. - No. 4. - pp. 7-17.

16. Yagodkin, A.S. Development of algorithms and programs for analysis of electrical characteristics of BIS / A.S. Yagodkin, V.K. Zolnikov, T.V. Skvortsova, A.V. Achkasov, S.A. Kuznetsov, F.V. Makarenko // Modeling of systems and processes. - 2022. - Vol. 15. - No. 4. - pp. 136-148.

17. Poluektov, A.V. Modeling of diode operation and evaluation of parameters of its operation / A.V. Poluektov, R.Y. Medvedev, V.K. Zolnikov // Modeling of systems and processes. - 2023. - Vol. 16. - No. 1. - pp. 85-93.

18. Sazonova, S.A. Environmental impact consideration in the measures to improve the builders of different specialties working conditions / S.A. Sazonova, V.K. Zolnikov, K.V. Zolnikov, E.A. Anikeev, S.A. Evdokimova, A. Groshev, E. Grosheva // In the collection: E3S Web of Conferences. Ural Environmental Science Forum “Sustainable Development of Industrial Region” (UESF-2023). Chelyabinsk, 2023. - p. 02007.

19. Zolnikov, V.K. Development of a test crystal in the design of CMOS technology chips / V.K. Zolnikov, O.V. Oxyuta, K.A. Chubur, O.N. Kvasov // Modeling of systems and processes. - 2020. - Vol. 13. - No. 3. - pp. 58-65.