

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6364

УДК 630*383

Статья

Методика последовательного анализа и определения стандартов отклонений от проектных параметров лесовозных автомобильных дорог

Тихомиров Петр Викторович

кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет» (Российская Федерация), vtichomirov@mail.ru

Скрыпников Алексей Васильевич

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (Российская Федерация), skrypnikovvsafe@mail.ru

Козлов Вячеслав Геннадиевич

доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (Российская Федерация), vyu-kozlov@yandex.ru

Тверитнев Олег Николаевич

экстерн, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (Российская Федерация), tveritneffo@yandex.ru

Григорьев Игорь Владиславович

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет» (Российская Федерация), silver73@inbox.ru

Получена: 26 апреля 2022 / Принята: 19 сентября 2022 / Опубликовано: 27 сентября 2022

Аннотация: Современное дорожное строительство ведётся поточным методом, обеспечивающим непрерывность работ, что требует своевременных и точных разбивочно-контрольных измерений и построений. Поэтому несвоевременное восстановление и закрепление уничтожаемых разбивочных знаков малопроизводительными методами, особенно на закруглениях, ведёт к задержке строительного процесса, либо к перерасходу стройматериалов при нарушении параметров дороги в плане, либо к перерасходу машино-часов, энергоресурсов при устранении брака многократным, плохо управляемым перемещением грунта и стройматериалов. Недостаточная детальность распределения разбивочных знаков на закруглениях (в той же мере, как и непроизводительное либо неточное

их восстановление) также ведёт к искажению проектных криволинейных очертаний дорог, что, в свою очередь, приводит к нарушениям функций переходных кривых, ухудшению их динамических свойств, снижению зрительной ясности, плавности, эстетики восприятия закруглений, а это психологически отрицательно влияет на водителей. Всё вышеизложенное ведёт к снижению технико-экономических показателей и безопасности движения транспорта. Цель работы состоит в совершенствовании методики последовательного анализа и определения стандартов отклонений от проектных параметров лесовозных автомобильных дорог. Определены стандарты отклонений от проектных параметров в соответствии с нормативными требованиями и даны рекомендации по контролю строительства дорожных закруглений. Результаты исследований с применением теории марковских случайных процессов по прогнозу объёма контрольных измерений для последовательного анализа позволили определить шаг измерений, оптимизировать их количество и, таким образом, сократить их общий объём в 4 раза по сравнению с рекомендациями СНиП. Разработанная и исследованная подсистема принятия решений последовательного анализа лесовозных автомобильных дорог позволила обосновать предлагаемую методику приёмки с дифференцированной оценкой качества геометрических параметров построенных лесовозных автомобильных дорог.

Ключевые слова: лесовозная автомобильная дорога; геометрический параметр; кривая; отклонения

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6364

Article

The method of sequential analysis and determination of standards of deviations from the design parameters of logging roads

Pyotr Tikhomirov

Ph. D. in engineering, associate professor, Bryansk State University of Engineering and Technology (Russian Federation), vtichomirov@mail.ru

Alexey Skrypnikov

D. Sc. in engineering, professor, Voronezh State University of Engineering Technologies (Russian Federation), skrypnikovvsafe@mail.ru

Vyacheslav Kozlov

D. Sc. in engineering, associate professor, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great (Russian Federation), vya-kozlov@yandex.ru

Oleg Tveritnev

external, Voronezh State University of Engineering Technologies (Russian Federation), tveritneffo@yandex.ru

Igor Grigoriev

D. Sc. in engineering, professor, Arctic State Agrotechnological University (Russian Federation), silver73@inbox.ru

Received: 26 April 2022 / Accepted: 19 September 2022 / Published: 27 September 2022

Abstract: Modern road construction is performed by a flow method that ensures continuity of operation and requires timely and accurate center-control measurements and tracing. Therefore, the untimely restoration and fixing of destroyed center marks by inefficient methods, especially on the curves leads to a delay in the construction process. This might result in construction materials excess expenditure in case of road parameters violation or in machine hours and energy resources excess expenditure for defects removal by repeated poorly controlled movement of soil and building materials. Insufficient degree of detail in center marks distribution on the curves, as well as their unproductive or inaccurate restoration also leads to distortion of the designed curvilinear outlines of roads. Therefore it results in violations of the easement curve functions and in deterioration of their dynamic properties. In addition it leads to a decrease in visual

clarity, riding quality and aesthetics of curves perception, thus negatively affecting drivers' psychological status. All of the above leads to a decrease in technical and economic indicators and traffic safety. The purpose of the work is to improve the consistent analysis methodology and determination of standards of deviations from the design parameters of logging roads. Standards of deviations from design parameters in accordance with regulatory requirements are defined and recommendations are given for monitoring the construction of road curves. The results of studies using the theory of Markov random processes to predict the volume of control measurements for sequential analysis allowed the authors to determine the measurement intervals and to optimize their number and thus to reduce their total number by 4 times compared with the recommendations of the Construction Standards and Regulations (SNiP). The developed and researched decision engine of sequential analysis of logging roads allowed us to substantiate the proposed acceptance methodology of quality differentiated assessment of constructed logging roads geometric parameters.

Keywords: logging road; geometric parameter; curve; deviations

1. Введение

В связи с предъявляемыми большими требованиями к качеству современных лесовозных автомобильных дорог требуется научно обосновывать и производить геодезические контрольные измерения при приёмке работ, руководствуясь строительными допусками действующих норм. Правила производства и приёмки работ рекомендуют в очень большом объёме измерений обследовать принимаемые объекты. Так, например, на каждом контролируемом участке дороги длиной 300—400 м рекомендуется производить определения отметок путём нивелирования с шагом 5 м, т. е. 60—80 измерений, 80—100 измерений поперечных уклонов и ширины дорожного покрытия, 100—300 измерений просветом под трёхметровой рейкой. Такое количество измерений, приближающееся к генеральной совокупности всех возможных испытаний, хоть и характеризует в полной мере качество принимаемых работ, однако не обеспечивает высокой производительности контроля и приёмки. Необходимо учесть, что в процессе контрольных измерений наступает такой момент, когда увеличение их количества становится не целесообразным, поскольку не изменит уже возможного на этот момент обоснованного вывода о качестве принимаемых работ. Для определения указанного момента, оптимизирующего количество измерений, следует применять математические методы принятия решений, позволяющие оптимально планировать процесс приёмочных обследований, чтобы обеспечить высокую производительность геодезического контроля.

2. Материалы и методы

Процесс контрольных измерений при приёмке выполненных дорожно-строительных работ авторы предлагают производить методом вероятностно-статистического последовательного анализа, который в настоящее время значительно уточнён и доработан с новым подходом к нахождению граничных стандартов [1—3].

Суть метода заключается в том, что для каждого числа контрольных измерений n заранее вычисляются приёмочные и браковочные числа по формулам:

$$a_n = \frac{n\sigma_{(x)}^2}{x_{2,n}^2 - x_{1,n}^2} \left(2\ln \frac{\beta}{1-\alpha} + n\ln \frac{x_{2,n}^2}{x_{1,n}^2} \right), \quad (1)$$

$$r_n = \frac{n\sigma_{(x)}^2}{x_{2,n}^2 - x_{1,n}^2} \left(2\ln \frac{\beta}{1-\alpha} + n\ln \frac{x_{2,n}^2}{x_{1,n}^2} \right), \quad (2)$$

где α — вероятность ошибочно забраковать контролируемую работу, когда она доброкачественная; β — вероятность ошибочно принять работу, когда она подлежит браку; $\sigma_{(x)}$ — стандарт отклонений контролируемых геометрических параметров от их проектного значения; $x_{1,n}^2, x_{2,n}^2$ — величины, выбираемые из таблиц; x^2 — распределения по вероятностям, соответственно:

$$P_1 = 1 - 0,5 (1 - P), \quad (3)$$

$$P_2 = 0,5 (1 - P) \quad (4)$$

и в зависимости от числа степеней свободы n , где P — предварительно заданная доверительная вероятность.

После каждого измерения нарастающим итогом вычисляется сумма квадратов отклонений $[S^2]_n$ контролируемого параметра от его проектного значения $M_{(x)}$. Если $[S^2]_n \leq a_n$, то измерения можно прекратить с решением принять работу, — продолжительное решение. Если $a_n < [S^2] < r_n$, то контрольные измерения нужно продолжить, и если $[S^2] \geq r_n$, то выполненные работы следует забраковать, — отрицательное решение (рисунок 1). Принятие решения полностью зависит от правильно выбранных величин P , $\sigma_{(x)}$, α и β [4—6].

Для высокой надёжности анализа нами была принята «трёхкратная» доверительная вероятность принятия решений ($P = 0,9973$), соответствующая предельному отклонению $S = 3\sigma_x$, а вероятности ошибочных решений приняты ничтожно малыми: $\alpha = \beta = 0,001$.

Стандарты отклонения σ_x выбираем из нормативно-правовых документов после нахождения толерантных пределов для различных видов контрольно-приёмочных измерений по законам теории погрешностей и теории вероятностей [7—10].

При приёмке работ для щебёночных, гравийных, шлаковых, щебёночно-песчаных, асфальтобетонных и других оснований и покрытий допустимы отклонения от проектного значения ширины $\Delta_{ш} = 10$ см, причём 10 % их не должны превышать $\Delta_{ш}$ более чем в 2 раза [11—13]. Следовательно, предельное значение отклонения $\Delta_{ш,пред} = 20$ см. При «трёхкратной» доверительной вероятности $\sigma_{ш} = \Delta_{ш,пред}/3 = 6,5$ см. Тогда при нормальном распределении отклонений $\delta_{ш}$ (в соответствии с q — процентным значением нормального отклонения) только 10 % отклонений могут превышать $1,64 \sigma \approx 10,5$ см, т. е. $10,5 < \delta < 20$ см, остальные 90 % отклонений будут в пределах допуска $\Delta_{ш} = 10$ см, что полностью соответствует требованиям СНиП. Аналогично определён стандарт просветов под трёхметровой рейкой $\sigma_{просв.}$ для асфальтобетонных, цементобетонных и других покрытий:

$\Delta_{пред} = 2\Delta_{просв} = 10$ мм; $\sigma_{просв.} = \frac{\Delta_{пред}}{3} \approx 3$ мм, 5 % просветов будут в пределах $1,96\sigma_{просв.} < S < \Delta_{пред}$ или $5,9 < S < 10$ мм, остальные примерно 95 % просветов будут в пределах допуска.

Допустимое отклонение отметок по оси для всех видов оснований и покрытий $\Delta_{отм}$ равно 50 мм. Кроме того, 10 % отклонений от общего числа контрольных измерений не должны превышать $2 \Delta_{отм} = \Delta_{пред} = 100$ мм. Эти условия при $P = 0,9973$ удовлетворяются, когда $\sigma_{опт} = \frac{\Delta_{пред}}{3} = 33$ мм; 10 % амплитуд отметок с шагом 10 м не должны превышать полуторакратной величины допуска $\Delta_{A_1} = 12$ мм, т. е. $\Delta_{A_1,пред} = 18$ мм. Стандарт отклонений $\sigma_{укл}$ поперечных уклонов для всех видов оснований и покрытий будет равен 0,009. Тогда при

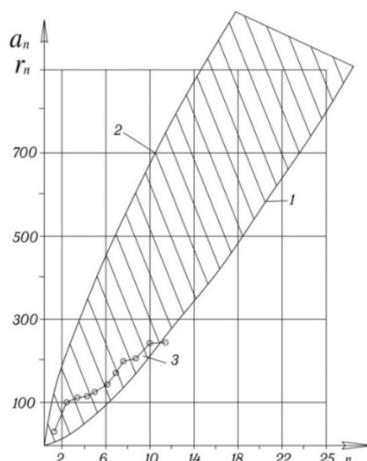


Рисунок 1. Последовательный анализ контрольных измерений: 1 — приёмочная кривая; 2 — браковочная кривая; 3 — кривая сумм S^2

Figure 1. Sequential analysis of control measurements: 1 — acceptance curve; 2 — rejection curve; 3 — sum curve S^2

нормальном распределении 10 % отклонений будет в пределах $1,64\sigma_{\text{укл}} \leq \sigma \leq 3\sigma_{\text{укл}}$ или $0,014 \leq \delta \leq 0,03$, остальные будут в пределах допуска $\Delta_{\text{укл}} = 0,01$. Итак, стандарты отклонений от проектных параметров при приёмке дорожно-строительных работ определены по закону нормального распределения.

3. Результаты

Для повышения качества реализации проектных геометрических параметров криволинейных элементов лесовозных автомобильных дорог, в значительной мере характеризующих технико-экономические показатели и безопасность движения, а также эстетическое восприятие пространственной плавности трассы в соответствии с современными требованиями архитектурно-ландшафтного проектирования, предлагается при приёмке лесовозных автомобильных дорог, по аналогии с приёмкой железных дорог, контролировать:

а) отклонения $\delta_{\text{кр}}$ от проектных стрел изгиба $f_{\text{кр}}$ бровки покрытия в пределах круговых кривых:

$$f_{\text{кр}} = \frac{l^2}{8R}, \quad (5)$$

где l — хорда, R — радиус;

б) отклонения $\delta_{\text{пер}}$ от равномерного нарастания $\Delta f_{\text{пер}}$ стрел изгиба в пределах переходных кривых. Соответствующие значения: $\Delta_{\text{кр}} = 100$ мм, $\sigma_{\text{кр}} = 65$ мм, $\Delta_{\text{пер}} = 50$ мм, $\sigma_{\text{пер}} = 33$ мм. Стрелы изгиба $f_{\text{кр}}$ и $f_{\text{пер}}$ должны измерять от хорд, равных 20 м и 10 м с шагом 10 м и 5 м.

Проектные значения $f_{\text{пер}}$ и $\Delta f_{\text{пер}}$ определим следующим образом: радиус в текущей точке клотоиды равен:

$$\rho = \frac{C}{S}, \quad (6)$$

где C — параметр клотоиды, а S — расстояние до текущей точки; следовательно, радиус в середине контролируемого интервала клотоиды равен:

$$\rho_c = \frac{c}{l(i-0.5)}, \quad (7)$$

где i — номер контролируемой точки; при значении

$$f_{\text{пер}} = \frac{l^2}{8\rho_c} \quad (8)$$

получим:

$$f_{\text{пер}} = \frac{(2-0.5)l^2}{8c}, \quad (9)$$

$$\Delta f_{\text{пер}} = \frac{l^3}{8c}. \quad (10)$$

Для принятых величин $P = 0,9973$, $\alpha = \beta = 0,001$ и расчётных стандартов $\sigma_{(x)}$ по формулам (1), (2) для каждого из перечисленных видов контрольных измерений автором вычислены приёмочные и браковочные числа a_n и r_n .

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, т. е. протекает случайный процесс, в котором для каждого момента вероятность любого состояния системы в будущем зависит только от её состояния в настоящем. То есть величина (S^2) после каждого последующего контрольного измерения n зависит только от величины (S^2) в предыдущий момент ($n-1$) и не зависит от того, как эта величина образовалась в прошлом. 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 [80]. 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 рисунке 2. После каждого измерения у каждого возможного состояния подсистемы S_1 , S_2 и S_3 будет определённая 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 определённом этапе достигнет величины, близкой к единице. Этот этап и определит прогнозируемое максимально-возможное число контрольных измерений. Для определения указанного числа нами вычислялись вероятности состояний подсистем S_1 , S_2 и S_3 для каждого измерения по теоретическим предпосылкам работ с составлением соответствующего алгоритма и программ вычислений.

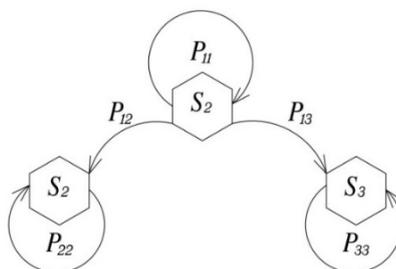


Рисунок 2. Граф возможных состояний системы последовательного анализа с переходными вероятностями (подсистема принятия решений)

Figure 2. A graph of possible states of a sequential analysis system with transient probabilities (a decision-making subsystem)

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:

$$P(X_n^2) = P(X_{0,n}^2) + u \cdot \Delta P(X_{0,n}^2) - \frac{u(1-u)}{2} \cdot \frac{\Delta P(X_{+1,n}^2) - \Delta P(X_{-1,n}^2)}{2}, \quad (11)$$

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 семи значений цифр по формуле

$$X_{i,n}^2 = X_{0,n}^2 + \left\{ \frac{P_i - P(X_{i,n}^2)}{\Delta P(X_{0,n}^2)} + u \right\} \cdot (X_{+1,n}^2 - X_{0,n}^2) \quad (i = 1, 2). \quad (12)$$

Таким образом, получили первое приближение значения X^2 , по которому снова определяем вероятность по формуле (11) и снова величину X^2 по формуле (12) и т. д. 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 по формулам (1) и (2) были определены приёмочные a_n и браковочные r_n числа для стандарта отклонений $\sigma_x = 1$. После этого определены вероятности по формуле (11) по значениям a_n и r_n при $\sigma_x = 1$ для каждого шага контрольных измерений, без учёта предыдущих вероятностей: P_a — вероятность попадания величины $[S^2]$ в интервал $a_n < [S^2] < \infty$; 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 (рисунок 2). Перед началом измерений, т. е. после нулевого измерения, вероятность продолжения измерений равна единице, в этом случае вероятности состояний подсистемы: продолжения измерений S_1 , продолжительного 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), т. к. 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

$$P_{S_i}^{(n)} = \sum_j P_{S_j}^{(n-1)} \cdot P_{ji}^{(n)} \quad (i = 1, \dots, k), \quad (13)$$

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

$$P_{S_1}^{(2)} = 0,642659 \cdot 0,689063 + 0,274723 \cdot 0 + 0,0826618 \cdot 0 = 0,442832,$$

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

$$P_{S_3}^{(2)} = 0,6422659 \cdot 0,097281 + 0,274723 \cdot 0 + 0,082618 \cdot 1 = 0,145137.$$

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 нулю (0,0001), и пока вероятность окончания анализа с положительными или отрицательным решением $P_{\text{ок}} = P_{S_2}^{(a)} + P_{S_3}^{(n)}$ не достигла величины, близкой единице (0,9999). Это произошло на 30-м измерении ($n = 30$).

Графики указанных итоговых вероятностей после n контрольных измерений представлены на рисунке 3.

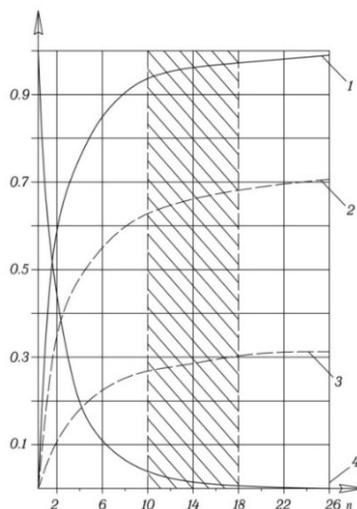


Рисунок 3. Вероятности: окончания анализа — 1; продолжения анализа — 4; приёмки работ — 2; брака — 3

Figure 3. Probabilities: the end of the analysis — 1; continuation of the analysis — 4; acceptance of work — 2; faulty work — 3

4. Обсуждение и заключение

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 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 объём, а следовательно, повышать производительность контрольно-приёмочных 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.

Несмотря на официальную отмену в настоящее время дифференцированной оценки качества построенных дорог, она всё 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 очень качественно. 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 $P_{ок}$ меньшей 0,9545, «двукратной», т. е. при количестве измерений меньше 10 (рисунок 3 — слева от заштрихованной области), то работу следует принять с отличной оценкой. Если анализ закончится положительно при вероятности $P_{ок} < 0,9973$ «трёхкратной», в диапазоне 0,9545—0,9973, т. е. при количестве измерений в интервале $10 \leq n \leq 18$, работу следует принять с хорошей оценкой (рисунок 3 — заштрихованная область), и если положительное решение принято при $n > 18$, то оценка будет удовлетворительной (рисунок 3 — 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 рисунке 1. 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 обосновать в соответствии с нормативно правовой документацией и вести процесс приёмочных измерений, объективно и дифференцированно оценивать состояние выполненных работ, значительно повышая при этом производительность геодезического контроля качества дорожного строительства.

Список литературы

1. Бируля А. К. Эксплуатация автомобильных дорог: Учебник для специальности «Автомобильные дороги» вузов. М.: Транспорт, 1966. 326 с.
2. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт, 2012. 424 с.
3. Иванов В. Н., Ерохов В. Н. Влияние параметров автомобильных дорог на расход топлива // Автомобильные дороги. 2014. № 8. С. 10—13.
4. Применение теории массового обслуживания в проектировании автомобильных дорог / Я. А. Калужский, И. В. Бегма, В. М. Кисляков, В. В. Филиппов. М.: Транспорт, 1969. 136 с.
5. Кондрашова Е. В., Скворцова Т. В. Совершенствование организации дорожного движения в транспортных системах лесного комплекса // Системы управления и информационные технологии. 2008. № 3-2 (33). С. 272—275.
6. Сильянов В. В., Ситников Ю. М. Расчёт скоростей движения при проектировании автомобильных дорог // Тр. МАДИ. 1974. Вып. 72. С. 47—66.
7. Хомяк Я. В. Проектирование сетей автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1983. 207 с.
8. Berestnev O., Soliterman Y., Goman A. International Symposium on History of Machines and Mechanisms Proceedings. 2000. P. 325—332.
9. Algorithm for determining the curvature of the project line of a truck haul road and the rate of change in its curvature / A. O. Borovlev, A. V. Skrypnikov, V. G. Kozlov [et al.] // Civil Engineering and Architecture. 2021. No. 9 (5). P. 1582—1589. DOI: 10.13189/CEA.2021.090528.
10. Intelligent design system for logging truck roads / A. O. Borovlev, A. V. Skrypnikov, V. G. Kozlov [et al.] // International Journal of Engineering Trends and Technology. 2021. No. 69 (8). P. 89—95. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V69I8P211.
11. A linear model of the forest transport network and an algorithm for assessing the influence of the density of points and the length of links in developing multi-forested areas / V. V. Nikitin, A. V. Skrypnikov, V. G. Kozlov [et al.] // International Journal of Engineering Trends and Technology, 2021. No. 69 (12). P. 175—178. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V69I12P220.
12. Theoretical background of road landscape zoning / A. V. Skrypnikov, V. G. Kozlov, V. V. Samtsov [et al.] // Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. No. 659 (1). DOI: 10.1088/1755-1315/659/1/012011.
13. Feasibility study of geometrical parameters of wood transportation roads including prediction of optimum terms of construction and retrofitting sequence / A. V. Skrypnikov, V. G. Kozlov, V. A. Zelikov [et al.] // Civil Engineering and Architecture. 2021. No. 9 (6), P. 2077—2083. DOI: 10.13189/cea.2021.090635.

References

1. Birulya A. K. *Ekspluatatsiya avtomobil'nyh dorog: Uchebnik dlja specialnosti «Avtomobilnye dorogi vuzov»*. Moscow, Transport, 1966. 326 p. (In Russ.)
2. Dryu D. *Teoriya transportnyh potokov i upravlenie imi*. Moscow, Transport, 2012. 424 p. (In Russ.)
3. Ivanov V. N., Erohov V. N. Vliyanie parametrov avtomobil'nyh dorog na raskhod topliva. *Avtomobil'nye dorogi*, 2014, no. 8, pp. 10—13. (In Russ.)
4. Kaluzhskij Ya. A., Begma I. V., Kislyakov V. M., Filippov V. V. *Primenenie teorii massovogo obsluzhivaniya v proektirovanii avtomobil'nyh dorog*. Moscow, Transport, 1969. 136 p. (In Russ.)
5. Kondrashova E. V., Skvorcova T. V. Sovershenstvovanie organizacii dorozhnogo dvizheniya v transportnyh sistemah lesnogo kompleksa. *Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii*, 2008, no. 3-2 (33), pp. 272—275. (In Russ.)
6. Sil'yanov V. V., Sitnikov Yu. M. Raschet skorostej dvizheniya pri proektirovanii avtomobil'nyh dorog. *Tr. MADI*, 1974, vyp. 72, pp. 47—66. (In Russ.)
7. Homyak Ya. V. *Proektirovanie setej avtomobil'nyh dorog*. Moscow, Transport, 1983. 207 p. (In Russ.)
8. Berestnev O, Soliterman Y, Goman A *International Symposium on History of Machines and Mechanisms Proceedings*, 2000, pp. 325—332.
9. Borovlev A. O., Skrypnikov A. V., Kozlov V. G., Teterleva E. V., Burmistrov V. A., Mikheevskaya M. A., Chemshikova Y. M. Algorithm for determining the curvature of the project line of a truck haul road and the rate of change in its curvature. *Civil Engineering and Architecture*, 2021, no. 9 (5), pp. 1582—1589. doi: 10.13189/CEA.2021.090528.
10. Borovlev A. O., Skrypnikov A. V., Kozlov V. G., Zelikov V. A., Pilyushina G. A., Burmistrov V. A., Kazachek M. N. Intelligent design system for logging truck roads. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 2021, no. 69 (8), pp. 89—95. doi: 10.14445/22315381/IJETT-V69I8P211.
11. Nikitin V. V., Skrypnikov A. V., Kozlov V. G., Bryukhovetsky A. N., Manukovsky A. Y., Vysotskaya I. A., Sapelkin R. S. A linear model of the forest transport network and an algorithm for assessing the influence of the density of points and the length of links in developing multi-forested areas. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 2021, no. 69 (12), pp. 175—178. doi: 10.14445/22315381/IJETT-V69I12P220.
12. Skrypnikov A. V., Kozlov V. G., Samtsov V. V., Nikitin V. V., Denisenko V. V., Boltnev D. E. Theoretical background of road landscape zoning. *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, no. 659 (1). doi: 10.1088/1755-1315/659/1/012011.
13. Skrypnikov A. V., Kozlov V. G., Zelikov V. A., Tikhomirov P. V., Levushkin D. M., Nikitin V. V., Sokol P. A. Feasibility study of geometrical parameters of wood transportation roads including prediction of optimum terms of construction and retrofitting sequence. *Civil Engineering and Architecture*, 2021, no. 9 (6), pp. 2077-2083. doi: 10.13189/cea.2021.090635.