

## Исследование состояний подсистемы последовательного анализа лесовозных автомобильных дорог с прогнозированием объема контрольно-приемочных измерений на основе теории Марковских случайных процессов

В.А. Тимофеев<sup>1a</sup>, П.В. Тихомиров<sup>2b</sup>, Д.Г. Козлов<sup>3c</sup>, О.Н. Тверитнев<sup>1d</sup>, А.А. Скрыпников<sup>1e</sup>, Ю.А. Боровлев<sup>1f</sup>, Е.Д. Щербаков<sup>1g</sup>, М.Н. Казачек<sup>5h</sup>, А.Ю. Жук<sup>6i</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции, 19, Воронеж, Россия

<sup>2</sup> Брянский государственный инженерно-технологический университет, пр. Станке Димитрова, 3, Брянск, Россия

<sup>3</sup> Воронежский государственный аграрный университет им. Петра I, ул. Мичурина, 1, Воронеж, Россия

<sup>4</sup> Военно-воздушная академия им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54а, Воронеж, Россия

<sup>5</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, 8, Воронеж, Россия

<sup>6</sup> Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

<sup>a</sup> timofeev\_va@mail.ru, <sup>b</sup> vtichomirov@mail.ru, <sup>c</sup> dimvsau@mail.ru, <sup>d</sup> tveritneffo@yandex.ru, <sup>e</sup> aleksei-skrypnikov@mail.ru,

<sup>f</sup> borov.borov.ar@yandex.ru, <sup>g</sup> skrypnikovvsafe@mail.ru, <sup>h</sup> kazachekmaria@yandex.ru, <sup>i</sup> lpf@brstu.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4708-0645>, <sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0817-9300>,

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8183-0393>, <sup>e</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6587-3406>, <sup>f</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5431-9944>,

<sup>g</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>, <sup>h</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4708-0627>, <sup>i</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1808-245X>

Статья поступила 31.08.2022, принята 08.09.2022

*Важной технологической задачей является процесс исследования состояния лесовозных дорог способом контрольных измерений геометрических параметров. Существует много методик для проведения этого процесса. В статье рассматривается метод вероятностно-статистического последовательного анализа марковских, и предлагается научное обоснование применения метода в приемке качества лесовозных дорог. Экспериментально доказано, что с помощью вероятностно-статистического последовательного анализа можно существенно сокращать объем, а, следовательно, повышать производительность контрольно-приемочных измерений в 4 раза по сравнению с рекомендациями СНиП. При этом объективность соответствующих заключений остается на прежнем уровне, критерий оценки качества принимаемых работ соответствует всем требованиям действующих норм. В качестве эксперимента было проведено обследование геометрических параметров дороги, для чего выбраны захватки длиной 400 м, на 10 % длины всего участка. Обследование проводилось двумя способами: по предлагаемой методике с использованием последовательного анализа и по методике, рекомендуемой СНиП. Для обоснования применения был проведен сравнительный анализ производительности и объективности приемки участка лесовозной дороги, произведенный методом марковских и методом СНиП. По результатам сравнительного анализа сделан вывод о том, что показатели производительности обследования геометрических параметров лесовозной дороги по предлагаемому методу с использованием последовательного анализа в 4 раза выше производительности приемки по методу СНиП, а объективность заключения о качестве и реализации геометрических параметров для объектов при этом не снижается. В итоге выдвинуто научно-математическое обоснование применения метода марковских, и разработаны соответствующие рекомендации для практического применения предлагаемой методики.*

**Ключевые слова:** лесовозные автомобильные дороги; геодезический контроль; контрольно-приемочные измерения; вероятностно-статистический анализ.

## Investigation of the states of the subsystem of sequential analysis of logging roads with the prediction of the volume of control and acceptance measurements based on the theory of Markov random processes

V.A. Timofeev<sup>1a</sup>, P.V. Tikhomirov<sup>2b</sup>, D.G. Kozlov<sup>3c</sup>, O.N. Tveritnev<sup>1d</sup>, A.A. Skrypnikov<sup>1e</sup>, Yu.A. Borovlev<sup>1f</sup>, E.D. Shcherbakov<sup>1g</sup>, M.N. Kazachek<sup>5h</sup>, A.Yu. Zhuk<sup>6i</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies; 19, Revolyutsii Ave., Voronezh, Russia

<sup>2</sup> Bryansk State University of Engineering and Technology; 3, Stanke Dimitrov Ave., Bryansk, Russia

<sup>3</sup> Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I; 1, Michurin St., Voronezh, Russia

<sup>4</sup> Air Force Academy named after N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin; 54a, Starykh Bolshevikov St., Voronezh, Russia

<sup>5</sup> Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov; 8, Timiryazev St., Voronezh, Russia

<sup>6</sup> Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

<sup>a</sup> timofeev\_ya@mail.ru, <sup>b</sup>vtichomirov@mail.ru, <sup>c</sup> dimvsau@mail.ru, <sup>d</sup> tveritneffo@yandex.ru, <sup>e</sup>aleksei-skrypnikov@mail.ru, <sup>f</sup>borov.borov.ar@yandex.ru, <sup>g</sup> skrypnikovvsafe@mail.ru, <sup>h</sup> kazachekmaria@yandex.ru, <sup>i</sup> lpf@brstu.ru  
<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4708-0645>, <sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0817-9300>,  
<sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8183-0393>, <sup>e</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6587-3406>, <sup>f</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5431-9944>,  
<sup>g</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>, <sup>h</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4708-0627>, <sup>i</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1808-245X>  
 Received 31.08.2022, accepted 08.09.2022

*An important technological task is the process of studying the condition of logging roads by means of control measurements of geometric parameters. There are many techniques for carrying out this process. The article discusses the method of probabilistic and statistical sequential the Markov analysis and offers a scientific justification for the use of the method in the acceptance of the quality of logging roads. It has been experimentally proved that with the help of probabilistic and statistical sequential analysis, it is possible to significantly reduce the volume, and, consequently, increase the productivity of control and acceptance measurements by 4 times compared with the recommendations of the Building Rules and Regulations (BRR). At the same time, the objectivity of the relevant conclusions remains at the same level, the criterion for assessing the quality of accepted works meets all the requirements of the current norms. As an experiment, a survey of the geometric parameters of the road is carried out, for which 400m long grapples are selected for 10% of the length of the entire section. The survey is conducted in two ways: according to the proposed methodology using sequential analysis and according to the methodology recommended by the BRR. To substantiate the application, a comparative analysis of the productivity and objectivity of the acceptance of the logging road section produced by the Markov method and the BRR method is carried out. Based on the results of a comparative analysis, it is concluded that the performance indicators of the survey of geometric parameters of a logging road using the proposed method of sequential analysis are four times higher than the acceptance performance according to the BRR method, and the objectivity of the conclusion on the quality and implementation of geometric parameters for objects is not reduced. As a result, a scientific and mathematical justification for the use of the Markov method is put forward and appropriate recommendations are developed for the practical application of the proposed methodology.*

**Keywords:** logging highways; geodetic control; control and acceptance measurements; probabilistic and statistical analysis.

**Введение.** Как показывает анализ литературных источников, в настоящее время существует множество методик исследования состояния лесовозных дорог способом контрольных измерений геометрических параметров. Все это множество методов обладает рядом недостатков, таких как сложность проведения анализа и значительная трудоемкость.

**Постановка задачи.** Предлагается научное обоснование применения метода вероятностно-статистического последовательного анализа марковских в приемке качества лесовозных дорог. Согласно вероятностно-статистическому последовательному анализу, можно существенно сокращать объем, а, следовательно, повышать производительность контрольно-приемочных измерений в 4 раза по сравнению с рекомендациями СНиП. При этом объективность соответствующих заключений остается на прежнем уровне, критерий оценки качества принимаемых работ соответствует всем требованиям действующих норм.

**Методика исследования.** Процесс контрольных измерений геометрических параметров законченных строительством лесовозных автомобильных дорог с применением вероятностно-статистического последовательного анализа результатов этих измерений можно представить в виде марковского неоднородного случайного процесса с дискретными состояниями и дискретным временем. Действительно, имеется физическая система  $S_i$ , состояние которой меняется в процессе контрольных измерений случайным образом. При протекании такого процесса вероятность любого состояния системы в будущем в каждый момент времени зависит только от ее состояния в настоящем. В процессе значении ( $S^2$ ) после каждого последующего контрольного измерения  $n$  зависит только от значения ( $S^2$ ) в предыдущий момент ( $n-1$ ) и не зависит от того, как это значение формировалось ранее. Вероятности перехода из

одного состояния системы в другое зависят от номера шага, т. е. чем больше число контрольных измерений, тем больше вероятность окончания процесса последовательного анализа с принятием одного из граничных решений. Итак, по всем признакам, мы имеем дело с неоднородной цепью Маркова с дискретными состояниями и временем. Модель указанного марковского случайного процесса геометрически можно представить в виде графа возможных состояний подсистемы:  $S_1$  — измерения необходимо продолжить ( $a < [S^2] < r$ );  $S_2$  — измерения закончить с принятием положительного решения ( $[S^2] < a$ );  $S_3$  — измерения закончить с принятием отрицательного решения ( $[S^2] > r$ ).

Граф возможных состояний подсистемы принятия решений с указанными вероятностями перехода из одного состояния в другое показан на рис. 1. После каждого измерения у каждого возможного состояния подсистемы  $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$  будет определенная вероятность, а также вероятность перехода из одного состояния в другое после следующего измерения. Эти вероятности можно вычислить последовательно для каждого контрольного измерения. Очевидно, что по мере увеличения числа контрольных измерений вероятность окончания процесса последовательного анализа будет увеличиваться и на определенном этапе достигнет величины, близкой к единице. Этот этап и определит прогнозируемое максимально возможное число контрольных измерений. Для определения указанного числа нами вычислялись вероятности состояний подсистемы  $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$  для каждого измерения по теоретическим предпосылкам работ с составлением соответствующего алгоритма и программ вычислений.

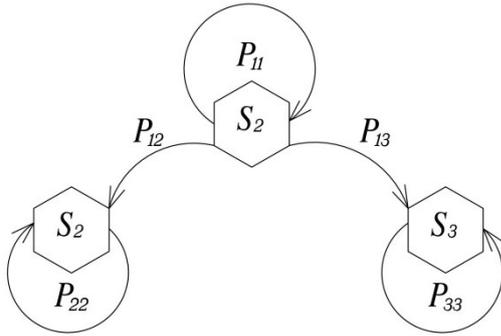


Рис. 1. Граф возможных состояний системы последовательного анализа с переходными вероятностями (подсистема принятия решений).

Сначала были определены с точностью до  $10^{-6}$  значения  $X_{1,n}^2$  и  $X_{2,n}^2$ , отсутствующие в математических таблицах, при доверительной вероятности  $P = 0,9973$  следующим образом: по таблице интеграла вероятностей  $X^2$  (10, 202с) по приближенному значению  $X_n^2$ , пользуясь формулой Бесселя для квадратической интерполяции, вычисляем вероятность:

$$P(X_n^2) = P(X_{0,n}^2) + u \cdot \Delta P(X_{0,n}^2) - \frac{u(1-u)}{2} \cdot \frac{\Delta P(X_{+1,n}^2) - \Delta P(X_{-1,n}^2)}{2} \quad (1)$$

где  $X_{-1,n}^2$ ;  $X_{0,n}^2$ ;  $X_{+1,n}^2$  — равноотстоящие таблицы значения аргумента, при этом  $X_{0,n}^2 \leq X_n^2 < X_{+1,n}^2$ ;

$$u = \frac{X_n^2 - X_{0,n}^2}{X_{+1,n}^2 - X_{0,n}^2}; \Delta P(X_{j,n}^2) = P(X_{j+1,n}^2) - P(X_{j,n}^2),$$

где  $j = -1; 0; +1$ .

Затем определяем значения  $X^2$  с точностью до 7 значений цифр по формуле:

$$X_{i,n}^2 = X_{0,n}^2 + \left\{ \frac{P_i - P(X_{i,n}^2)}{\Delta P(X_{0,n}^2)} + u \right\} \cdot (X_{+1,n}^2 - X_{0,n}^2) \quad (i = 1, 2) \quad (2)$$

Таким образом, получили первое приближение значения  $X^2$ , по которому снова определяем вероятность по формуле (1) и снова величину  $X^2$  по формуле (2) — и так далее до тех пор, пока расхождения между вычисленными и теоретическими значениями вероятностей не будут ничтожно малыми (менее  $10^{-7}$ ).

Алгоритм определения  $X^2$  реализован в компьютерной программе. Затем нами были определены приемочные  $a_n$  и браковочные  $r_n$  числа для стандарта отклонений  $\sigma_x = 1$ . После этого определены вероятности по формуле (1) по значениям  $a_n$  и  $r_n$  при  $\sigma_x = 1$  для каждого шага контрольных измерений без учета предыдущих вероятностей:  $P_a$  — вероятность попадания величины  $[S^2]$  в интервал  $a_n < [S^2]_n < \infty$ ;  $P_r$  — вероятность попадания в интервал  $r_n < [S^2] < \infty$ .

По этим вероятностям составлены квадратные матрицы переходных вероятностей для каждого из контрольных измерений в соответствии с графом состояний (рис. 1). Перед началом измерений, т. е. после нулевого измерения вероятность продолжения измерений равна единице, в этом случае вероятности состояний подсистемы — продолжения измерений  $S_1$ , продолжи-

тельного решения  $S_2$ , отрицательного решения  $S_3$  будут равны соответственно:

$$P_{S_1}^{(0)} = 1, P_{S_2}^{(0)} = 0, P_{S_3}^{(0)} = 0.$$

Матрица переходных вероятностей после первого измерения:

$$P_{ij}^{(1)} = \begin{vmatrix} 0,642659 & 0,274723 & 0,082618 \\ & 0 & 1 & 0 \\ & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} 1,000000.$$

Сумма членов, стоящих в каждой строке матрицы, должна быть равна единице (проверка справа матрицы), так как события в каждой строке несовместны и образуют полную группу. Вероятность того, что подсистема  $S$  после  $n$  шагов будет находиться в состоянии  $S_i$ , выразится формулой:

$$P_{S_i}^{(n)} = \sum_j P_{S_j}^{(n-1)} \cdot P_{ji}^{(n)} \quad (i = 1, \dots, k) \quad (5.13),$$

где  $P_{S_i}^{(n)}$  — вероятности состояний после  $n$ -го шага определяются через вероятности состояний после  $(n-1)$ -го шага  $P_{S_j}^{(n-1)}$  с помощью вероятностей перехода  $P_{ji}^{(n)}$ . Иными словами, вероятности состояний после  $n$  измерений  $P_{S_1}, P_{S_2}$  и  $P_{S_3}$  находятся как сумма произведений вероятностей состояний после предыдущего измерения  $(n-1)$  на соответствующие столбцы матрицы переходных вероятностей. Отсюда вероятности возможных состояний подсистемы после первого измерения:

$$P_{S_1}^{(1)} = 1 \cdot 0,642659 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 = 0,642659,$$

$$P_{S_2}^{(1)} = 1 \cdot 0,274723 + 0 \cdot 1 + 0 \cdot 0 = 0,274723,$$

$$P_{S_3}^{(1)} = 1 \cdot 0,082618 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 1 = 0,082618.$$

Матрица переходных вероятностей после второго измерения:

$$P_{ij}^{(2)} = \begin{vmatrix} 0,689063 & 0,213656 & 0,097281 \\ & 0 & 1 & 0 \\ & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} 1,000000.$$

Вероятности возможных состояний подсистемы после второго измерения:

$$P_{S_1}^{(2)} = 0,642659 \cdot 0,689063 + 0,274723 \cdot 0 + 0,082618 \cdot 0 = 0,442832,$$

$$P_{S_2}^{(2)} = 0,642659 \cdot 0,213658 + 0,274723 \cdot 1 + 0,082618 \cdot 0 = 0,412031,$$

$$P_{S_3}^{(2)} = 0,642659 \cdot 0,097281 + 0,274723 \cdot 0 + 0,082618 \cdot 1 = 0,145137.$$

И так далее.

Производились вычисления до тех пор, пока  $P_{S_1}^{(n)}$ , т. е. вероятность продолжения измерений ( $P_{\text{прод}} = P_{S_1}^{(n)}$ ), не достигла величины, близкой к нулю (0,0001), и пока вероятность окончания анализа с положительным или отрицательным решением ( $P_{\text{ок}} = P_{S_2}^{(a)} + P_{S_3}^{(n)}$ ) не достигла величины, близкой к единице (0,9999). Это произошло на тридцатом измерении ( $n = 30$ ).

Графики указанных итоговых вероятностей после  $n$  контрольных измерений представлены на рис. 2.

В процессе исследований выяснилось, что анализ с вероятностью, практически равной единице, закончится при  $n = 30$ . При этом вероятность продолжения измерений ничтожно мала. Иными словами, при последовательном анализе на каждом нормированном участке дороги (захватке) в 400 м возможность более 30 контрольных измерений маловероятна. В среднем же принятие одного из граничных решений возможно при  $n < 22$ , когда вероятность окончания  $P_{ок} < 0,999$ . Можно сделать вывод, что каждую захватку дороги в 400 м необходимо делить на 30 частей и, соответственно, производить контрольные измерения с шагом 15–20 м до принятия одного из граничных решений. Таким образом, с помощью вероятностно-статистического последовательного анализа можно сокращать объем, а, следовательно, повышать производительность контрольно-приемочных измерений в 4 раза по сравнению с рекомендациями СНиП, не снижая объективности соответствующих заключений. При этом критерий оценки качества принимаемых работ обеспечивает все требования действующих норм.

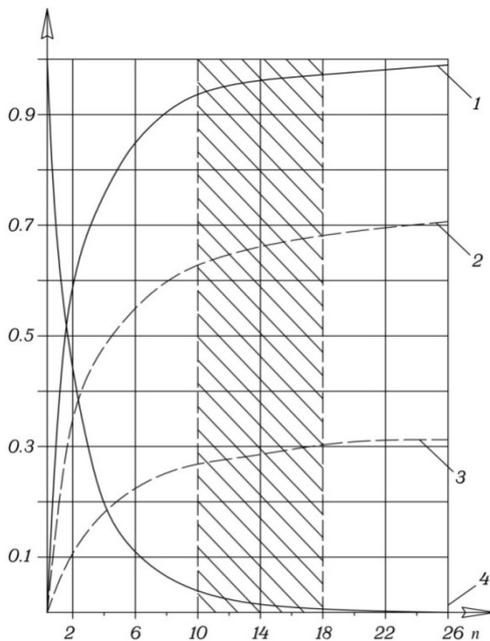


Рис. 2. Вероятности: 1 — окончания анализа; 2 — приемки работ; 3 — брака; 4 — продолжения анализа

Несмотря на официальную отмену в настоящее время дифференцированной оценки качества построенных дорог, она все же представляет интерес для сравнительной характеристики качества геометрических параметров лесовозных автомобильных дорог.

Если анализ закончен принятием положительного решения после небольшого количества измерений, при котором вероятность окончания анализа  $P_{ок}$  невелика, то это означает, что сумма квадратов отклонений  $[S^2]_n$  от проектного значения нарастала медленно, а, следовательно, эти отклонения невелики и принимаемая работа выполнена высококачественно. И, с другой стороны, если анализ закончен с положительным решением после большого, близкого к максимальному количества измерений, когда вероятность окончания велика, то это значит, что сумма  $[S^2]_n$  нарастает быстро, отклонения

велики, хоть и допустимы, и контролируемая работа выполнена удовлетворительно. Таким образом, вероятность окончания процесса (а, следовательно, и количество измерений) при принятии положительного решения может служить критерием оценки качества выполненных работ в баллах. Иными словами, чем раньше закончен анализ с положительным решением, тем выше оценка принимаемой работы. В свете теории вероятностей и теории погрешностей в данной работе предлагается критерий дифференцированной оценки качества работ: если анализ закончится с положительным решением при вероятности окончания  $P_{ок}$  меньше 0,9545, «двукратной», т. е. при количестве измерений меньше 10 (рис. 2 — слева от заштрихованной области), то работу следует принять с отличной оценкой. Если анализ закончится положительно при вероятности  $P_{ок} < 0,9973$ , «трехкратной», в диапазоне 0,9545–0,9973, т. е. при количестве измерений в интервале  $10 \leq n \leq 18$ , работу следует принять с хорошей оценкой (рис. 2 — заштрихованная область), и если положительное решение принято при  $n > 18$ , то оценка будет удовлетворительной (рис. 2 — справа от заштрихованной области).

*Пример.* Требуется произвести контроль ширины (7 м) асфальтобетонного покрытия дороги. В процессе измерений курвиметром с шагом 15 м получен ряд результатов (в числителе отклонений  $S$ , см, в знаменателе — накопленная сумма квадратов  $[S^2]_n$ , в скобках — номер измерения: (4/16 (1), 10/116 (2), 1/117 (3), 3/126 (4), 2/130 (5), 5/155(6), 2/159 (7), 7/208 (8), 4/224 (9), 5/249 (10), 3/258 (11).

На 11-м измерении  $[S^2]_n$  выходит за пределы области продолжения измерений, заштрихованной на рис. 2. Поскольку на этом этапе  $[S^2]_n < a_n$  или  $258 < 267$ , то анализ можно закончить, и реализацию проектной ширины покрытия 7 м считать выполненной с оценкой «хорошо» ( $10 < n < 18$ ).

Очевидно, что математические методы принятия решений, в частности, вероятностно-статистический последовательный анализ, позволяют научно обоснованно, в соответствии с нормативно-правовой документацией вести процесс приемочных измерений, объективно и дифференцированно оценивать состояние выполненных работ, значительно повышая при этом производительность геодезического контроля качества дорожного строительства.

В процессе прохождения эксперимента проводились контрольно-приемочные измерения геометрических параметров законченного строительства участка лесовозной автомобильной дороги Усть-Цильма — Сергеево-Щелья. Строительство дороги велось с использованием комплектов машин с автоматической системой задания высотных отметок.

Для обследования геометрических параметров были выбраны захватки длиной 400 м на 10 % длины всего участка. Обследование проводилось двумя способами — по предлагаемой методике с использованием последовательного анализа и по методике, рекомендуемой СНиП. Результаты и окончательные заключения сопоставлялись по сравниваемым вариантам. Пример сопоставления будет показан на захватке длиной 400 м, от ПК 182-30 до ПК 186-30.

Анализ по авторской методике был завершен с положительным решением в правой стоп-полосе на 24-м измерении и на левой полосе на 19-м измерении. Следовательно, выносим заключение: для данных захватки реализация проектных поперечных уклонов полос съездов и примыканий должна быть оценена «удовлетворительно».

В результате анализа по методике СНиП определили 13 значений отклонений из 100 — от 10 до 15 %; остальные значения находятся в пределах допуска 5 %. Следовательно, оценка в данном случае также «удовлетворительно».

По результатам анализа на данной захватке различными методами были выданы одинаковые заключения относительно поперечных уклонов. При этом предлагаемая методика с использованием последовательного анализа и теории марковских случайных процессов позволила сократить количество измерений в 5 раз.

Таким образом, по описанной технологии были обследованы амплитуды отметок, поперечные уклоны проезжих частей, ширина и ровность покрытия проезжих частей и полос съездов и примыканий с использованием двух сравниваемых методик на захватках: от ПК155-40 до ПК 158-40, от ПК175-10 до ПК179-10, от ПК188-60 до ПК192-60, от ПК 199-20 до ПК 203-20, от ПК 208-80 до ПК 212-80, до ПК 222-80 и др.

Средние оценки реализации проектных геометрических параметров лесовозной автомобильной дороги в результате двух сравниваемых методик совпали:

Поперечные уклоны: проезжей части — «отлично».

Полосы примыканий и съездов — «удовлетворительно».

Амплитуды отметок, отметки и ровность:

Проезжая часть — «хорошо».

Ширина проезжей части — «отлично».

Средняя итоговая оценка по результатам приемки двумя методами — «хорошо». Большинство захваток получили оценки «хорошо» и «отлично». Только в одной захватке оценка ровности была выставлена «удовлетворительно». Также поперечные уклоны основных полос были оценены на «удовлетворительно» по обоим методикам. Итоговая общая оценка — «хорошо» по обоим методикам.

Таким образом, качество принятых геометрических параметров законченного строительством участка лесовозной дороги при приемочном обследовании двумя методами сравнения — методом СНиП и предлагаемым методом последовательного анализа — было оценено с одинаковым результатом «хорошо». При этом по предлагаемой методике потребовалось провести вчетверо меньшее количество контрольных измерений, чем по методике СНиП.

В итоге приходим к выводу, что показатели производительности обследования геометрических параметров лесовозной дороги по предлагаемому методу с использованием последовательного анализа в 4 раза выше производительности приемки по методу СНиП, а объективность заключения о качестве и реализации геометрических параметров для объектов при этом не снижается. Для практического применения предлагаемой методики выработаны следующие рекомендации:

1) Необходимо вести контрольные измерения на захватке шагом 15–20 м, что позволит вчетверо сократить количество измерений по сравнению с рекомендациями СНиП без нарушения объективности оценки выполненных работ.

2) В процессе измерений квадраты отклонений от проектных параметров необходимо суммировать нарастающим итогом, и для каждого измерения результат  $[S^2]_n$  сравнивать с соответствующими приемочным  $a_n$  и браковочным  $r_n$  числом. Если для данного номера измерений результат меньше браковочного числа  $r_n$  и больше приемочного числа  $a_n$ , то измерения следует продолжить. Если  $[S^2]_n$  меньше приемочного числа  $a_n$ , то измерения можно закончить с решением принять работу. Если же  $[S^2]_n$  больше браковочного числа  $r_n$ , то измерения следует закончить с решением работу забраковать.

3) При необходимости дифференцированную оценку геометрических параметров следует производить в процессе последовательного анализа следующим образом:

а) если процесс анализа закончился с решением принять работу при числе измерений до 10, то следует выставить оценку «отлично»;

б) если процесс анализа закончился с решением принять работу при числе измерений от 10 до 18, то следует выставить оценку «хорошо»;

в) если процесс анализа закончился с решением принять работу при числе измерений свыше 18, то следует выставить оценку «удовлетворительно».

**Заключение.** Процесс контрольных измерений геометрических параметров законченных строительством лесовозных автомобильных дорог с применением вероятностно-статистического последовательного анализа результатов этих измерений можно представить в виде неоднородного случайного процесса с дискретными состояниями и дискретным временем.

В работе теоретически обосновано, что вероятностно-статистический последовательный анализ можно использовать в процессе приемочных измерений. Он позволяет объективно и дифференцированно оценивать состояние выполненных работ, значительно повышая при этом производительность геодезического контроля качества дорожного строительства.

Проведенный практический опыт применения вероятностно-статистического последовательного анализа в процессе приемочного контроля геометрических параметров законченных строительством лесовозных автомобильных дорог в сравнении с общепринятой методикой СНиП подтвердил теоретическое предположение.

В процессе проведения эксперимента пришли к выводу о том, что показатели производительности обследования геометрических параметров лесовозной дороги по предлагаемому методу с использованием последовательного анализа в 4 раза выше производительности приемки по методу СНиП, а объективность заключения о качестве и реализации геометрических параметров для объектов при этом не снижается.

Для практического применения предлагаемой методики выработаны рекомендации для применения в процессе текущего контроля строительства лесовозных автомобильных дорог.

*Литература*

1. Боровлев А.О., Торопцев В.В., Никитин В.В., Скрыпников А.В., Брюховецкий А.Н., Чигирина А.А. Интеллектуальные системы проектирования продольного профиля лесовозных автомобильных дорог // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: материалы V Междунар. науч.-практической конф. (21 мая 2021 г.). Воронеж, 2021. С. 326-338.
2. Чирков Е.В., Скрыпников А.В., Высоцкая И.А., Колесникова Н.И. Информационная модель критерия оптимальности трассы лесовозной автомобильной дороги // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: материалы V Междунар. науч.-практической конф. (21 мая 2021 г.). Воронеж, 2021. С. 361-370.
3. Высоцкая И.А., Боровлев А.О., Скрыпников А.В., Брюховецкий А.Н., Никитин В.В. Автоматизированное проектирование продольного профиля лесовозных автомобильных дорог с учетом влияния зрительно плавных и изломанных линий // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 10. С. 450-453.
4. Zelikov V.A., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Samtsov V.V., Tikhomirov P.V., Borovlev A.O. Structural models of road landscapes and microlandscapes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. «International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production», 2021. P. 012116.
5. Никитин В.В., Боровлев А.О., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Тюрникова Т.В., Тверитнев О.Н. Математическое моделирование трассы лесовозных автомобильных дорог // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2021. № 4 (382). С. 150-161.
6. Боровлев А.О., Никитин В.В., Брюховецкий А.Н., Тихомиров П.В., Торопцев В.В., Скрыпников А.В. Математическое обоснование круговых и параболических кривых лесовозных автомобильных дорог // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: материалы V Междунар. науч.-практической конф. (21 мая 2021 г.). Воронеж, 2021. С. 258-268.
7. Мацнев М.В., Скрыпников А.В., Берестовой А.А., Микова Е.Ю., Пильник Ю.Н., Яковлев К.А. Особенности организации дорожно-строительных работ поточным методом с учетом сезонного характера их производства // Строительные и дорожные машины. 2021. № 5. С. 14-17.
8. Морозов П.И. Проектирование и планирование обустройства лесовозных автомобильных дорог // Лесотехнический журнал. 2011. № 2. С. 36-41.
9. Кероглу Л.А. Исследование пропускной способности автомобильных дорог. М.: Автотрансиздат, 1963. 66 с.
10. Хромых В.В., Хромых О.В. Цифровые модели рельефа. Томск: НТЛ, 2011. 188 с.
11. Быстрянец Е.В. Исследование технологии экспертной оценки качества информационного обеспечения автомобильного транспорта // Автоматизация. Современные технологии. 2017. Т. 71. № 9. С. 429-432.
12. Lawrence C.J. The use Landsat imagery as a basis for materials inventories and terrain maps // TRRL Suppl. rept. 1982. № 690. P.117-121.
13. Оптнер С. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. М.: Советское радио, 1969. 216 с.
14. Козлов Д.Г., Никитин В.В., Скрыпников А.В. Интеллектуальные системы проектирования сетей лесовозных автомобильных дорог. Воронеж: Воронежский гос. аграрный ун-т им. Имп. Петра I, 2021. 206 с.

15. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высш. школа, 1991. 366 с.

*References*

1. Borovlev A.O., Toropcev V.V., Nikitin V.V., Skrypnikov A.V., Bryuhoveckij A.N., Chigirina A.A. Intelligent systems for designing the longitudinal profile of logging roads // Sistemyj analiz i modelirovanie processov upravleniya kachestvom v innovacionnom razvitiy agropromyshlennogo kompleksa: materialy V Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (21 maya 2021 g.). Voronezh, 2021. P. 326-338.
2. Chirkov E.V., Skrypnikov A.V., Vysockaya I.A., Kolesnikova N.I. Information model of the optimality criterion for the route of a logging road // Sistemyj analiz i modelirovanie processov upravleniya kachestvom v innovacionnom razvitiy agropromyshlennogo kompleksa: materialy V Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (21 maya 2021 g.). Voronezh, 2021. P. 361-370.
3. Vysockaya I.A., Borovlev A.O., Skrypnikov A.V., Bryuhoveckij A.N., Nikitin V.V. Automated design of the longitudinal profile of logging roads, taking into account the influence of visually smooth and broken lines // Automation. Modern technologies. 2021. V. 75. № 10. P. 450-453.
4. Zelikov V.A., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Samtsov V.V., Tikhomirov P.V., Borovlev A.O. Structural models of road landscapes and microlandscapes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. «International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production», 2021. P. 012116.
5. Nikitin V.V., Borovlev A.O., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Tyurikova T.V., Tveritnev O.N. Mathematical modeling of the route of logging roads // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2021. № 4 (382). P. 150-161.
6. Borovlev A.O., Nikitin V.V., Bryuhoveckij A.N., Tikhomirov P.V., Toropcev V.V., Skrypnikov A.V. Mathematical substantiation of circular and parabolic curves of logging roads // Sistemyj analiz i modelirovanie processov upravleniya kachestvom v innovacionnom razvitiy agropromyshlennogo kompleksa: materialy V Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (21 maya 2021 g.). Voronezh, 2021. P. 258-268.
7. Macnev M.V., Skrypnikov A.V., Berestovoj A.A., Mikova E.YU., Pil'nik YU.N., YAKovlev K.A. Features of the organization of road construction works by the in-line method, taking into account the seasonal nature of their production // Construction and Road Building Mashinery. 2021. № 5. P. 14-17.
8. Morozov P.I. Design and planning of arrangement of logging roads // Forestry Engineering Journal. 2011. № 2. P. 36-41.
9. Keroglu L.A. Investigation of the capacity of high-ways. M.: Avtotransizdat, 1963. 66 p.
10. Hromykh V.V., Hromykh O.V. Digital terrain models. Tomsk: NTL, 2011. 188 p.
11. Bystryancev E.V. Research of the technology of expert assessment of the quality of information support for road transport // Automation. Modern technologies. 2017. V. 71. № 9. P. 429-432.
12. Lawrence C.J. The use Landsat imagery as a basis for materials inventories and terrain maps // TRRL Suppl. rept. 1982. № 690. P.117-121.
13. Optner S. System analysis for solving business and industrial problems. M.: Sovetskoe radio, 1969. 216 p.
14. Kozlov D.G., Nikitin V.V., Skrypnikov A.V. Intelligent systems for designing forest road networks. Voronezh: Voronezhskij gos. agrarnyj un-t im. Imp. Petra I, 2021. 206 p.
15. Isachenko A.G. Landscape studies and physical and geographical zoning. M.: Vyssh. shkola, 1991. 366 p.