

Ж.А. Алпыспаева<sup>1</sup> , Н.А. Пархоменко<sup>2</sup> ,  
Л.А. Пронина<sup>2</sup> , А.К. Сатбергенова<sup>3,\*</sup> 

<sup>1</sup>Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина,  
Казахстан, г. Астана

<sup>2</sup>Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Россия, г. Омск

<sup>3</sup>Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, Казахстан, г. Караганда

\*e-mail: a.satbergenova@gmail.com

## ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

В статье исследован метод измерения ровности покрытий автомобильных дорог, который основывается на оценке продольного микропрофиля покрытия, то есть массива вертикальных отклонений от горизонтальной поверхности покрытия. В отличие от предыдущих методов, которые измеряли среднее значение поперечного неравномерного профиля покрытия, этот метод позволяет получить более детальную информацию о поверхности дороги.

Для измерения продольного микропрофиля покрытия используется специальное оборудование, которое может фиксировать вертикальные отклонения покрытия с высокой точностью и разрешением. Расстояние между фиксируемыми ординатами может быть выбрано в зависимости от требуемой точности измерения и особенностей покрытия дороги.

Полученный массив ординат можно анализировать с помощью различных методов обработки данных, например, для определения степени ровности покрытия, выявления причин неровностей и планирования работ по их устранению. Такой подход позволяет более точно определить качество покрытия и принимать меры по его улучшению.

Метод измерения ровности покрытий автомобильных дорог Северного Казахстана, результаты которого представлены в статье, принципиально отличается от предшествующих прежде всего тем, что в его основу положен новый подход, который заключается в том, что результатом измерения является продольный микропрофиль в виде массива ординат (амплитуд).

Работа содержит описание метода и его преимущества перед предыдущими методами измерения ровности покрытия, а также анализ результатов и возможных практических применений.

Таким образом, данная работа имеет большое значение для транспортной инфраструктуры и может быть использована для повышения безопасности и комфортности движения на дорогах.

**Ключевые слова:** автодорога, измерения ровности покрытия автодороги, метод амплитуд.

J.A. Alpyspayeva<sup>1</sup>, N.A. Parkhomenko<sup>2</sup>, L.A. Pronina<sup>2</sup>, A.K. Satbergenova<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>Seifullin S. Kazakh Agrotechnical Research University, Kazakhstan, Astana

<sup>2</sup>P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University, Russia, Omsk

<sup>3</sup>Saginov Karaganda Technical University, Kazakhstan, Karaganda

\*e-mail: a.satbergenova@gmail.com

### Optimization of methods of geodetic support for the construction of highways in the conditions of Northern Kazakhstan

The article investigates a method for measuring the evenness of road pavements, which is based on an assessment of the longitudinal microprofile of the pavement, that is, an array of vertical deviations from the horizontal surface of the pavement. Unlike previous methods, which measured the average value of the transverse uneven pavement profile, this method allows you to get more detailed information about the road surface.

To measure the longitudinal microprofile of the coating, special equipment is used that can record the vertical deviations of the coating with high accuracy and resolution. The distance between the fixed ordinates can be selected depending on the required measurement accuracy and the characteristics of the road surface.

The resulting array of ordinates can be analyzed using various data processing methods, for example, to determine the degree of evenness of the coating, identify the causes of irregularities and plan work to eliminate them. This approach allows you to more accurately determine the quality of the coating and take measures to improve it.

The method of measuring the evenness of road surfaces in Northern Kazakhstan, the results of which are presented in the article, is fundamentally different from the previous ones, primarily in that it is based on a new approach, which lies in the fact that the result of the measurement is a longitudinal microprofile in the form of an array of ordinates (amplitudes).

The work contains a description of the method and its advantages over previous methods for measuring the evenness of the coating, as well as an analysis of the results and possible practical applications.

Thus, this work is of great importance for the transport infrastructure and can be used to improve the safety and comfort of traffic on the roads.

**Key words:** road, road surface evenness measurements, amplitude method.

Ж.А. Алпыспаева<sup>1</sup>, Н.А. Пархоменко<sup>2</sup>, Л.А. Пронина<sup>2</sup>, А.К. Сатбергенова<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан, Астана қ.

<sup>2</sup>П.А. Столыпин атындағы Омск мемлекеттік аграрлық университеті, Ресей, Омск қ.

<sup>3</sup>А. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан, Қарағанды қ.

\*e-mail: a.satbergenova@gmail.com

### Солтүстік Қазақстан жағдайында жол салу үшін геодезиялық қамтамасыз етудің әдістерін оңтайландыру

Мақалада жабынның бойлық микропрофилін, яғни жабынның көлденең бетінен тік ауытқулар массивін бағалауға негізделген жол төсемдерінің тегістігін өлшеу әдісі зерттеледі. Көлденең тегіс емес жабын профилінің орташа мәнін өлшейтін алдыңғы әдістерден айырмашылығы, бұл әдіс жол төсемі туралы толығырақ ақпарат алуға мүмкіндік береді.

Қаптаманың бойлық микропрофилін өлшеу үшін жабынның тік ауытқуларын жоғары дәлдікпен және рұқсатпен жаза алатын арнайы жабдық қолданылады. Бекітілген ординаталардың арасындағы қашықтықты талап етілетін өлшем дәлдігіне және жол төсемінің сипаттамаларына байланысты таңдауға болады.

Алынған ордината массивін әртүрлі деректерді өңдеу әдістерін қолдану арқылы талдауға болады, мысалы, жабынның біркелкі болу дәрежесін анықтау, бұзушылықтардың себептерін анықтау және оларды жою бойынша жұмыстарды жоспарлау. Бұл тәсіл жабынның сапасын дәлірек анықтауға және оны жақсарту шараларын қабылдауға мүмкіндік береді.

Нәтижелері мақалада келтірілген Солтүстік Қазақстандағы жол жамылғыларының тегістігін өлшеу әдісі бұрынғылардан түбегейлі ерекшеленеді, ең алдымен оның жаңа көзқарасқа негізделгендігімен ерекшеленеді, ол нәтижені анықтауда жатыр. өлшеудің ординаталар (амплитудалар) массиві түріндегі бойлық микропрофиль болып табылады.

Жұмыста әдістің сипаттамасы және оның жабынның біркелкілігін өлшеудің алдыңғы әдістеріне қарағанда артықшылықтары, сондай-ақ нәтижелерді талдау және мүмкін практикалық қолдану бар.

Осылайша, бұл жұмыс көлік инфрақұрылымы үшін үлкен маңызға ие және жолдардағы қозғалыс қауіпсіздігі мен жайлылығын арттыру үшін пайдаланылуы мүмкін.

**Түйін сөздер:** жол, жол бетінің тегістігін өлшеу, амплитудалық әдіс.

## Введение

Для обеспечения геодезического сопровождения проектирования, строительства и дальнейшего наблюдения за осадками в процессе эксплуатации автомобильных дорог существует множество подходов в использовании рекомендуемых технологий и современных приборов. Вопрос выбора определяется необходимостью соблюдать требуемую точность.

Строительство сложных автомагистральных развязок и обеспечения качества на современном этапе их развития является наиболее

актуальным процессом в практике инженерно-геодезических работ, постоянно требующим качественного решения задач, связанных с контролем геометрических параметров сложных инженерных сооружений линейного типа, которыми и являются автомобильные комплексы.

## Материалы и методы исследования

В текущий момент времени в арсенале геодезических технологий сопровождения строительства имеется множество современных технологий, основанных на цифровизации и

искусственном интеллекте так или иначе интегрированных с данными дистанционного зондирования. Важным этапом нужно считать процесс обработки и получение качественной информации для пользователя, выполняющего требования инструктивной документации. Актуальным трендом можно считать исполнительные съемки с использованием геодезического класса мобильных систем воздушного и наземного лазерного сканирования, позволяющие получать детальные 3D модели объектов с географической привязкой, выполняющих расчет траектории движения системы в реальном времени. Сканирование автомобильных дорог может быть использовано на любом действующем жизненном цикле трассы от топографических съемок, создания профилей при изысканиях, выноса в натуру, ремонта, до создания цифровых информационных моделей дорожного покрытия, анализа и корректировки уклонов и создания паспорта автодороги.

В учебной литературе, изданной до 2016 г. (Клюшин, 2014:496; Маслов, 2013:598), указывается что при строительстве автомобильных дорог проложение нивелирных ходов осуществлять технических нивелированием. В настоящее время при строительстве автомобильных дорог широко применяются электронные тахеометры и цифровые нивелиры, опыт их использования и исследования представлены в работах (Zou, 2017:254; Nestorovic, 2014:32; Shults, 2016:359; Takalo, 2006:5).

Процесс оптимизации существующих подходов в использовании рекомендуемых технологий и современных приборов при проектировании и строительстве находит свое место во внедрении BIM-технологий на весь жизненный цикл объекта, начиная с процесса инженерных изысканий.

Использование BIM-технологий предусматривает решение задачи интеграции результатов инженерных изысканий в среду информационного моделирования, которая предусматривает не только накопление, но и обработку огромного массива информации.

Действующие и существующие нормативные документы по геодезическому сопровождению строительства с использованием цифровых информационных технологий указывают на использование методик, содержащихся в руководствах по эксплуатации современного геодези-

ческих приборов и оборудования, но в них не указаны требования к обеспечению точности инженерно-топографических работ, направленных непосредственно на проектирование, реконструкцию и строительство автомобильных дорог (Пантусо, 2019:5).

Без надежных, точных и оперативных измерений и качественной научно обоснованной их обработки невозможны исследования в области геодезического обеспечения строительства.

Оптимизация заключается в обоснованном выборе методов и технологий геодезического сопровождения проектирования и строительства автомобильной дороги применительно к конкретным физико-географическим условиям местности. Обоснование выбора опирается на выполнение необходимой точности проведения геодезических работ, что возможно с применением информационного моделирования при использовании BIM-технологий в строительстве автомобильных дорог. Одной из задач которого проектируется выполнение анализа и оптимизации последовательности выполнения работ, проверки выполнимости технологических решений с обеспечением качества; контроля выполненных физических объемов строительных работ с возможностью визуализации выполнения проектных решений; что способствует также оптимизации численности персонала на строительной площадке. Создание и использование BIM – модели способствует проведению геодезического контроля на всех этапах строительных работ, а также обеспечивает проведение мониторинговых работ по охране труда, выполнения экологических требований и промышленной безопасности на всех участках строительства. (Von Olshausen, 2021: 179)

На качество укладки асфальтобетонного покрытия дорог активно влияют промежуточные этапы всего технологического процесса.

Качество будущей магистрали, в не меньшей степени зависит от соблюдения правил на этапе укладки и укатывания асфальта, чем от выбора смеси и приготовления её в точном соответствии с инструкцией. Если технологией пренебречь, то дорога не прослужит долго. (Ralbovsky, 2020: 11787)

При эксплуатации автомобильных дорог, а также при разработке новых проектов и проектов реконструкции автомобильных дорог, необходимо выявлять участки, не соответствующие

требованиям обеспечения безопасности движения, и предусматривать мероприятия по ее повышению (Шакиева, 2015:215).

Одним из важнейших транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог является ровность дорожного покрытия.

В настоящее время в странах – членах Таможенного союза наиболее широко применяют методы контроля ровности покрытий автомобильных дорог, основанные на следующих подходах:

1-й подход – измерение рейкой длиной три метра с клиновым промерником, предусматривающее измерение величины просвета под рейкой;

2-й подход – измерение нивелиром и нивелирной рейкой, предусматривающее вычисление модуля разности вертикальных отметок (ординат) поверхности с шагом 5, 10 и 20 м; (используется в наших исследованиях);

3-й подход – измерение с применением автомобильной установки ПКРС-2 или другими приборами, показания которых приведены к показаниям ПКРС, предусматривающее определение интенсивности (уровня) вертикальных колебаний прицепного прибора относительно подрессоренного кузова, выражаемое в виде суммарного перемещения неподдресоренной массы относительно подрессоренной на 1 км дороги (см/км).

Продольная ровность дорожного покрытия является одним из важнейших параметров, которые влияют на комфорт и безопасность движения на автомобильной дороге. Она характеризуется неровностями покрытия в продольном направлении и измеряется величиной поперечного наклона дороги на определенном участке.

Для измерения продольной ровности дорожного покрытия наиболее точным методом является метод амплитуд, который основан на использовании специальных измерительных приборов – профилометров. Профилометры позволяют измерять высоту профиля дорожного покрытия и определять амплитуду неровностей в продольном направлении.

Однако, для более простых случаев можно использовать и другие методы измерения продольной ровности дорожного покрытия, такие как средства геометрического нивелирования. Эти методы основаны на использовании специального оборудования, которое позволяет

определять уровень дороги в продольном направлении.

Таким образом, для более точного измерения продольной ровности дорожного покрытия наиболее эффективно использовать метод амплитуд с помощью профилометров, но для простых случаев можно применять и более простые методы, такие как средства геометрического нивелирования (Русяева, 2016:56).

Метод измерения ровности покрытий автомобильных дорог, результаты которого представлены в статье, принципиально отличается от предшествующих прежде всего тем, что в его основу положен новый подход, который заключается в том, что результатом измерения является продольный микропрофиль в виде массива ординат (амплитуд). При этом расстояние между фиксируемыми ординатами может составлять несколько сантиметров, а точность их измерения – доли миллиметров в зависимости от особенностей применяемого оборудования.

По высотам, полученным из результатов исполнительных съемок протяженностью пять километров, после реконструкции автомобильной дороги республиканского значения "Астана-Петропавловск" транзитного коридора "Боровое-Кокшетау-Петропавловск-граница РФ", выполнен анализ ровности дорожного покрытия на основе результатов вертикальных отметок по микропрофилю левой, правой кромок и оси покрытия. Измерения проводились последовательно с установкой рейки на все метки.

Расчет определения точности высотного положения покрытия выполнен по разностям вертикальных отметок на прямолинейных участках с шагом 20 метров и на характерных точках покрытия автомобильной дороги. Для выполнения математической обработки, в количественном отношении по каждой полосе, было получено 269 определений разностей вертикальных отметок, по которым в соответствии с [ГОСТ 33101-2014] вычислены модули разностей, определяемые как отклонение ординаты микропрофиля от прямой линии согласно формулы 1:

$$\delta h_i = \left| \frac{h_{i-1} - h_{i+1}}{2} - h_i \right| \quad (1)$$

где  $h_i$ ,  $h_{i-1}$ ,  $h_{i+1}$ , ордината точки массива, ординаты последующей и предыдущих точек массива.

Для математической обработки, разности использовались без модуля и из них были сформированы три вариационных ряда отклонений по левой, правой кромкам и оси поверхности дороги, разность ординат внутри интервалов определялась по формуле Стерджесса:

$$h = \frac{R}{1 + 3,32 \lg N}, \quad (2)$$

где  $R$  – разность ординат между максимальным и минимальным значениями;  $N$  – количество ординат.

Количество интервалов в каждом ряду, составленном по левой (правой) кромкам и оси определялось как отношение разности ординат между максимальным и минимальным значениями к разности ординат внутри интервалов.

Для всех трех рядов значения получены практически одинаковые  $h=4$  мм, в каждом ряду получилось одинаковое количество интервалов равное 9, это позволяет сделать вывод о несимметричности распределения ординат относительно нулевого значения.

Характеристикой количества появлений ординат в интервале служит частотность, определяемая как отношение числа ординат в интервале (частота) обозначим его буквой  $n$ , к объёму всего ряда обозначим его за  $N=269$ , вычислим частоту по формуле 3:

$$W_i = n_i / N. \quad (3)$$

Выполнив предварительное распределение отклонений ординат по интервалам, наблюдаем что их частота внутри рядов практически одинакова, поэтому рассмотрим статистическую обработку на примере ряда отклонений ординат, выполненного по левой кромке. Следует отметить, что ординаты равные нулевому значению получены в объеме 150 штук из 269 штук всего ряда, это говорит о том, что поверхность исследуемого покрытия довольно ровная. Следует отметить, что восьмой интервал от -20 мм до -16 мм не содержит ни одного отклонения ординат, а девятый интервал от 12 мм до 16 мм содержит также одно отклонение ординат, поэтому для дальнейшей обработки целесообразнее вместо девяти интервалов, обработать только семь, увеличив количество

отклонений ординат (частоту) в крайнем положительном интервале.

Количество интервалов, их границы (а и b) и соответствующие им частоты, приведены в таблице 1, и составляют статистическое распределение, Частотой интервала характеризуется сумма частот отклонений ординат, попавших в интервал, при этом сумма всех частот равна количеству значений рассматриваемого ряда.

Характеристикой статистической оценки, является математическое ожидание (МО), при данном виде оценки эта величина заменяется средним арифметическим значением  $\bar{x}$ , вокруг которого сконцентрированы отклонения ординат отметок, для дальнейшей математической обработки будем использовать середины интервалов, которые обозначим  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ . Количественное выражение среднего арифметического значения отклонения ординат выражается формулой (4):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i x_i}{N}, \quad (4)$$

Величина среднего арифметического значения позволяет определить значение средней квадратической ошибки измерения ординат отметок, в теории вероятностей ее значение приближается к значению стандарта ( $\sigma$ ), значение которой можно вычислить по формуле (5):

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k n_i (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}. \quad (5)$$

Для дальнейшей статистической обработки вычислим значение  $M$  характеризующее величину средней квадратической ошибки среднего арифметического значения исследуемого ряда и величину надежности оценки  $m_m$  по формулам (6):

$$M = \frac{m}{\sqrt{N}}; \quad (6)$$

где:

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2(N-1)}}.$$

Рассмотренная по формулам (3)–(6) оценка точности является точечной и характеризуется одним числом, расчеты по указанным формулам приведены под табл.1 (слева). Мы же в своем исследовании рассматриваем вариационный ряд отклонений ординат ограниченный максимальным и минимальным их значением. В этом случае разумнее было бы применить интервальные оценки, определяемые двумя характеристиками точности и надежности оценок.

Большинство геодезических работ оцениваются доверительной вероятностью  $P = 0,95$  и уровнем значимости (точностью оценки)  $q = 0,05$ . Составим «доверительный интервал» для математического ожидания (МО) и стандарта ( $\sigma$ ), с учетом доверительной вероятности и точности оценки, доверительные интервалы и точечная оценка приведены под таблицей 1. Для математического ожидания  $MO$  и стандарта  $\sigma$  в пределах исследуемого ряда доверительные интервалы определяются неравенствами:

$$\begin{aligned} \bar{x} - t \cdot M < MO < \bar{x} + t \cdot M, \\ m(1 - g) < \sigma < m(1 + g), \end{aligned} \quad (7)$$

где  $t$  – нормируемый множитель, зависящий от доверительной вероятности  $p$  и количества отклонений ординат  $N$ ;  $g$  – коэффициент с применением распределения  $\chi^2$  (критерия К. Пирсона), зависящий от объема исследуемого ряда отклонений ординат и вероятности, может быть определен из выражения. Показатели определяются из таблиц, позволяющих оценивать статистические ряды. Доверительные интервалы приведены под табл.1 (справа).

Приведенные неравенства для построения доверительных интервалов, применимы при количестве отклонений ординат больше пятидесяти определений. При выполнении исследования используется ограниченное количество определений, поэтому для построения доверительных интервалов применяется распределение Стьюдента.

Для наглядного представления исследуемого ряда отклонений ординат, приведем кривые практического (строящаяся по частостям  $W_i$  и соответствующим им серединам интервалов  $x_i$ ) и теоретического (строящаяся серединам интервалов  $x_i$  и значениям вероятностей  $P(x_i)$  им соответствующим) их распределений, рисунок 1.

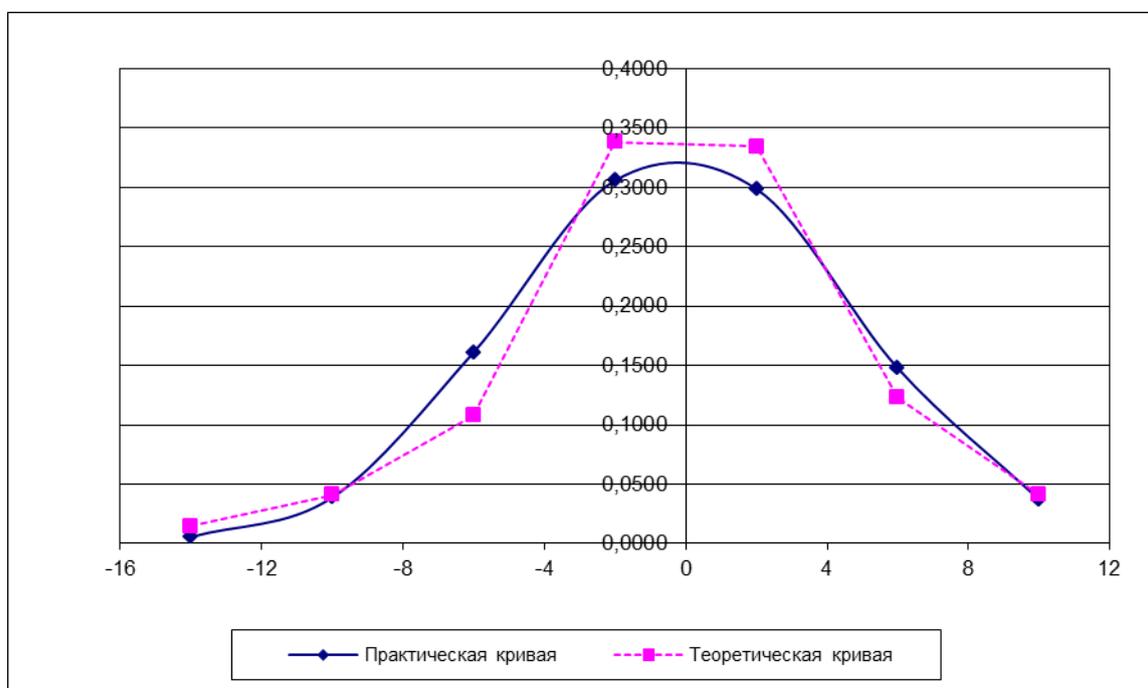


Рисунок 1 – Теоретическая и практическая кривые распределения отклонений ординат

Исследуя ряд отклонений ординат, примем нулевую гипотезу о нормальном распределении отклонений ординат, при этом вероятности  $P(x_i)$  определяются согласно формулы Лапласа, все необходимые расчеты приведены в табл.1:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-t^2/2} \cdot dt, \quad (8)$$

где  $t = (a - \bar{x})/m$  или  $t = (b - \bar{x})/m$  зависит от границ интервалов отклонений ординат  $a$  и  $b$ .

**Таблица 1** – Статистическая обработка распределения отклонений ординат поверхности автомобильной дороги

Интервалы, мм		Частота $n_i$	Относ. частота $w_i$	Середина интерв. $x_i$ мм	$nx_i$ , мм	$(x_i - \bar{x})$ , мм	$n_i(x_i - \bar{x})$ , мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$ , мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2} \Phi(t_1)$	$\frac{1}{2} \Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-16	-12	4	0,015	-14	-56	-13,87	-55,49	769,91	-3,37	-2,52	-0,4997	-0,4941	0,0056
-12	-8	11	0,041	-10	-110	-9,87	-108,61	1072,37	-2,52	-1,67	-0,4941	-0,4552	0,0389
-8	-4	29	0,108	-6	-174	-5,87	-170,33	1000,48	-1,67	-0,82	-0,4552	-0,2939	0,1613
-4	0	91	0,338	-2	-182	-1,87	-170,50	319,45	-0,82	0,03	-0,2939	0,0120	0,3059
0	4	90	0,335	2	180	2,13	191,38	406,94	0,03	0,88	0,0120	0,3106	0,2986
4	8	33	0,123	6	198	6,13	202,17	1238,58	0,88	1,73	0,3106	0,4582	0,1476
8	12	11	0,041	10	110	10,13	111,39	1127,98	1,73	2,58	0,4582	0,4951	0,0369
Сумма		269	1,0		-34			5935,70					0,9948

#### Доверительный интервал для "МО"

$$\bar{x} = -34 / \sqrt{269} = -0,1 \text{ мм} \quad \bar{x} - t_q \cdot M < MO < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N = 269; P = 0,95) = 1,96$$

$$M = 4,7 / \sqrt{269} = 0,3 \text{ мм} \quad -0,1 - 1,96 \cdot 0,3 < MO < -0,1 + 1,96 \cdot 0,3 \Rightarrow -0,7 \text{ мм} < a < 0,5 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{5935,7 / 269} = 4,7 \text{ мм}$$

#### Доверительный интервал для "σ":

$$m_m = 4,7 / \sqrt{2 \cdot (269 - 1)} = 0,2 \text{ мм}$$

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g(N = 269, P = 0,95) = 0,089$$

$$4,7 \cdot (1 - 0,089) < \sigma < 4,7 \cdot (1 + 0,089) \Rightarrow 4,3 \text{ мм} < \sigma < 5,1 \text{ мм}$$

Отечественными и зарубежными исследователями неоднократно доказывалось, что подобные отклонения ординат полученные в процессе строительства сооружений подчиняются нормальному закону их распределения и носят закономерный характер, гипотезу о подчинении исследуемого ряда нормальному закону возможно проверить используя критерий сходимости Пирсона ( $\chi^2$  хи-квадрат). Следует отметить тот факт, что предложенный критерий отличающейся высокой чувствительностью к гипотезе о нормальном распределении отклонений орди-

нат, вычисления приведены в таблице 2, конечная формула определения сходимости имеет вид (9), вычисления связанные с применением критерия Пирсона приведены в табл.2:

$$\chi_{набл}^2 = \sum_{i=1}^k (n_i - NP(x_i))^2 / NP(x_i), \quad (9)$$

где  $n$  – частоты;  $NP(x_i)$  – теоретические частоты;  $k$  – число интервалов отклонений ординат;  $P(x_i)$  – вероятность попадания  $x_i$  в интервал отклонений ординат.

**Таблица 2** – Вычисление критерия Пирсона  $\chi^2$  для оценки сходимости исследуемого ряда отклонений ординат с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота $n_i$	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
$a$	$b$						
-16	-12	4	0,0056	1,506	2,494	6,218	4,13
-12	-8	11	0,0389	10,464	0,536	0,287	0,03
-8	-4	29	0,1613	43,390	-14,390	207,063	4,77
-4	0	91	0,3059	82,287	8,713	75,915	0,92
0	4	90	0,2986	80,323	9,677	93,637	1,17
4	8	33	0,1476	39,704	-6,704	44,949	1,13
8	12	11	0,0369	9,926	1,074	1,153	0,12
Сумма		269					$\chi^2_{\text{выч}} = 12,26$

При семи интервалах число степеней свободы  $k = 3$ .  $\chi^2(0,05; 4) = 9,5$   
 Таким образом,  $12,26 > 9,5$ . Нулевая гипотеза отвергается.

Из результатов проверки подчинения, исследуемых данных нулевой гипотезе видно возникающих случайных ошибках в измерениях, они подразделяются на ошибки первого уровня, если гипотеза правдоподобна и второго уровня, если она неправдоподобна. Для устранения в опытных данных ошибок первого рода выбирается существенно малый уровень значимости, в этом случае ошибки первого уровня возможны в пределах 5% из 100% определений, и предельную величину  $2t$  по абсолютной величине будут превышать значения с вероятностью  $P = 0,05$ . В исследуемом ряду отклонений ординат, при обозначенных условиях, вычисленный показатель критерия Пирсона  $K$ , оказался больше критического определенного по уровню значимости  $\chi^2_{\text{набл}} > \chi^2_{\text{кр}}$ , для рассматриваемого ряда данные показатели составляют  $12,26 >$

$9,5$  критическое значение показателя критерия  $K$ . Пирсона определено из статистических таблиц, по принятому уровню значимости  $q = 0,05$  и числу степеней свободы равному 4 (количество интервалов без обязательных параметров нормального распределения), поэтому для дальнейшей проверки статистического распределения нами применим критерий Ястремского Б.С., вычисления по этому критерию приведены в табл.3, который является менее чувствительным к проверяемой гипотезе о нормальном распределении отклонений ординат, и определяется формулой (10):

$$J = Q - k / \sqrt{2k + 4\theta}, \quad (10)$$

где  $k$  – количество интервалов определений ординат.

**Таблица 3** – Вычисление критерия Б.С. Ястремского для оценки сходимости исследуемого ряда отклонений ординат с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота $n_i$	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$1 - P(x_i)$	$NP(x_i)[1 - P(x_i)]$	$Q$
$a$	$b$								
-16	-12	4	0,0056	1,506	2,494	6,218	0,994	1,498	4,15
-12	-8	11	0,0389	10,464	0,536	0,287	0,961	10,057	0,03
-8	-4	29	0,1613	43,390	-14,390	207,063	0,839	36,391	5,69
-4	0	91	0,3059	82,287	8,713	75,915	0,694	57,115	1,33
0	4	90	0,2986	80,323	9,677	93,637	0,701	56,339	1,66
4	8	33	0,1476	39,704	-6,704	44,949	0,852	33,844	1,33
8	12	11	0,0369	9,926	1,074	1,153	0,963	9,560	0,12
Сумма		269							$Q = 14,31$

При семи интервалах  $S = 7$ ,  $\theta = 0,6$ ,  $J = \frac{(Q - S)}{\sqrt{(2S - 4\theta)}} = 1,63$   
 Так как  $1,63 < 3$ , то нулевая гипотеза подтверждается.

Коэффициент,  $\Theta = 0,6$  при  $k < 20$ , а величина  $Q$  определяется из формулы:

$$Q = \frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i) \cdot [I - P(x_i)]}. \quad (11)$$

Вычисления, выполненные по формулам (9-10) представлены в таблице 3, ниже приведено сравнение нулевой гипотезой о нормальном распределении, она принимается при  $J < 3$ , для рассматриваемого ряда  $1,63 < 3$ , гипотеза о подчинении ряда нормальному распределению подтверждается критерием Б.С. Ястремского.

### Результаты и обсуждение

В результате анализа, по выполненным исследованиям с применением статистического анализа определения ординат отклонений вертикальных отметок поверхности автомобильной дороги, установлено, что отклонения ординат носят закономерный характер распределения, подтверждена статистическая однородность с применением критериев согласия К. Пирсона и Б.С. Ястремского, вычислены статистические характеристики точности выполнения измерений.

По результатам измерений ровности покрытия автодороги методом амплитуд, средствами геометрического нивелирования была выполнена оценка их точности, вычислена средняя квадратическая погрешность, которая позволяет сделать следующие **выводы**:

определение ровности дорожного покрытия средствами геометрического нивелирования является корректным методом;

покрытие дороги на исследуемом участке находится в удовлетворительном состоянии.

Кроме того, выполнена систематизация существующего уровня практического применения теории вероятностного метода исследований в области геодезического обеспечения ровности дорожного покрытия. Наряду со всеми приведенными в статье современными технологическими средствами, используемыми для определения ровности, самым оптимальным является метод амплитуд, он доказательно обеспечивает требования указанные в [ГОСТ 33101-2014], так как точность является одним из показателей качества любого строительства.

### Заключение

Автомобильная дорога относится к сложным техническим объектам, характеризуется особенной историей своего развития и сильной технологической наследственностью. Чтобы улучшить ее состояние в нашей стране, необходимо опираться на современные методы строительства дорог и учитывать существующие технологии наших регионов и территорий. Только при таком подходе, автомобильные дороги будут удовлетворять всем возрастающим потребностям общества, выдерживать постоянно увеличивающийся рост автотранспортных средств, нарастающую интенсивность движения и возрастающие нагрузки.

Исходя из описания в статье, можно сделать следующие выводы:

Метод измерения ровности покрытий автомобильных дорог, основанный на оценке продольного микропрофиля покрытия, позволяет получить более детальную информацию о поверхности дороги и более точно определить степень ее ровности, чем предыдущие методы измерения.

Для измерения продольного микропрофиля покрытия используется специальное оборудование, которое может фиксировать вертикальные отклонения покрытия с высокой точностью и разрешением.

Полученный массив ординат может быть analyzed с помощью различных методов обработки данных, что позволяет определить степень ровности покрытия, выявить причины неровностей и спланировать работы по их устранению.

Метод измерения ровности покрытий автомобильных дорог, описанный в статье, имеет высокую ценность для транспортной инфраструктуры и может быть использован для проектирования и строительства новых дорог, реконструкции и модернизации существующих дорожных покрытий, контроля качества дорожных работ и обслуживания дорожной инфраструктуры.

В целом, метод измерения ровности покрытий автомобильных дорог, основанный на оценке продольного микропрофиля покрытия, может быть полезным инструментом для повышения безопасности и комфортности движения на дорогах, что является особенно важным для обеспечения эффективного функционирования транспортной системы.

## Литература

- J. Zou, Y. Zhu, Y. Xu, Q. Li, L. Meng & H. Li Mobile precise trigonometric levelling system based on land vehicle: an alternative method for precise leveling // Survey Review, Vol. 49, Issue 355, 2017, pp. 249–258.
- Nestorovic Z., Delcev S. Comparison of height differences obtained by trigonometric and spirit leveling method // Geonauka. – 2014. – Vol 2, No.4. – pp. 30–37.
- P. von Olshausen, M. Roetner, C. Koch, and A. Reiterer "Multimodal measurement system for road analysis and surveying of road surroundings", Proc. SPIE 11787, Automated Visual Inspection and Machine Vision IV, 1178709 (20 June 2021)
- Ralbovsky, M., Vorwagner, A., Kleiser, M., Kozakow, T., Geier, R. Traffic vibrations during concreting work on existing road bridges – Vibration prognosis for the assessment of construction stages in course of the newly constructed highway bridge A 23 – Hochstraße Inzersdorf [Verkehrsschwingungen bei Betonierarbeiten auf bestehenden Straßenbrücken: Schwingungsprognosen zur Bewertung von Bauzuständen im Zuge der neu errichteten Autobahnbrücke A 23 – Hochstraße Inzersdorf] (2020) Beton- und Stahlbetonbau, 115 (3), pp. 179-187.
- Shults R., Roshchyn-Kyiv O. Preliminary determination of spatial geodetic monitoring accuracy for free station method // Geodetski List. – 2016. – Т. 70., № 4. – С. 355–370.
- Takalo M. On Digital Levelling Technique Applied in Water Crossing [Electronic resource] / Mikko Takalo, Paavo Rouhiainen. XXIII FIG Congress. Munich, Germany, October 8-13, 2006.
- Геодезия: учебник для студ. высш. образ. / Е.Б.Клюшин, М.И. Киселев, Д.Ш. Михелев, В.Д. Фельдман; под ред. Д.Ш. Михелева – 12-е изд., стер – М.: Изд. центр «Академия», 2014. – 496 с.
- Маслов А. В. Геодезия: учебник / А. В. Маслов, А. В. Гордеев, Ю. Г. Батраков. – М. : Колос, 2013. – 598 с.
- Пантусо, А.; Лопренсипи, Г.; Бонин, Г.; Телтаев Б.Б. Анализ данных обследования состояния дорожного покрытия для эффективного внедрения программы управления дорожным покрытием на сетевом уровне в Казахстане. Устойчивое развитие 2019, 11, 901. <https://doi.org/10.3390/su11030901>
- Русяева, Е.А. Теория математической обработки геодезических измерений: учебное пособие Часть I. Теория ошибок измерений. — М.: МИИГАиК, 2016.— 56 с.
- Шакиева, Г.С. Геодезическое обеспечение реконструкции автомобильных дорог / Г.С. Шакиева, Х.М. Касымканова // журнал «Вестник КазНУ. Серия географическая» КазНУ им. аль-Фараби. – 2015. – № 2 (41). – стр. 214 – 218.

## References

- Geodesy: textbook for students. higher. image / E.B.Klyushin, M.I. Kiselev, D.S. Mikhelev, V.D. Feldman; edited by D.S. Mikhelev – 12th ed., ster – М.: Publishing center "Academy", 2014. – 496 p.
- J. Zou, Y. Zhu, Y. Xu, Q. Li, L. Meng & H. Li Mobile precise trigonometric levelling system based on land vehicle: an alternative method for precise leveling // Survey Review, Vol. 49, Issue 355, 2017, pp. 249–258.
- Maslov A. V. Geodesy: textbook. V. Maslov, A. V. Gordeev, Yu. G. Batrakov. – M. Colossus, 2013. – 598.
- Nestorovic Z., Delcev S. Comparison of height differences obtained by trigonometric and spirit leveling method // Geonauka. – 2014. – Vol 2, No.4. – pp. 30–37.
- P. von Olshausen, M. Roetner, C. Koch, and A. Reiterer "Multimodal measurement system for road analysis and surveying of road surroundings", Proc. SPIE 11787, Automated Visual Inspection and Machine Vision IV, 1178709 (20 June 2021)
- Pantuso, Antonio, Giuseppe Loprencipe, Guido Bonin, and Bagdat Burkhanbaiuly Teltayev. 2019. "Analysis of Pavement Condition Survey Data for Effective Implementation of a Network Level Pavement Management Program for Kazakhstan" Sustainability 11, no. 3: 901. <https://doi.org/10.3390/su11030901>
- Ralbovsky, M., Vorwagner, A., Kleiser, M., Kozakow, T., Geier, R. Traffic vibrations during concreting work on existing road bridges – Vibration prognosis for the assessment of construction stages in course of the newly constructed highway bridge A 23 – Hochstraße Inzersdorf [Verkehrsschwingungen bei Betonierarbeiten auf bestehenden Straßenbrücken: Schwingungsprognosen zur Bewertung von Bauzuständen im Zuge der neu errichteten Autobahnbrücke A 23 – Hochstraße Inzersdorf] (2020) Beton- und Stahlbetonbau, 115 (3), pp. 179-187.
- Rusyaeva, E.A. Theory of mathematical processing of geodetic measurements: textbook Part I. Theory of measurement errors [Teoriya matematicheskoy obrabotki geodezicheskikh izmereniy: uchebnoye posobiye Chast' I. Teoriya oshibok izmereniy]. – М.: МИИГАиК, 2016. – 56 p.
- Shakiyeva, G. S., Kassymkanova, H. M. «Geodezicheskoye stroitelstvo rekonstruktsii avtomobilnykh dorog [Geodetic construction of the reconstruction of highways].» Bulletin of KazNU. Geographic series no 2 (2015): 214 – 218.
- Shults R., Roshchyn-Kyiv O. Preliminary determination of spatial geodetic monitoring accuracy for free station method // Geodetski List. – 2016. – Т. 70., № 4. – С. 355–370.
- Takalo M. On Digital Levelling Technique Applied in Water Crossing [Electronic resource] / Mikko Takalo, Paavo Rouhiainen. XXIII FIG Congress. Munich, Germany, October 8-13, 2006.