
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ, ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫЕ, ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 528, 004.4, 004.6, 004.7

АВТОМАТИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА СОБЛЮДЕНИЯ ПРОЕКТНЫХ ОТМЕТОК ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕМОНТЕ АВТОДОРОГ

Жигалов Кирилл Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, Московский технологический институт, 119334, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский проспект, 38а, e-mail: kshakalov@mail.ru

Рассмотрено комплексное использование современных технологий сбора, обработки и передачи информации для автоматизированного наблюдения за всеми стадиями (этапами) производства строительных работ (на примере строительства автодороги). Основное внимание уделено вопросам максимальной автоматизации указанных выше операций мониторинга. Рассмотрены положительные и отрицательные стороны предложенного метода сбора и обработки информации о качестве выполнения строительных работ. К положительным сторонам предложенного метода можно отнести следующее: небольшие затраты времени на реализацию, наглядность отображения хода процесса для оператора, возможность использования системы для реализации задач автоматизированного управления ходом процесса строительства, сокращение общего времени проведения строительных работ. К отрицательным сторонам можно отнести сравнительно высокую стоимость оборудования и необходимость обучения сотрудников работе с системой. Отражены вопросы управления точностью получаемых данных с учетом ее влияния на себестоимость их получения. Для обеспечения передачи данных между станциями и центром мониторинга обоснована целесообразность использования технологии WiFi, так как применение обычных проводных линий связи в условиях постоянно меняющейся ситуации на стройплощадке затруднительно. При характеристике вопросов применения WiFi технологии автором исследуются факторы, влияющие на качество передаваемого сигнала (тип используемого оборудования, общая мощность передатчиков, использование антенн, наличие препятствий и их природа). На основе такого исследования даны общие рекомендации по обустройству как станций мониторинга, так и стройплощадки в целом. Использование предлагаемых технологий мониторинга может реализовывать только один оператор, что существенно сократит расходы на эти работы по сравнению с существующей практикой контроля качества работ. По результатам рассмотрения материала статьи сделан вывод о том, предложенный метод может повысить эффективность управления процессами ремонта и строительства автодорог.

Ключевые слова: мониторинг строительства, лазерное сканирование, геоинформационные системы (ГИС) для систем мониторинга, автоматизация процессов мониторинга, применение ГИС, ГИС в строительстве, станции мониторинга, WiFi на строительных объектах

THE AUTOMATED MONITORING OF OBSERVANCE OF PROJECT MARKS AT CONSTRUCTION AND REPAIR OF HIGHWAYS

Zhigalov Kirill Yu., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Moscow Technological Institute, 38a Leninskiy av., Moscow, 119334, Russian Federation, e-mail: kshakalov@mail.ru

Use of modern means of collecting processing and transfer of information for the automated supervision of all stages of production of construction works (on the example of highway construction) is consid-

ered in the article. The main attention in article is paid to questions of the maximum automation described above process of monitoring. Positive and negative sides of the offered method of collecting and information processing are considered. To the positive sides of the offered method we can carry : small costs of time of realization, visualisation of the process for operator, possibility of use of system for realization of automated management process of highways construction, reduction of the general time of construction works. To the negative sides of the offered method we can carry a rather high cost of the equipment and need of training of the employee for work with the system. In the article are reflected the questions of management of accuracy of the obtained data, taking into account its influence on cost of their receiving. It is offered to use the WiFi technology for the solution of a question of data transmission between monitoring stations, since the use of ordinary wire communication lines in the conditions of constantly changing building site. By consideration of WiFi technology application questions the author are describe the factors, that are influencing for a quality of the transmitted signal (type of the used equipment, the general power of transmitters, use of antennas in addition, existence of obstacles and their nature). On the basis of the factors the general recommendations about arrangement of monitoring stations sets, and a building site as a whole are made. As a result of application of these practices only one operator will be able to carry out process of monitoring, that will significantly cut down expenses on these works. The offered method can increase effective management of processes of repair and construction of highways.

Keywords: construction monitoring, laser scanning, geoinformation systems (GIS) for monitoring systems, automation of monitoring processes, GIS, GIS application in the construction, monitoring stations, WiFi on construction objects

Протяженность автодорог, количество полос, качество покрытия, допускаемые веса автотранспорта с грузом играют важную роль в обеспечении транспортных перевозок, функционировании экономики страны и отдельных регионов. Обычно процесс строительства автодорог занимает достаточно длительный период времени. При этом качеству строительства уделяется большое внимание, так как от этого зависит долговечность покрытия, интенсивность его износа, уровни рисков для пассажиров и водителей автотранспорта, владельцев перевозимых грузов и пр. Современная дорога состоит из нескольких слоев (как пирог), и для получения желаемого результата строительства следует тщательно контролировать правильность укладки (относительно горизонта и толщины) каждого из этих слоев. В настоящее время такого рода контроль осуществляется вручную тремя видами оборудования [7]:

- водяной уровень (дешевое и простое устройство, но его затруднительно использовать в зимнее время года);
- лазерный уровень (представляет собой устройство, расположенное на штативе и излучающее на относительно небольшое расстояние лазерные лучи в горизонтальной плоскости);
- нивелир или электронный тахеометр.

Все эти устройства предполагают нахождение людей, выполняющих контроль, непосредственно на территории стройплощадки, на которой проводятся работы. Это, в свою очередь, существенно ограничивает передвижение строительной техники во время осуществления процедур контроля. Кроме того, следует учитывать достаточно большую протяженность автотрасс и небольшие площади, одновременно «покрываемые» описанными выше системами (устройствами). Это приводит к значительным расходам времени на проведение контроля по всей трассе и, в свою очередь, к простоям людей и строительной техники в процессе контроля. Современные методы сбора и обработки пространственных данных позволяют минимизировать описанные выше негативные факторы систем контроля качества проведения работ на автотрассе.

Поэтому целью настоящей статьи была характеристика предложенного автором метода комплексного использования современного оборудования для сбора, передачи и обра-

ботки данных для применения в системах автоматизированного мониторинга хода и качества проведения строительных работ.

С точки зрения сбора геопространственной информации целесообразно рассмотреть две методики.

1. Использование подвижных систем лазерного сканирования (ПСЛК) качества дорожного полотна, установленных на автомобиле. В данном случае целесообразнее всего использовать внедорожник. Этот подход успешно применяется для контроля состояния уже готовых объектов.

2. Расстановка лазерных сканирующих систем по периметру строительного объекта на расстоянии 250–300 метров друг от друга. Данный подход автор предлагает использовать для контроля на стадии строительства.

Рассмотрим подробнее оба метода и варианты их применения.

В случае использования СЛК, установленных на автомобиле (т.е. первого метода), система контроля стоит в 2–3 раза дешевле и включает в себя следующее: автомобиль (как подвижный носитель сканирующего устройства); лазерный сканер (располагается на специальных креплениях на автомобиле); GPS/ГЛОНАСС приемник; компьютер с установленным на него комплексом программ геоинформационной системы (ГИС).

Перед началом проведения работ лазерный сканер позиционируется в определенной географической системе координат. Это можно сделать двумя способами – с помощью GPS/Глонасс приемника или с использованием «опорных точек» на местности – например, привязанных к государственной геодезической сети.

В первом случае достаточно поставить две световозвращающие метки на местности и провести их позиционирование с помощью GPS/Глонасс приемника, далее просканировать местность с этими марками (метками) с помощью лазерного сканера. После чего в «облаке» точек найти метки и задать им координаты, полученные с приемника. Таким образом, начало системы координат (место расположения сканера) будет пересчитано в глобальную систему с помощью GPS приемника, установленного на крышке сканера, а дополнительные метки позволят задать правильный вектор разворота системы координат.

Во втором варианте на местности выбирают характерные, легко различимые точки (не менее трех), имеющиеся и на карте. Если таких точек нет, то ставят специальные световозвращающие метки на местности, их сканируют и заносят в ГИС. На эти же точки ставят GPS/ГЛОНАСС приемник и определяют их координаты. Далее отсканированным точкам задают координаты, полученные с приемника, и производят пересчет остального облака (совокупности) точек из местной в геопространственную систему координат. В этом случае относительная (т.е. по отношению друг к другу) точность определения координат будет складываться из суммы среднеквадратической погрешности измерений лазерного сканера (0,5 см) и точности позиционирования (установки) GPS/ГЛОНАСС приемника (1 см) [5]. (таким образом, среднеквадратическая погрешность составит 1,5 см). Следует отметить, что для проведения работ по строительству автодорог такой точности в определении пространственных координат вполне достаточно.

Во время производства работ, при получении точек со сканера облака точек будут «сшиваться» сначала с начальным облаком точек, а далее друг с другом – по характерным точкам, имеющимся на обоих «сшиваемых» облаках. При каждой такой «сшивке» новое облако точек в отношении их координат будет автоматически пересчитываться в геопространственную систему координат. На выходе оператор ГИС будет видеть всю строительную площадку в виде единого облака точек, позиционированного в географической системе координат.

Данный метод предполагает передвижение сканирующего комплекса по участку строительства трассы сразу после укладки каждого слоя дороги. Следует отметить, что на первых этапах проведения строительных работ (например, при отсыпке землей полотна до-

роги) такой метод практически не реализуем из-за особенностей проходимости большинства автомобилей.

Описанный метод относительно недорогой, так как используется всего один лазерный сканер. К его недостаткам следует отнести следующее:

- отсутствие возможности интегрирования в систему автоматизированного управления объектами на площадке;
- необходимость убирать технику с площадки на время производства работ по мониторингу уложенного слоя;
- крайне затруднительно использовать ПЛСК на первых этапах производства работ;
- данные мониторинга становятся доступными только после проведения работ по укладке слоя на всем участке.

Поскольку наибольший интерес представляют системы, работающие на всех этапах работ на площадке, рассмотрим более подробно второй метод (подход) и варианты его технических реализаций.

При расстановке лазерных сканирующих комплексов по периметру система стоит дороже, чем описанная для первого варианта и состоит из следующего оборудования: лазерный сканер с обзором в 360 градусов (4–6 штук) – эти устройства иногда называются «лазерными горизонтами»; GPS/ГЛОНАСС приемник; WiFi точки доступа с направленными антеннами (либо направленные WiFi антенны); роутеры проводные (в основном они используются в режимах коммутаторов); компьютер.

Лазерные сканеры размещаются по периметру стройплощадки будущей трассы на удалении 20 метров от крайних продольных осей (1), на расстоянии в 1000 метров от краев (2) стройплощадки по ее длине, на расстоянии 2000–4000 метров друг от друга по оси трассы (рис. 1).

При использовании шести сканеров RIEGL VZ-4000 система «покрывает» участок будущей трассы протяженностью до 10 км. Для иных сканирующих систем это расстояние может быть как больше, так и меньше [5, 9, 11] (см. табл. 1).

Таблица 1

Дальности измерений с использованием различных лазерных сканеров

Модель лазерного сканера	Дальность измерений при коэф. отр. 90 % (в метрах)	Дальность измерений при коэф. отражения 10 % (в метрах)	Точность измерений на максимальном расстоянии (мм)	Точность измерений на минимальном расстоянии (мм)
Leica ScanStation 2	300	134	15	10
Leica ScanStation C10	300	134	15	10
Leica HD S6100	79	50	13	10
Leica HD S4400	79	50	13	10
RIEGL VZ-4000	4000	1500	40	15
ILRIS-3D	2000	650	38	12
ILRIS-HD	2200	650	42	12
ILRIS-LR	3300	1330	42	13

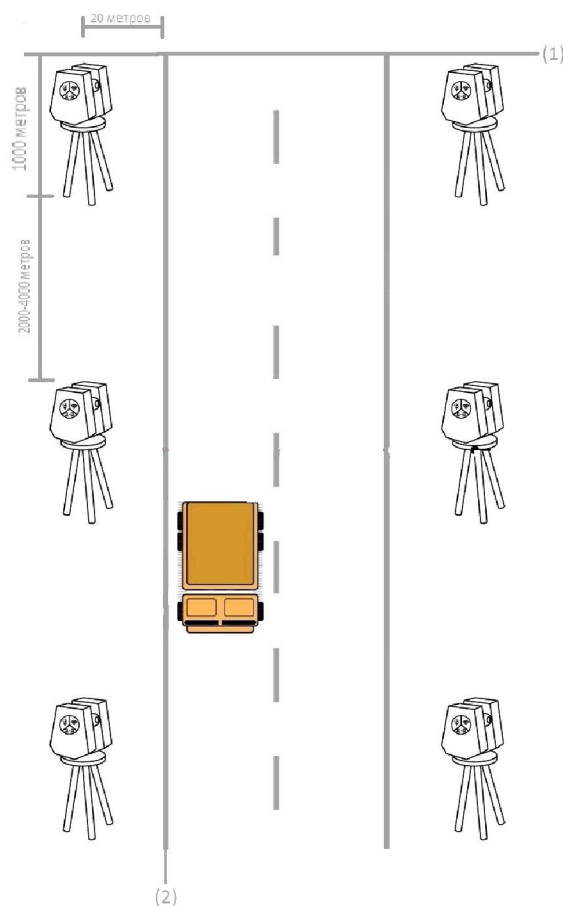


Рис. 1. Схема расстановки оборудования на стройплощадке автодороги

Для обеспечения задачи контроля качества проведения строительных работ необходимо обеспечить точность сканирования не хуже 50 мм. Поэтому, исходя из данных в табл. 1, можно говорить о приемлемом для задач мониторинга качестве измерений для всех рассмотренных лазерных сканеров.

С позиций контроля критерием качества укладки слоя является максимальное (на всем участке строительства/стройплощадке) отклонение фактически положенного слоя от высотных отметок, предусмотренных проектом строительства автостреды.

Перед началом работ (выполнения сеанса мониторинга) на всех сканерах проводят процедуру привязки выходных данных к геопространственной системе координат с помощью световозвращающих меток (не менее трех). Их размещают на строительной площадке и сканируют сканером за первый проход так, чтобы метки были хорошо различимы в облаке точек. Параллельно, с помощью GPS/ГЛОНАСС приемника определяются координаты меток и вносятся в полученное облако точек (оператором вручную). После этого запускается процедура пересчета системы координат сканера в геопространственную систему координат. Начиная с этого момента, сканер будет позиционировать все последующие облака точек в необходимой системе координат. Единственное условие – не выключать систему.

Следует отметить, что сканирующая система работает дискретно по времени, что подразумевает сбор данных по облакам точек лишь после каждого следующего слоя, уложенного на поверхности строящейся дороги.

В отношении передачи данных между станциями мониторинга и «центром мониторинга» для строительной площадки следует принять во внимание, что строительные объекты связаны с постоянным передвижением людей, техники и прочего оборудования. Поэтому использование для передачи сигнала кабеля не представляется возможным, так как его будут постоянно неумышленно рвать (как показывает практика, это происходит на стройплощадках автодорог в среднем несколько раз в неделю). Поэтому целесообразно использовать беспроводные технологии передачи данных, наиболее подходящей из которых на сегодняшний день является WiFi.

Скорость работы беспроводных сетей WiFi определяется поддерживаемыми ими стандартами. Максимальная пропускная способность у сетей стандарта 802.11n составляет 600 Мбит/с. У остальных стандартов скорость передачи сигнала существенно ниже (см. табл. 2) [3, 8, 10]. При практическом использовании даже на максимально высоком уровне сигнала производительность WiFi сетей не достигает и 50 % от теоретического максимума [4]. Причинами такого несоответствия являются [4]:

- избыточность кодирования протокола;
- помехи в сигнале;
- изменение расстояния Хемминга с изменением расстояния между передатчиком и приемником;
- количество одновременно участвующих в обмене данными устройств.

Таблица 2

Технические характеристики стандартов беспроводной связи

Протокол	Частота (ГГц)	Теоретическая максимальная скорость (Мбит/с)	Практическая скорость (Мбайт/с)	Дальность действия в помещении со стандартной антенной	Дальность действия на открытой местности со стандартной антенной
802.11b	2,4	11	0,4	38	140
802.11a	5	54	2,3	35	120
802.11g	2,4	54	1,9	38	140
802.11n	2,4/5	600	7,4	70	250

Как видно из табл. 2, радиус действия роутеров со стандартными антеннами для стандарта 802.11n на открытой местности не превышает 250 метров. На практике радиус действия любой сети WiFi зависит от следующих факторов: тип используемого оборудования; общая мощность передатчиков; коэффициент усиления используемых антенн; длина и затухание в кабелях подключения антенн; наличие препятствий, имеющих на пути сигнала и их природа.

Препятствия (такие как металлические конструкции, бетонные стены и пр.) уменьшают радиус действия WiFi сети примерно на 25 % и более. В связи с тем, что стандарт 802.11a работает на более высоких частотах, он наиболее чувствителен к различного рода препятствиям. На радиус действия для стандартов 802.11b и 802.11g влияют помехи от высокочастотных передатчиков.

На стройплощадке дополнительным существенным препятствием может оказаться листва деревьев (она содержит воду, поглощающую микроволновое излучение). Сильный

дождь ослабляет сигнал диапазона 2,4Ghz с интенсивностью до 0,05 dB/км. В лесу сигнал может затухать с интенсивностью до 0,5 dB/метр.

Увеличить радиус действия сигнала WiFi для станций мониторинга можно с помощью объединения в цепь нескольких беспроводных точек доступа или роутеров и/или путем замены штатных антенн на антенны направленного действия. Точки доступа с направленными антеннами можно разместить на специальных площадках, используемых для мониторинга и управления на стройплощадке. Направленные антенны могут увеличивать радиус действия передатчиков устройств мониторинга до нескольких километров [1]. При этом, направляя антенны, необходимо учитывать тот факт, что пространство вокруг прямой линии, проведенной между приемником и передатчиком, должно быть свободно от поглощающих и отражающих препятствий в радиусе, сравнимом с 0,6 радиуса первой зоны Френеля. Размер этой зоны (R_M) рассчитывается по следующей формуле:

$$R_M = 17.3 \sqrt{(1/f_{\text{ГГц}})(S_{\text{дл}} D_{\text{дл}})/(S_{\text{дл}} + D_{\text{дл}})},$$

где $S_{\text{дл}}$ – расстояние от передатчика до препятствия (км); $D_{\text{дл}}$ – расстояние от препятствия до приемника (км); $f_{\text{ГГц}}$ – частота сигнала (ГГц).

На практике обычно используются специализированные детекторы. Тем не менее, на стройплощадке автодороги имеется большое количество объектов, способных прерывать сигнал (например: грузовые машины, асфальтоукладчики, прочее металлическое или металлосодержащее оборудование). Эту проблему (ухудшения условий распространения сигнала из-за препятствий) можно решить, поднимая антенны на достаточно значительную высоту над землей.

Если системы мониторинга интегрированы с системами автоматизированного управления (САУ), то в процессе обмена данными на стройплощадке присутствуют не только станции мониторинга, но и бортовые компьютеры систем управления каждым движущимся объектом. Тогда имеет смысл разносить устройства обмена данными между станциями с устройствами передачи данных от станции к объектам. Между собой эти маршрутизаторы подключаются посредством кабеля, пропускная способность которого до 1 Гбит/с. Схематично такая система передачи данных на стройплощадке представлена на рис. 2.

В сочетании с каждым сканером используются (рис. 3):

- направленные WiFi антенны, посредством которых станции мониторинга, объединяются в общую локальную сеть. Следует отметить, что при расстояниях, не превышающих 2 км между станциями мониторинга, возможно использовать точки доступа с интегрированными 60-градусными антеннами;
- роутер, посредством которого к сканеру подключаются периферийные системы (устройства). Следует отметить, что роутер, в отличие от коммутатора, позволяет организовать отдельную сеть в рамках каждой станции мониторинга, что повышает безопасность и пропускную способность системы в целом. Тем не менее, при работе станций мониторинга в системах автоматизированного управления роутер будет работать в именно в режимах коммутатора;
- компьютер для первичной обработки получаемых со сканера данных и управления;
- GPS/ГЛОНАСС приемник;
- WiFi роутер для обмена данными с движущимися объектами (опционально ставится только в системах, подразумевающих полное или частичное управление строительным процессом). Следует отметить, что WiFi роутер в данном случае работает в режиме точки доступа.

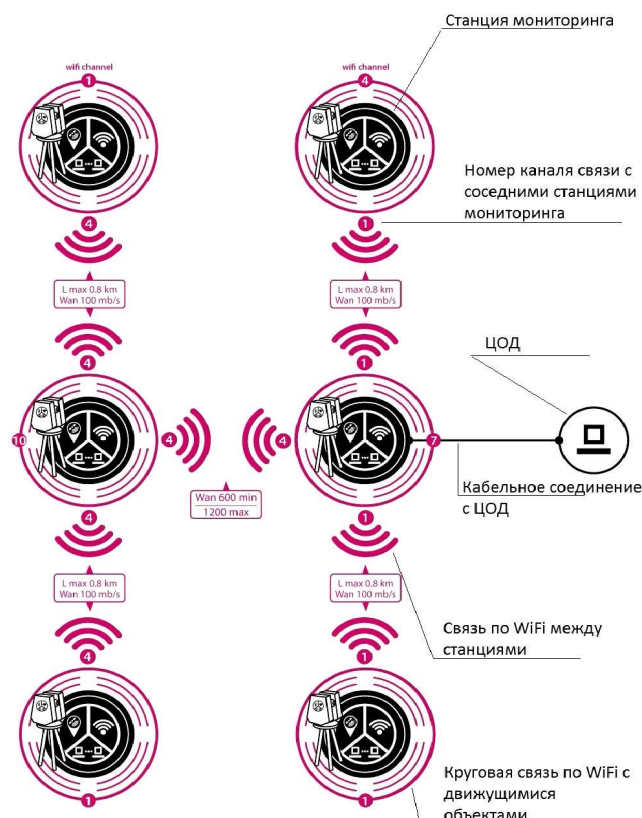


Рис. 2. Система организации передачи данных на стройплощадке

В локальной сети стройплощадки предполагается также использование сервера. Его основные задачи:

- получать сканированные облака точек поверхности строительной площадки и «подгружать» их в единую ГИС;
- обеспечивать эксплуатацию ГИС, включая доступ пользователей к ней;
- хранить данные.

Поскольку облака точек поступают на сервер уже в геопространственной системе координат, то дополнительных «сшивок» облаков не требуется. Таким образом, обработка облаков точек в данном случае может осуществляться в режиме реального времени и ограничиваться только следующими скоростями: сканирования самого сканера; фильтрации данных для облака точек; передачи данных через сеть.

Для уменьшения объема потока данных и повышения скорости обработки сканирование рекомендуется производить с использованием квадратной сетки точек измерений 10*10 см (табл. 3). Опытным путем было установлено, что такого шага достаточно для оперативного контроля точности укладки слоев автодороги.

Таблица 3

Зависимость скорости обработки и передачи облака точек от шага сканирования

Шаг сетки сканирования (см)	Объем данных, соответствующих количеству точек на 1 км ²	Скорость фильтрации облака точек (с)	Использование пропускной способности канала связи в %
1*1	10.000.000	400	100
5*5	400.000	160	40
10*10	100.000	40	10
15*15	45.000	18	4,5

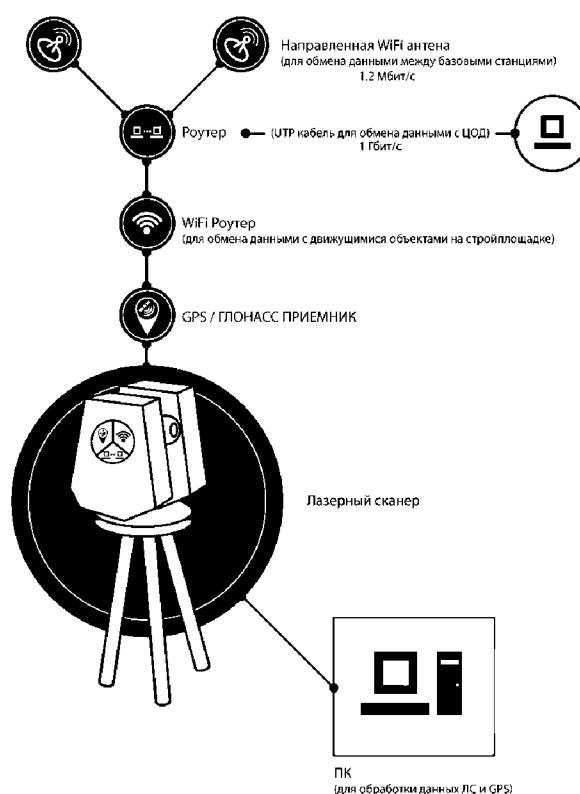


Рис. 3. Схема компоновки объектов в сканирующей станции

Важно, что предлагаемое решение можно использовать для интеграции в САУ процессами строительства, так как не требуется остановок работ и может осуществляться оперативный контроль в режиме реального времени.

Как уже отмечалось, для обработки пространственных данных целесообразно использование ГИС. В качестве ее основы берется цифровая модель существующего рельефа (ЦМР). Для ее построения используются пространственные данные, полученные на месте геодезистами с помощью таких приборов, как тахеометры и нивелиры. Отметим, что в настоящее время в качестве дополнительных или основных данных для построения ЦМР применяются также результаты аэрофотосъемки; топографические карты; данные воздушного лазерного сканирования. Для позиционирования ЦМР в глобальной системе координат целесообразно при про-

ведении геодезических работ в поле использовать GPS/Глонасс приемники. Затем в камеральных условиях производится сопоставление точек, полученных с лазерного сканера или тахеометра с точками, полученными с GPS/ГЛОНАСС приемников. Далее, с помощью систем моделирования, для каждого строительного слоя (земляная подсыпка, выполненная в рамках вертикальной «планировки» территории; гравийно-песчаная подсыпка; бетонное покрытие; асфальт и т.п.) строится контрольная модель – поверхность базовой ЦМР.

Полученные контрольные модели в дальнейшем применяются для сверки положений фактических слоев автодороги с расчетными (проектными). Фактические модели поверхности берутся из облаков точек, полученных путем лазерного сканирования описанными в предыдущих разделах методами. Для более точных сопоставлений облака точек сначала фильтруют – для исключения из них ошибочных и/или повторяющихся данных.

После завершения построения и фильтрации облака точек, характеризующего фактическую поверхность, происходит наложение фактической поверхности на расчетную, и ЭВМ вычисляет отклонения (по модулю), затем сравнивает его с заданным контрольным (допустимым) значением. Для получения расчетного отклонения от каждой точки облака точек строится проекция на контрольную модель. Если величина отклонения меньше или равна заданной (максимальные отклонения для каждой поверхности вносятся в специальную форму в ГИС на стадии подготовки к производству работ), то ГИС помечает точку зеленым цветом (в программе Талка-ГИС разработки ИПУ РАН эти точки можно отключить из обзора/отображения). В противном случае (отклонение больше заданного по модулю) точка помечается красным. Альтернативным решением может быть использование, например, синего цвета для фактических положений меньших чем проектные и красного – для положений выше проектных.

Далее оператор, просматривая данные на плане с помощью ГИС, принимает решение о дальнейших действиях, исходя из существующего СНИПа [6] (на конечном этапе) и заключений проектировщика на всех других этапах. Кроме того, отчеты по фактическим отклонениям от проекта доступны проектировщикам (помимо контролирующих организаций сферы строительства) – в процессе приемки работ в порядке авторского надзора [2]. Таким образом, приемка выполненных работ может осуществляться на качественно новом уровне, позволяющем заинтересованным лицам и организациям отследить все промежуточные этапы работ.

Подводя итоги, можно сказать, что предложенный авторами подход к сбору и обработке информации позволяет автоматизировать процесс мониторинга хода строительства/ремонта автодорог и характеризуется следующими преимуществами:

- 1) небольшие затраты времени на реализацию;
- 2) оператору нет необходимости просматривать все данные в числовой форме для получения выводов о качестве работ – это практически исключает ошибки, связанные с человеческим фактором;
- 3) возможность использования для реализации задач автоматизированного управления ходом процесса строительства любых протяженных объектов, а не только дорог (например, газо- и нефтепроводов);
- 4) сокращение общего времени строительных работ (за счет отсутствия вынужденных пауз на «контрольные операции») – это позволяет существенно экономить время и финансовые средства;
- 5) предложенный метод, в мобильном исполнении, может использоваться также для оценки деформаций дорожного полотна, возникших в процессе эксплуатации автодорог по отношению к проектным отметкам. При этом ориентировочно могут быть оценены и объемы требующихся ремонтно-восстановительных работ, а при необходимости и дополнительных работ, например направленных на создание дренажных систем.

Список литературы

1. Антенны для Wi-Fi-устройств // Компьютер Пресс. – Режим доступа: <http://compress.ru/article.aspx?id=17784&iid=822> (дата обращения 09.02.2014), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
2. Брумштейн Ю. М. Авторский надзор в строительстве как элемент системы защиты прав авторов проектов / Ю. М. Брумштейн, В. В. Гладких, А. М. Сизов // Интеллектуальная собственность. Авторское право. – 2003. – № 3. – С. 12–18.
3. Общие рекомендации по построению беспроводных сетей // Сайт компании Zyxel в России. – Режим доступа: <http://zyxel.ru/kb/2940> (дата обращения 07.05.2014), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
4. Пospelov П. И. Дороги / П. И. Пospelov // Большая Российская энциклопедия : в 30 т. – Москва, 2007. – Т. 9. – С. 285.
5. Сайт компании Leica в России. – Режим доступа: <http://www.leica-geosystems.ru/ru/index.htm> (дата обращения 01.07.2014), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
6. Строительные нормы и правила. Автомобильные дороги. СНиП 3.06.03-85 // ГОССТРОЙ СССР. – Москва, 1989.
7. Целых Д. С. Устройства для анализа и оценки состояния дорожного покрытия / Д. С. Целых, Д. В. Кутузов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2012. – № 4 (20). – С. 23–30.
8. Что влияет на работу беспроводных сетей Wi-Fi? Что может являться источником помех и каковы их возможные причины? // Сайт компании Zyxel в России. – Режим доступа: <http://zyxel.ru/kb/2082> (дата обращения 01.02.2014), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
9. Terrestrial Laser Scanning // Riegl. Laser Measurement Systems. – Available at: <http://www.riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/> (accessed 01.07.2014).
10. NEW IEEE 802.11ac™ SPECIFICATION DRIVEN BY EVOLVING MARKET NEED FOR HIGHER, MULTI-USER THROUGHPUT IN WIRELESS LANS // IEEE-STANDARDS ASSOCIATION. – Available at: http://standards.ieee.org/news/2014/ieee_802_11ac_ballot.html (accessed 09.02.2014).
11. Static-3d-survey // Optech. – Available at: <http://www.optech.com/index.php/products/static-3d-survey/> (accessed 05.07.2014).

References

1. Antennas for Wi-Fi-devices. Computer Press. Available at: <http://compress.ru/article.aspx?id=17784&iid=822> (accessed 09.02.2014). (In Russ.)
2. Brumshteyn Yu. M., Gladkih V. V., Sizov A. M. Avtorskiy nadzor v stroitelstve kak element sistemy zashchity prav avtorov projektov [Author's supervision in building as an element of protection of the rights of the authors of projects]. *Intellektualnaya sobstvennost. Avtorskoe pravo* [Intellectual property. Copyright.], 2003, no. 3, pp. 12–18.
3. General recommendations for the construction of wireless networks. The Website of the company Zyxel in Russia. Available at: <http://zyxel.ru/kb/2940> (accessed 07.05.2014). (In Russ.)
4. Pospelov P. I. Dorogi [Roads]. *Bolshaya Rossiyskaya entsiklopediya* [Big Russian encyclopedia], in 30 vol. Moscow, 2007, vol. 9, p. 285.
5. The Website of the company Leica in Russia. Available at: <http://www.leica-geosystems.ru/ru/index.htm> (accessed 01.07.2014). (In Russ.)
6. Stroitelnye normy i pravila. Avtomobilnye dorogi. SNiP 3.06.03-85 [Construction norms and rules. Autoroad. SNIP 3.06.03-85]. *GOSSSTROY SSSR* [GOSSTROY of the USSR]. Moscow, 1989.
7. Tselykh D. S., Kutuzov A. I. Ustroystva dlya analiza i otsenki sostoyaniya dorozhnogo pokrytiya [Devices for analysis and assessment of road condition]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2012, no. 4 (20), pp. 23–30.
8. What affects the operation of wireless networks Wi-Fi? What could be the source of interference and what are the possible causes? Website Zyxel in Russia. Available at: <http://zyxel.ru/kb/2082> (accessed 01.02.2014). (In Russ.)
9. Terrestrial Laser Scanning. Riegl. Laser Measurement Systems. Available at: <http://www.riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/> (accessed 01.07.2014).

10. NEW IEEE 802.11ac™ SPECIFICATION DRIVEN BY EVOLVING MARKET NEED FOR HIGHER, MULTI-USER THROUGHPUT IN WIRELESS LANS. IEEE-STANDARDS ASSOCIATION. Available at: http://standards.ieee.org/news/2014/ieee_802_11ac_ballot.html (accessed 09.02.2014).

11. Static-3d-survey. Optech. Available at: <http://www.optech.com/index.php/products/static-3d-survey/> (accessed 05.07.2014).

УДК 681.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕРЕХОД-КОРПУС СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ ПО ПЕРЕХОДНОЙ ФУНКЦИИ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ПАРАМЕТРА

Статья поступила в редакцию 05.04.2014, в окончательном варианте 05.09.2014.

Ершов Андрей Борисович, кандидат технических наук, Ставропольский государственный аграрный университет, 355017, Российская Федерация, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12, e-mail: erschow157500@yandex.ru

Хорольский Владимир Яковлевич, доктор технических наук, Ставропольский государственный аграрный университет, 355017, Российская Федерация, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12.

Хабаров Алексей Николаевич, кандидат технических наук, Технологический институт сервиса (филиал) Донского государственного технического университета, 355035, Российская Федерация, г. Ставрополь, ул. Кулакова, 41/1, e-mail: habrw@yandex.ru

Ефанов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, Ставропольский государственный аграрный университет, 355017, Российская Федерация, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12, e-mail: yefanov@mail.ru

В статье рассмотрены современные тенденции, определяющие рост требований к надёжности систем электротехнического и электронного оборудования, основные подходы к определению количественных параметров и характеристик функциональной надёжности данных систем и их элементов. Проанализированы проблемы в определении нормативных требований, определяющих методы измерения величины статического теплового сопротивления (СТС) «переход-корпус» силовых полупроводниковых диодов (СПД) с целью их дополнения и последующего внесения в технические условия на производство приборов. Предложен новый метод измерения величины СТС «переход-корпус» СПД по переходной функции термочувствительного параметра. Этот метод позволяет определять СТС без непосредственного измерения температуры корпуса прибора и обеспечивает тем самым возможность сквозного контроля данного параметра при производстве СПД. Авторами рассмотрены принципы аналитического описания переходной функции термочувствительного параметра как решения: обыкновенного дифференциального уравнения показательного роста; жёсткой системы линейных дифференциальных уравнений. Обоснованы принципы обеспечения неразрушающего контроля СПД по параметру греющего тока. В статье описаны основные проблемы в технике измерения величины теплового сопротивления «р-п-переход-корпус» по переходной функции термочувствительного параметра и предложены пути их решения. Авторами представлены также результаты измерений при сквозном контроле величины СТС «переход-корпус» для опытных образцов СПД штыревой конструкции, рассчитанных на токи до 25 А.

Ключевые слова: силовые диоды, тепловое сопротивление, методы измерения, температура р-п перехода, греющий ток, температура корпуса, переходная функция, термочувствительный параметр, точность определения переходной функции, сквозной контроль параметров