

## АПРОБАЦИЯ АЛГОРИТМОВ И МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СУДЕБНЫХ ПОЧЕРКОВЕДЧЕСКИХ ЭКСПЕРТИЗ

### APPROBATION OF ALGORITHMS AND METHODS OF SIMULATION OF THE PROCESS OF PRODUCTION OF FORENSIC HANDMARK EXAMINATIONS

*В статье приводятся примеры проверки истинности, эффективности и результативности результатов исследования, в ходе которых были разработаны алгоритмы и методы моделирования процесса производства судебных почерковедческих экспертиз. Процессы вычисления необходимых значений осуществлялись при помощи вычислительных программных средств, зарегистрированных в Федеральной службе по интеллектуальной собственности.*

*This article provides examples of verification of the truth, efficiency and effectiveness of the results of the study, during which algorithms and methods for modeling the process of producing forensic handwriting examinations were developed. The processes of calculating the required values were carried out using computing software registered with the Federal Service for Intellectual Property.*

**Введение.** С целью структурирования этапов и элементов проведения судебной почерковедческой экспертизы<sup>1</sup>, определения необходимых условий получения значимых выводов были проведены исследования, в ходе которых:

- разработана модель процесса производства данного вида экспертиз, позволяющая учитывать смену состояний параллельно развивающихся и взаимосвязанных процессов [1];
- применен вероятностный метод, инструментом которого стала стохастическая сеть Петри<sup>2</sup>, позволивший эксперту в зависимости от представленного на исследование объекта определить нахождения фишки в той или иной позиции [2];
- разработан аналитический метод исследования процесса производства СПЭ, учитывающий оценки качества этапов процесса производства [3];
- разработаны алгоритмы построения дерева достижимости и определения истинности применения матричного подхода к ССП, позволяющие провести анализ таких сетей [4—6].

**Постановка задачи.** С целью проверки истинности, эффективности и результативности данных алгоритмов и методов моделирования процесса производства СПЭ необходимо провести апробацию результатов исследований.

**Решение.** Используя метод экспертных оценок отдела по Левобережному району ЭКЦ ГУ МВД России по Воронежской области с 01.03.2021 по 31.08.2021, рассмотрим изменения маркировки при срабатывании переходов в модели процесса производства СПЭ, построенной при помощи аппарата сети Петри (рис. 1). Также определим вероятности нахождения фишек в позициях  $p_{14}$ ,  $p_{15}$ ,  $p_{16}$ ,  $p_{17}$  и  $p_{18}$ , необходимые для желаемого результата, используя программу «SPNTree» [7].

Исходные данные:

$$\mu^s(p_1) = \left\| \begin{smallmatrix} 0 \\ 1 \end{smallmatrix} \right\|, \mu^s(p_2) = \left\| \begin{smallmatrix} 0,2 \\ 0,8 \end{smallmatrix} \right\|, \mu^s(p_3) = \left\| \begin{smallmatrix} 0,9 \\ 0,1 \end{smallmatrix} \right\|, \mu^s(p_{19}) = \left\| \begin{smallmatrix} 0,9 \\ 0,1 \end{smallmatrix} \right\|,$$

<sup>1</sup> Далее — СПЭ.

<sup>2</sup> Далее — ССП.

$$\mu^s(p_6) = \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 \end{Bmatrix}, \mu^s(p_7) = \begin{Bmatrix} 0,1 \\ 0,9 \end{Bmatrix}, \mu^s(p_8) = \begin{Bmatrix} 0,9 \\ 0,1 \end{Bmatrix},$$

$$\mu^s(p_{10}) = \begin{Bmatrix} 0,8 \\ 0,2 \end{Bmatrix}, \mu^s(p_{11}) = \begin{Bmatrix} 0,2 \\ 0,8 \end{Bmatrix}.$$

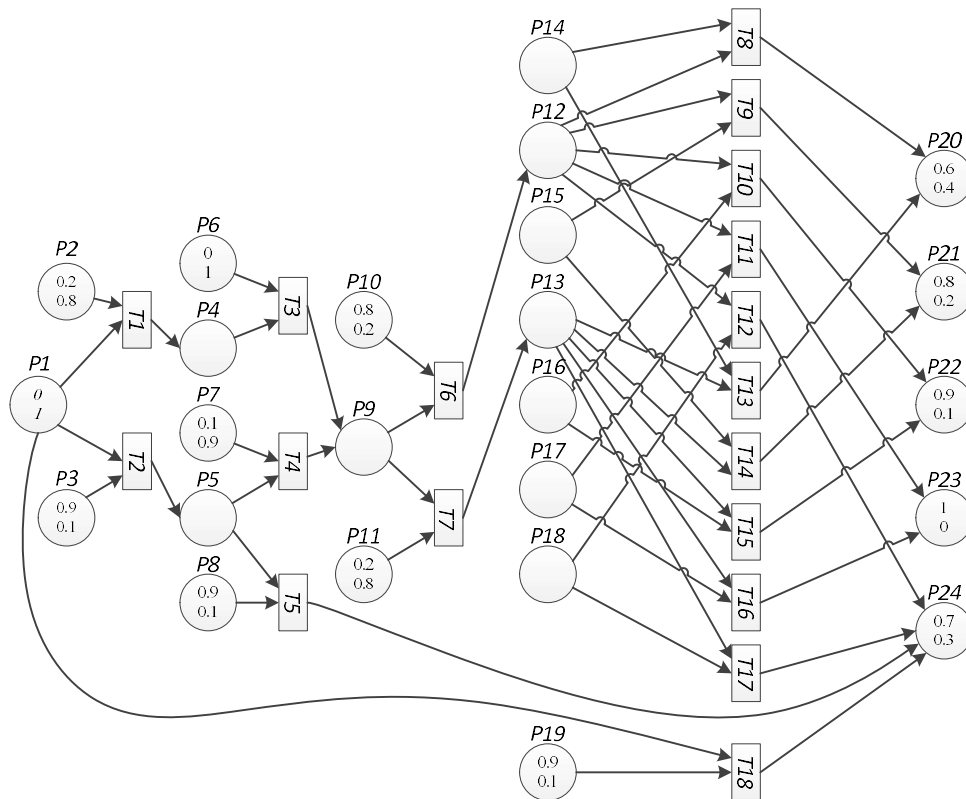


Рис. 1. Модель процесса производства судебной почерковедческой экспертизы с вероятностями нахождения фишек в некоторых позициях

Определим активные переходы и их последовательность срабатывания, а также вероятность нахождения фишек в остальных позициях для получения желаемого результата (рис. 2, 3).

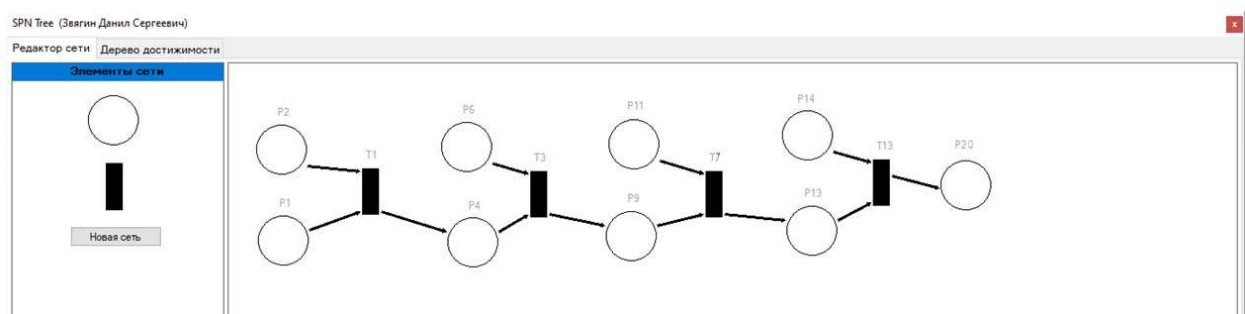


Рис. 2. Процесс построения ССП с выходной позицией, в которой окончательный вывод дается категорическим положительным

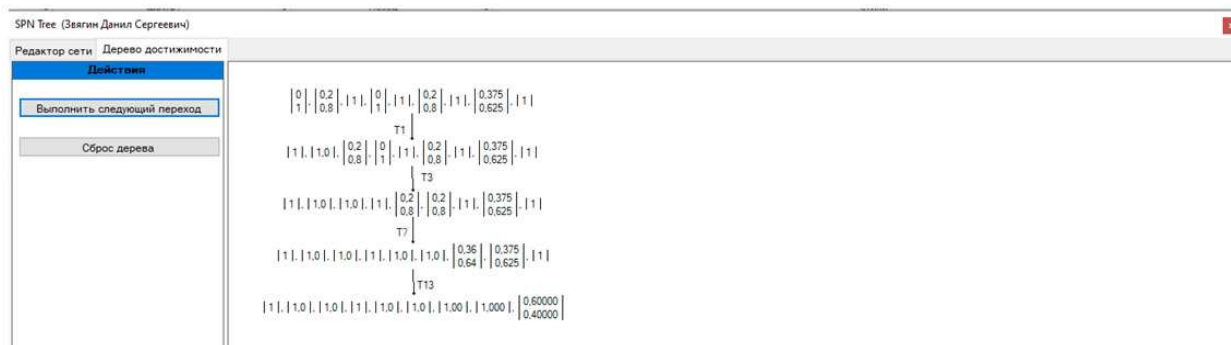


Рис. 3. Процесс вычисления вероятностей нахождения фишек в позициях

Как видно из вышеописанных вычислений, для того чтобы вероятность нахождения фишки в позиции  $p_{20}$  была равна 0,4, необходимо, чтобы активны были переходы  $t_1, t_3, t_7$  и  $t_{13}$ , а также вероятность нахождения фишки в позиции  $p_{14}$  была равна 0,625. Увеличение вероятности нахождения фишки в данной позиции возможно при помощи увеличения количества идентифицирующих признаков, а также их значимости, что, в свою очередь, приводит к увеличению значения показателя оценки качества процесса производства СПЭ.

Аналогичным образом определим активные переходы и их последовательность срабатывания, а также вероятность нахождения фишек в позициях для получения остальных желаемых результатов (табл. 1).

Таблица 1

Данные маркировок позиций при срабатывании переходов

Желаемый результат	Активные переходы	Возможная маркировка позиций
$\mu^s(p_{20}) = \begin{bmatrix} 0,6 \\ 0,4 \end{bmatrix}$	$t_1, t_3, t_7$ и $t_{13}$	$\mu^s(p_4) = \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,8 \end{bmatrix}, \mu^s(p_9) = \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,8 \end{bmatrix},$ $\mu^s(p_{13}) = \begin{bmatrix} 0,36 \\ 0,64 \end{bmatrix}, \mu^s(p_{14}) = \begin{bmatrix} 0,375 \\ 0,625 \end{bmatrix}$
$\mu^s(p_{21}) = \begin{bmatrix} 0,8 \\ 0,2 \end{bmatrix}$	$t_1, t_3, t_7$ и $t_{14}$	$\mu^s(p_4) = \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,8 \end{bmatrix}, \mu^s(p_9) = \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,8 \end{bmatrix},$ $\mu^s(p_{13}) = \begin{bmatrix} 0,36 \\ 0,64 \end{bmatrix}, \mu^s(p_{15}) = \begin{bmatrix} 0,6875 \\ 0,3125 \end{bmatrix}$
$\mu^s(p_{22}) = \begin{bmatrix} 0,9 \\ 0,1 \end{bmatrix}$	$t_1, t_3, t_7$ и $t_{15}$	$\mu^s(p_4) = \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,8 \end{bmatrix}, \mu^s(p_9) = \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,8 \end{bmatrix},$ $\mu^s(p_{13}) = \begin{bmatrix} 0,36 \\ 0,64 \end{bmatrix}, \mu^s(p_{16}) = \begin{bmatrix} 0,84375 \\ 0,15625 \end{bmatrix}$
	$t_1, t_3, t_6$ и $t_{10}$	$\mu^s(p_4) = \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,8 \end{bmatrix}, \mu^s(p_9) = \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,8 \end{bmatrix},$ $\mu^s(p_{12}) = \begin{bmatrix} 0,84 \\ 0,16 \end{bmatrix}, \mu^s(p_{16}) = \begin{bmatrix} 0,375 \\ 0,625 \end{bmatrix}$
$\mu^s(p_{23}) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$	$t_1, t_3, t_7$ и $t_{16}$	$\mu^s(p_4) = \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,8 \end{bmatrix}, \mu^s(p_9) = \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,8 \end{bmatrix},$ $\mu^s(p_{13}) = \begin{bmatrix} 0,36 \\ 0,64 \end{bmatrix}, \mu^s(p_{17}) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$
	$t_1, t_3, t_6$ и $t_{11}$	$\mu^s(p_4) = \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,8 \end{bmatrix}, \mu^s(p_9) = \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,8 \end{bmatrix},$ $\mu^s(p_{12}) = \begin{bmatrix} 0,84 \\ 0,16 \end{bmatrix}, \mu^s(p_{17}) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$

Желаемый результат	Активные переходы	Возможная маркировка позиций
$\mu^s(p_{24}) = \begin{vmatrix} 0,7 \\ 0,3 \end{vmatrix}$	$t_1, t_3, t_7$ и $t_{17}$	$\mu^s(p_4) = \begin{vmatrix} 0,2 \\ 0,8 \end{vmatrix}, \mu^s(p_9) = \begin{vmatrix} 0,2 \\ 0,8 \end{vmatrix},$ $\mu^s(p_{13}) = \begin{vmatrix} 0,36 \\ 0,64 \end{vmatrix}, \mu^s(p_{18}) = \begin{vmatrix} 0,53125 \\ 0,46875 \end{vmatrix}$

Также стоит отметить, что из полученных методом экспертных оценок значений входных позиций получить желаемый результат возможно только путями, описанными в таблице 1.

Для того чтобы была возможность воспользоваться другими путями, необходимо изменить значения входных позиций.

*Пример 1.*

Если необходимо для получения желаемого результата в позиции  $p_{24}$  воспользоваться активным переходом  $t_{18}$ , следует изменить вероятность нахождения фишки в позиции  $p_{19}$  с 0,1 на 0,3, что соответствует увеличению количества объектов исследования, являющихся технической подделкой.

И наоборот, для уменьшения количества выводов в форме «не представляется возможным»<sup>3</sup>, воспользовавшись активным переходом  $t_{18}$ , необходимо уменьшение количества данного рода объектов. Исходя из данных, представленных на рисунке 1, вероятность нахождения фишки в позиции  $p_{19}$  равна 0,1, что в свою очередь дает основание полагать, что маркировка выходной позиции будет равна

$$\mu^s(p_{24}) = \begin{vmatrix} 0,9 \\ 0,1 \end{vmatrix}.$$

*Пример 2.*

При активных переходах  $t_2$  и  $t_5$  для уменьшения количества выводов в форме НПВ необходимо уменьшить вероятность нахождения фишки в позиции  $p_8$ , являющую условием, при котором на экспертизу не представлены соответствующие образцы почерка.

В нашем случае при вероятности нахождения фишки в позиции  $p_8$ , равной 0,1,

$$\mu^s(p_{24}) = \begin{vmatrix} 0,99 \\ 0,01 \end{vmatrix}.$$

*Пример 3.*

При активных переходах  $t_1, t_3, t_6, t_{12}, t_1, t_3, t_7, t_{17}, t_2, t_4, t_6, t_{12}$  или  $t_2, t_4, t_7, t_{17}$  для уменьшения количества выводов в форме НПВ необходимо уменьшить вероятность нахождения фишки в позиции  $p_{18}$ .

К примеру, используя данные из таблицы 1, при активных переходах  $t_1, t_3, t_7$  и  $t_{17}$

$$\mu^s(p_{24}) = \begin{vmatrix} 0,7 \\ 0,3 \end{vmatrix}.$$

Для уменьшения вероятности данного вывода снизим вероятность нахождения фишки в позиции  $p_{18}$  с 0,46875 до 0,1, тогда

$$\mu^s(p_{24}) = \begin{vmatrix} 0,936 \\ 0,064 \end{vmatrix}.$$

Уменьшение вероятности нахождения фишки в позиции  $p_{18}$  возможно при помощи увеличения количества идентифицирующих признаков, их значимости, а также других причин, описанных в [1], что в свою очередь приводит к увеличению значения показателя оценки качества процесса производства СПЭ.

Теперь проведем вычислительный эксперимент с использованием матричных уравнений, необходимых для анализа данной ССП.

<sup>3</sup> Далее — НПВ.

Имея значения входных позиций и желаемого результата категорического положительного вывода, воспользуемся алгоритмами определения истинности применения матричного подхода к стохастическим сетям Петри [5] и добавления необходимых элементов в прямоугольную матрицу [6], а также программой «SPNMatrixAnalyzer» [8] для установления активных переходов и их последовательности срабатывания.

Для этого рассмотрим фрагмент модели процесса производства СПЭ со всеми возможными путями, которые могут привести к категорическому положительному выводу (рис. 4).

В данной модели позиции  $p_4$  соответствует позиция  $p_6$  модели процесса производства СПЭ [1] ( $p_4 \sim p_6$ ). Аналогично этому:

$$p_5 \sim p_4, p_6 \sim p_7, p_7 \sim p_5, p_8 \sim p_{10}, p_{10} \sim p_{11}, p_{11} \sim p_{14}, t_5 \sim t_6, t_6 \sim t_7, t_7 \sim t_8, t_8 \sim t_{13}.$$

Определим составную матрицу изменений  $D$  и дополним ее недостающими элементами, после чего вычислим вектор запуска переходов  $x$  (рис. 5).

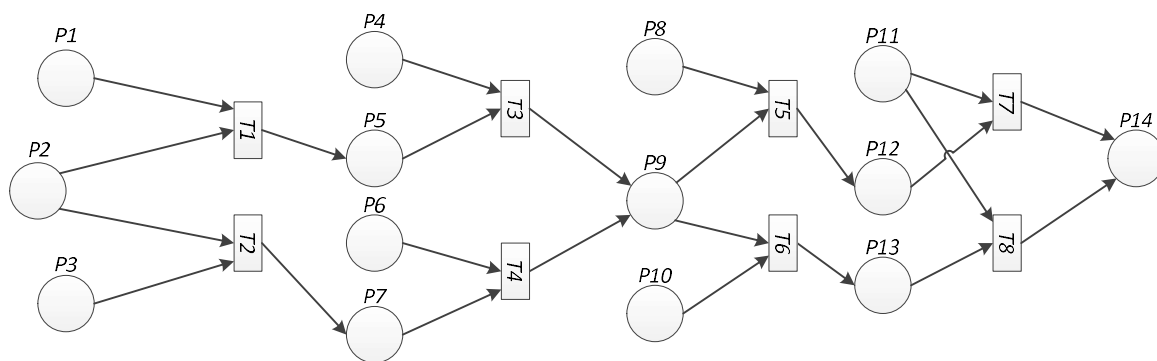


Рис. 4. Перестроенная модель процесса производства судебной почерковедческой экспертизы

Как видно из расчетов, максимальным значениям 0,8 соответствуют переходы  $t_1, t_3, t_6$  и  $t_8$ . Данный эксперимент помог установить активные переходы и последовательность их запусков, необходимых для получения желаемого результата, чем в нашем случае является вероятность нахождения фишки равной 0,4, в позиции, соответствующей категорическому положительному выводу.

Используя разработанные модели, методы и алгоритмы, можно провести анализ эффективности применения ССП для моделирования процесса производства СПЭ. Для этого воспользуемся статистикой СПЭ, назначенных в отделе по Левобережному району ЭКЦ ГУ МВД России по Воронежской области с 01.09.2020 по 28.02.2021 и с 01.03.2021 по 31.08.2021, с момента внедрения результатов диссертационного исследования, а именно программы «SPNQuality» (рис. 6) [9].

SPN Matrix Analyzer

Настройки

Размер матриц: 14

Задать настройки

Матрица изменений D:

-1	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-1	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	-1	-1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Начальная маркировка сети  $\mu$ s:

0	0,2	1	0	1	1	1	1	1	0,2	0,375	1	1	1	1
1	0,8	0	1	0	0	0	0	0	0,8	0,625	0	0	0	0

Конечная маркировка сети  $\mu$ s\*:

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4

Рассчитать

Результующая матрица:

-0,80000	0,40000	-0,80000	0,40000	0,40000	-0,80000	0,40000	-0,80000	0,59999	-0,40000	0,19999	-0,40000	0,40000	0,22499	0,22499
0,80000	-0,40000	0,80000	-0,40000	-0,40000	0,80000	-0,40000	0,80000	-0,59999	0,40000	-0,19999	0,40000	-0,40000	-0,22499	-0,22499

Рис. 5. Вычисление вектора запуска переходов

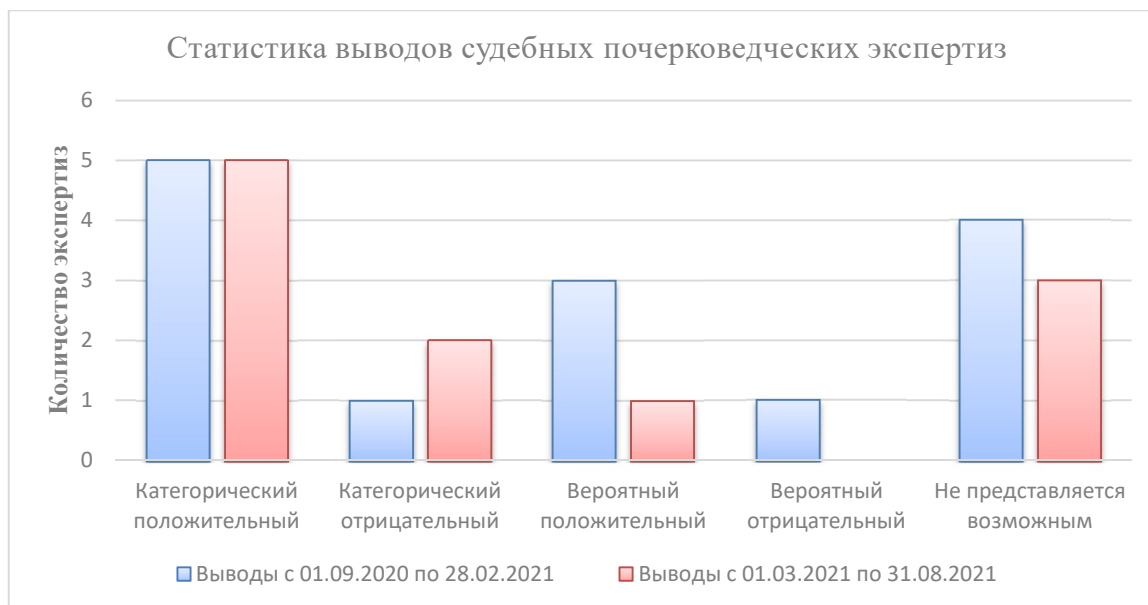


Рис. 6. Статистика выводов судебных почерковедческих экспертиз с 01.09.2020 по 28.02.2021 и с 01.03.2021 по 31.08.2021

в отделе по Левобережному району ЭКЦ ГУ МВД России по Воронежской области

Всего с 01.09.2020 по 28.02.2021 в отделе по Левобережному району ЭКЦ ГУ МВД России по Воронежской области было назначено 14 экспертиз, а с 01.03.2021 по 31.08.2021 — 11 экспертиз.

Исходя из данной статистики, видно, что после внедрения программы «SPNQuality» процентная составляющая категорических выводов выросла (рис. 7):

- категорический положительный вырос на 10 процентов;
  - категорический отрицательный — на 11 процентов,
- а процентная составляющая вероятных выводов и выводов в форме НПВ снизилась:
- вероятный положительный уменьшился на 12 процентов;
  - вероятный отрицательный — на 7 процентов;
  - НПВ — на 2 процента.



Рис. 7. Статистика выводов судебных почерковедческих экспертиз с 01.09.2020 по 28.02.2021 и с 01.03.2021 по 31.08.2021 в отделе по Левобережному району ЭКЦ ГУ МВД России по Воронежской области

Помимо этого выросло значение показателя качества проведения СПЭ, зависящей от количества сравнительных образцов, представленных следователем.

Так, с 01.09.2020 по 28.02.2021 (рис. 8):

$$\pi_{k(4)} = 7,782,$$

а с 01.03.2021 по 31.08.2021 (рис. 9):

$$\pi_{k(4)} = 8,197.$$

Чем больше значение показателя качества проведения СПЭ, зависящей от количества сравнительных образцов, тем больше вероятность нахождения фишек в позициях  $p_{14}$  (позиция, являющаяся условием, при котором дается категорический положительный вывод) и  $p_{15}$  (позиция, являющаяся условием, при котором дается категорический отрицательный вывод).

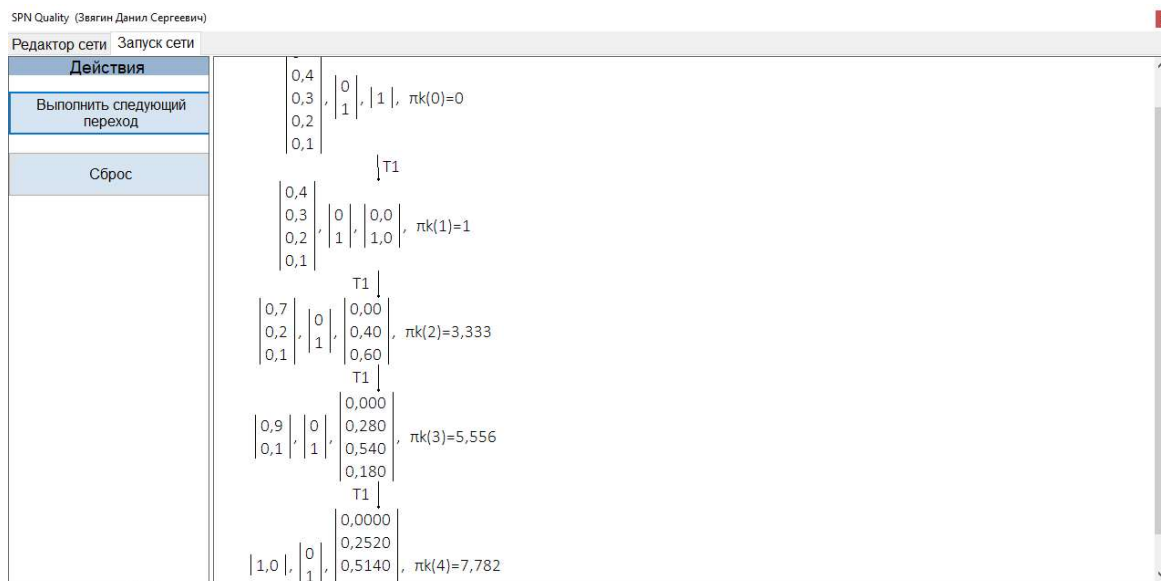


Рис. 8. Вычисление значения показателя качества проведения СПЭ, зависящей от количества сравнительных образцов, согласно статистике отдела по Левобережному району ЭКЦ ГУ МВД России по Воронежской области с 01.09.2020 по 28.02.2021

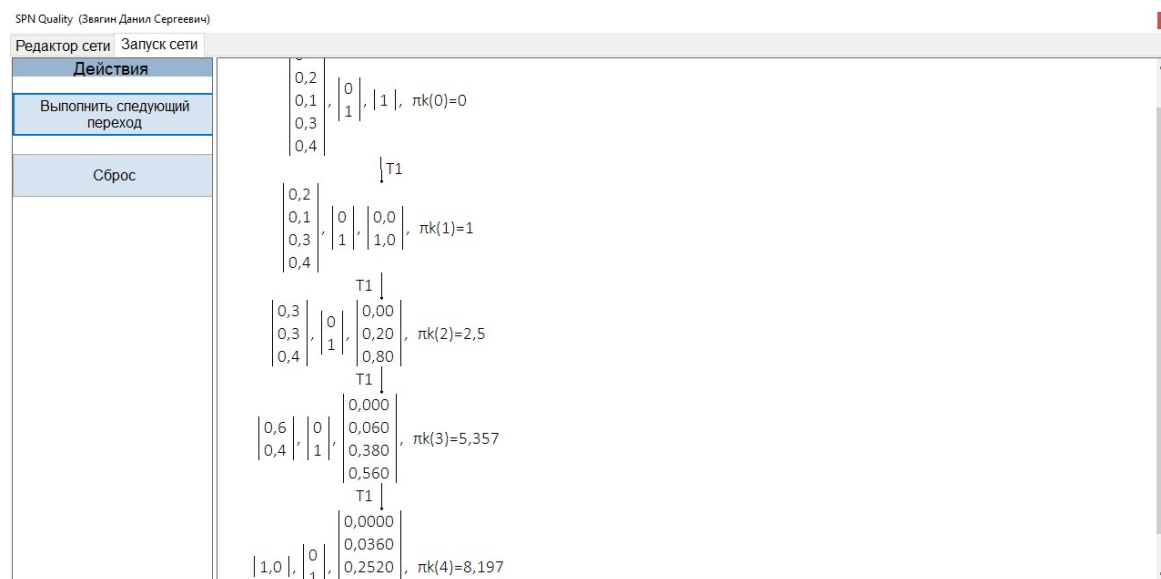


Рис. 9. Вычисление значения показателя качества проведения СПЭ, зависящей от количества сравнительных образцов, согласно статистике отдела по Левобережному району ЭКЦ ГУ МВД России по Воронежской области с 01.03.2021 по 31.08.2021

**Заключение.** Проведя апробацию результатов исследований, мы удостоверились в истинности, эффективности и результативности алгоритмов и методов моделирования процесса производства СПЭ. Полученные результаты исследования можно использовать не только для анализа процесса производства СПЭ, но также для многих других динамических процессов и систем, моделирование которых возможно осуществить при помощи ССП.

ЛИТЕРАТУРА



1. Пьянков О. В., Звягин Д. С. Моделирование процесса производства судебной почерковедческой экспертизы при помощи сетей Петри // Вестник Воронежского института МВД России. — 2020. — № 1. — С. 57—64.
2. Звягин Д. С. Моделирование процесса производства судебной почерковедческой экспертизы с использованием стохастических сетей Петри // Вестник Воронежского института МВД России. — 2020. — № 2. — С. 154—163.
3. Звягин Д. С. Модель оценки качества процесса производства судебной почерковедческой экспертизы на основе стохастической сети Петри // Вестник Воронежского института МВД России. — 2020. — № 4. — С. 109—117.
4. Звягин Д. С. Алгоритм построения дерева достижимости для стохастических сетей Петри // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2020. — Т. 16. — № 2. — С. 34—41.
5. Звягин Д. С., Пьянков О. В., Копылов А. Н. Матричный подход решения задач достижимости в стохастических сетях Петри // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия: Естественные науки. — 2022. — № 3 (102). — С. 4—16.
6. Звягин Д. С. Условия применения матричного подхода к стохастическим сетям Петри // Вестник Воронежского института МВД России. — 2021. — № 3. — С. 101—110.
7. Звягин Д. С. SPNTree : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 08.02.2021 № 2021611900. — М. : ФИПС, 2021.
8. Звягин Д. С. SPNMatrixAnalyzer : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 02.03.2021 № 2021613068. — М. : ФИПС, 2021.
9. Звягин Д. С. SPNQuality : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 16.02.2021 № 202161231. — М. : ФИПС, 2021.

#### REFERENCES

1. P'yankov O. V., Zvyagin D. S. Modelirovanie processa proizvodstva sudebnoj pocherkovedcheskoj ekspertizy pri pomoshchi setej Petri // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2020. — № 1. — S. 57—64.
2. Zvyagin D. S. Modelirovanie processa proizvodstva sudebnoj pocherkovedcheskoj ekspertizy s ispol'zovaniem stohasticheskikh setej Petri // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2020. — № 2. — S. 154—163.
3. Zvyagin D. S. Model' ocenki kachestva processa proizvodstva sudebnoj pocherkovedcheskoj ekspertizy na osnove stohasticheskoy seti Petri // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2020. — № 4. — S. 109—117.
4. Zvyagin D. S. Algoritm postroeniya dereva dostizhimosti dlya stohasticheskikh setej Petri // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. — 2020. — Т. 16. — № 2. — S. 34—41.
5. Zvyagin D. S., P'yankov O. V., Kopylov A. N. Matrichnyj podhod resheniya zadach dostizhimosti v stohasticheskikh setyah Petri // Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Seriya: Estestvennye nauki. — 2022. — № 3 (102). — S. 4—16.
6. Zvyagin D. S. Usloviya primeneniya matrichnogo podhoda k stohasticheskim setyam Petri // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2021. — № 3. — S. 101—110.
7. Zvyagin D. S. SPNTree : svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM ot 08.02.2021 № 2021611900. — М. : FIPS, 2021.
8. Zvyagin D. S. SPNMatrixAnalyzer : svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM ot 02.03.2021 № 2021613068. — М. : FIPS, 2021.
9. Zvyagin D. S. SPNQuality : svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM ot 16.02.2021 № 202161231. — М. : FIPS, 2021.

