

ЦИФРОВОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ ЛИНЕЙНЫХ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНЫХ ДАННЫХ

© 2020 Д. А. Гура^{1,2}, Ю. В. Дубенко¹, А. П. Павлюкова^{✉2}

¹Кубанский государственный технологический университет
ул. Московская, 2, 350072 Краснодар, Российская Федерация

²Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина
ул. Калинина, 13, 350044 Краснодар, Российская Федерация

Аннотация. Деформации линий электропередач, зачастую вызванные антропогенным или природным негативным воздействием, могут привести к аварийному отключению электроэнергии, а также стать угрозой для безопасности жизни граждан. Указанные риски свидетельствуют о необходимости проведения мониторинга линейных объектов, а также проработки алгоритмов оптимизации данного процесса. В статье рассматривается вопрос создания информационной системы для ведения мониторинга инфраструктурных объектов — воздушных линий электропередач. Указаны конструктивные элементы воздушных линий, рассмотрены основные виды деформаций, существующие методы (дистанционные, контактные) и инструменты получения данных о их параметрах. Сделан вывод о преимуществах использования трехмерных данных. Приведены основные системы, в которых выполняется их хранение, обработка, визуализация (такие как Autodesk InfraWorks, Autodesk BIM 360, Bentley Microstation Unigine). Указаны недостатки ресурсов. Описаны источники получения трехмерных данных, сделан вывод о преимуществах применения технологии трехмерного лазерного сканирования. Приведены результаты выполненного трехмерного сканирования линий электропередач в г. Краснодар. Выполнена оценка возможности применения данной технологии для мониторинговых целей. Сделан вывод о необходимости создания региональной мониторинговой интеллектуальной системы. Приведен принцип функционирования создаваемой системы путем разработки основных блоков: блок импорта/экспорта, блок визуализации, блок моделирования, блок хранения информации, вычислительный блок, аналитический блок. Указаны начальное, промежуточное и конечное состояния системы. Посредством методологии IDEF0 описан принцип работы системы, а также процесс интеллектуального поиска деформации (крена опор), определения габаритов воздушных линий на основе сверточных нейронных сетей. **Ключевые слова:** мониторинг, инфраструктурные объекты, лазерное сканирование, интеллектуальные информационные системы, функциональное моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Для функционирования любого социального инфраструктурного объекта необходимо электроснабжение. В связи с этим важными элементами в городской инженерной

инфраструктуре являются линии электропередач (ЛЭП), которые в зависимости от среды расположения классифицируются на воздушные (надземные) и кабельные (подземные). В данной статье рассматриваются воздушные линии (ВЛ).

Вследствие воздействия на воздушные линии электропередач природных (погодные условия, растительность), антропогенных

✉ Павлюкова Алина Петровна
e-mail: pavlukova190397@mail.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

факторов (неумышленное или умышленное повреждение опор, несоблюдение технических норм при возведении сооружений, непропорциональные действия в пределах охранной зоны), данные объекты подвержены деформациям. Деформации могут привести к аварийному отключению электроэнергии в социальных инфраструктурных объектах, а также стать угрозой для безопасности жизни граждан. По статистике причиной аварийных отключений ЛЭП в Российской Федерации стали повреждения проводов и грозозащитных тросов (56 %), а также повреждения опор (15 %) [1]. В связи с этим возникает потребность в мониторинге состояния сооружений ВЛ с целью выявления деформаций, их устранения и предотвращения аварий, используя при этом современную технологию.

1. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ РАБОТ

Измерения отклонения опор от вертикали, а также вычисление провисов проводов в настоящее время выполняют при помощи теодолита или тахеометра, изолирующей штанги, рулетки. Существующий метод мониторинга имеет ряд недостатков: субъективность обследования (исполнитель сначала визуально определяет повреждения, а затем переходит к их измерению); трудоемкость (осмотр, измерения, обработка протяженных объектов); низкая оперативность сбора данных; риск для здоровья исполнителя.

В научной литературе имеется ряд разработок по альтернативным методам мониторинга, которые в зависимости от степени удаления измерительных приборов ВЛ, можно разделить на две группы: контактные и дистанционные.

К контактному относятся применение инклинометров (например, Nivel 210, Nivel 220), позволяющих определять наклон опоры от вертикальной оси, использование емкостных датчиков, тензометрии [2, 3]. Основными недостатками контактного метода являются дополнительные затраты на метрологическую поверку датчиков, их монтаж.

К дистанционным можно отнести магнитометрический метод, определяющий дефект металла, оптический метод на основе видеосъемки, а также тепловизионную съемку, измерение дефектов с помощью роботизированных тахеометров (Leica TM50 I 0,5", Leica TM50 I 1"), лазерное сканирование [1, 4, 5, 6].

Метод видеофиксации заключается в установлении видеокамеры, фиксирующей положение вершины опоры и высоты провода, с закреплёнными на нем оптическими марками [5]. Недостатком метода является аналитическое вычисление отметок марок.

Лазерное сканирование обладает рядом преимуществ [7, 8]: привязка собранных данных к координатам глобального позиционирования, что позволит быстро и эффективно определять точное местоположение дефекта конструкций; проведение съемки при температуре от 0° С до 40° С; полная работоспособность в абсолютной темноте и при ярком солнечном свете.

При использовании сканирования как технологии сбора данных необходима информационная система, в которой осуществляется хранение, обработка, визуализация трёхмерных данных [9]. Наиболее распространёнными существующими системами являются: Autodesk InfraWorks, Autodesk BIM 360, Bentley Microstation Unigine.

Основным недостатком программ является отсутствие в них специализированного инструментария для мониторинга линий электропередач, ввиду того, что вышеуказанные продукты предназначены для проектирования и содержат множество функций для его осуществления. Следует отметить, что функция мониторинга присутствует в Autodesk BIM 360, но он осуществляется в отношении контроля безопасности строительства.

Источником данных для цифровых платформ могут быть аэрофотоснимки (фотоснимки) высокого разрешения, космические снимки (космоснимки). Наиболее распространённые информационные системы, работающие на основе фотоматериалов, — Agisoft PhotoScan, Metashape Professional, PHOTOMOD.

Обработка данных дистанционного зондирования Земли по космоснимкам осуществляется, например, в геоинформационной платформе «Единое информационное пространство данных» для решения задач мониторинга деятельности в сельском хозяйстве, лесном комплексе, недропользовании, экологии и других ресурсах [10]. Для мониторинга состояния ЛЭП космоснимки недостаточно точны, поэтому актуально сравнение двух технологий сбора данных — аэрофотосъемки и лазерного сканирования.

При работе с фотоснимками отдельным технологическим этапом является построение облака точек, которое для лазерного сканирования является исходным представлением данных. Кроме того, необходимо выполнить привязку фотоснимков — установить на них отметки опорных точек, а затем загрузить координаты опорной сети. При лазерном сканировании ориентирование и привязку облака точек можно выполнить сразу в полевых условиях, измерив GPS координаты точек стояния сканера. Сравнивая информационную насыщенность материалов, следует отметить, что данные полученные по результатам лазерного сканирования намного информативнее, чем по результатам обработки фотограмметрическим методом, так как в первом случае получаем массив координат, а во втором — отдельные координаты [11, 12].

2. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось с помощью технологии трехмерного лазерного сканирования, которая заключается в высокоскоростном измерении расстояний, а также горизонтальных и вертикальных углов от сканера до точек местности [7]. Измерения выполнены прибором Leica Scanstation C10 (рис.1).

Технология измерения включала в себя полевую и камеральную этапы. По результатам полевого этапа было выполнено сканирование с четырех станций. Камеральный этап проводился с помощью программного обеспечения Leica Cyclone 9.4 и включал в себя: импорт облаков точек, фото с каждой стан-

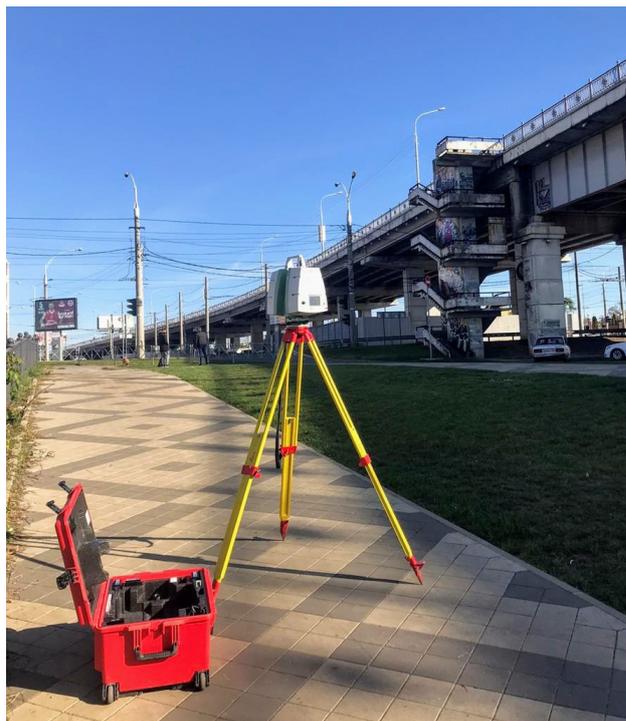


Рис. 1. Выполнение измерений Leica Scanstation C10

[Fig. 1. Taking Leica Scanstation C10 measurements]

ции, сшивку сканов каждой станции по трем маркам.

По облаку точек для одной из воздушных линий электропередач с напряжением 0,4 кВ были определены длина пролета, стрела провеса, высота подвеса и габарит провода, которые составили соответственно 14.695 м, 1.917 м, 7.903 м, 5.986 м. (рис. 2).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выполненные исследования показывают, что данные лазерного сканирования позволяют проводить мониторинг электросетевых объектов с получением численных показателей деформаций. Однако, без систематизации и ведения мониторинга в едином ресурсе способ малоэффективен [13]. Поэтому предлагается проводить циклический мониторинг с внесением результатов трехмерных измерений в разрабатываемую интеллектуальную информационную мониторинговую систему и осуществлять автоматизированный поиск деформаций по определенному алгоритму.



Рис. 2. Фрагмент облака точек съемки
[Fig. 2. Fragment of the point cloud]

Субъектом управления системы могут являться электросетевые компании, такие как «НЭСК-электросети», «Кубаньэнерго».

Объект управления — городские объекты линейной электросетевой инфраструктуры.

Предполагается, что система будет состоять из следующих блоков:

– B_1 . Блок импорта/экспорта (для загрузки данных лазерного сканирования ВЛ и получения отчетных материалов);

– B_2 . Блок визуализации (отображение импортированной или созданной графической информации);

– B_3 . Блок моделирования (создание трехмерной модели ВЛ по результатам сканирования);

– B_4 . Блок хранения информации о ВЛ (базы данных мониторинговых циклов лазерного сканирования, техническая документация, архивные топопланы, нормативные документы о порядке мониторинга, конструктивных элементах и их параметрах, характеристики типов ВЛ для классификаций, акты результатов мониторинга);

– B_5 . Блок распознавания (классификация ВЛ на типы по напряжению, распознавание элементов опор на основе нейронных сетей);

– B_6 . Вычислительный блок (вычисление значений параметров деформаций);

– B_7 . Аналитический блок (формирование актов о состоянии отдельных ВЛ, аналитического отчета о состоянии всех объектов).

Разрабатываемая система (S) будет иметь следующие состояния:

$$S = \langle N, Q, R \rangle \quad (1)$$

где

$N = \{B_1, B_2\}$ — начальное состояние: импортированные данные сканирования в виде уравненного облака точек в формате e57;

$Q = \{B_3, B_2, B_4, B_5\}$ — промежуточное состояние: трехмерная модель с классифицированными на типы по напряжению ВЛ, находящимися в соответствующих слоях;

$R = \{B_6, B_7\}$ — конечное состояние: выявленные деформации ВЛ в виде указанных на трехмерной модели параметров повреждений и их местоположения, актов о состоянии ВЛ, базы данных цикла мониторинга, аналитического отчета.

Начальный уровень создания интеллектуальной системы представлен на рис. 3.

Для функционирования системы первоначально необходимо собрать входные данные об объектах в виде геопространственных (данные лазерного сканирования), графических (архивные топографические планы) и текстовых данных (параметры и характеристики ВЛ).

Требуется разработка технического задания, на основе которого будет осуществляться контроль проектирования информационной системы, а также поиск всех правовых норм, регламентирующих порядок проведе-



Рис. 3. Первый уровень создания системы
 [Fig. 3. The first level of system creation]

ния мониторинга, нормативные значения параметров ВЛ.

После импорта данных сканирования и моделирования будет получена трехмерная модель воздушных линий. В связи с тем, что данный вид объектов имеет множество типов, необходимо их идентифицировать по определенному признаку. На наш взгляд таковым является напряжение, так как от него зависят конструктивные особенности элементов ВЛ, технические требования к созданию, приемке, эксплуатации и мониторингу.

Классификация ВЛ на типы будет осуществляться на основе крупномасштабных топографических планов, имеющих в картографо-геодезических фондах, а также на основе семантической информации о ВЛ, загруженной из технической документации.

Ключевым аспектом создания системы является автоматизация поиска деформаций, алгоритм выполнения которого представлен на рис. 4.

Первый блок предполагает выделение тех конструктивных частей, которые необходимы для определения деформации. Например, для крена опор необходимо распознать и оставить в рабочем слое системы опоры, а для определения габаритов ВЛ — опоры и провода. Распознавание осуществляется посредством сверточных нейронных сетей [14–17].

На вход первого блока предполагается подать трехмерную модель, созданную по результатам лазерного сканирования. Технология выполнения работ по сбору данных будет различной и зависит от выбранного вида

сканирующей системы: наземной, воздушной или мобильной.

Наземное лазерное сканирование (НЛС) — наилучшее оперативное средство для получения точной и наиболее полной информации о пространственном объекте, так как при этом способе за счёт большой плотности и точности точек лазерных отражений достигается высокий уровень детализации съемки. В среднем система измеряет 50000 точек/сек с помощью дальномера. Порядок работ наземным лазерным сканером состоит из этапов:

1) Выбор точек стояния сканера (требования: вдоль линии электропередачи с перекрытием радиуса сканирования со следующими станциями около 60 %);

2) Рекогносцировка района работ (для выбора точек съемочного обоснования, марок, стояния сканера);

3) Развитие съемочного обоснования (тахеометрического хода) в системе координат проекта;

4) Установка сканера на запроектированной точке (выбор которых осуществляется при ранее выполненной рекогносцировке) на штатив, центрировка и горизонтирование прибора. Высота штатива задается такой, чтобы обеспечить максимальный охват объекта на одном скане;

5) Расстановка вокруг сканера специальных марок, которые являются точками рабочего съемочного обоснования;

6) Определение координат и высот центров специальных марок с точек основной опорной сети (определение координат и вы-



Рис. 4. Алгоритм определения крена опор и габаритов ВЛ

[Fig. 4. Algorithm for determining the roll of supports and dimensions of overhead lines]

сот осуществляется с помощью тахеометра или с помощью спутникового приемника, в случае, если местность открытая, то есть позволяет использовать данный прибор)

7) Обзорная и детальная фотофиксация объекта;

8) Наземное лазерное сканирование;

9) Перемещение сканера на следующую точку сканирования и повторение этапов 4–8;

10) Камеральная обработка: импорт точек, уравнивание, классификация, трансформация точек, построение трехмерной модели.

Воздушное лазерное сканирование (ВЛС). При этом виде сканирования регистрируется направление лазерного луча и время прохождения луча, непосредственно координаты точек определяются по углам разворота и координатам лазерного сканера. Съемка ведется в непрерывном режиме, с помощью лазерного сканера, установленного на борту движущегося воздушного судна.

Этапы производства работ можно подразделить на подготовительные, полевые и камеральные.

К подготовительным работам относится: получение разрешений, калибровка системы, создание сети базовых станций ГНСС (для пространственной ориентации системы), установка и проверка оборудования, разработка плана полета (маршруты, высоты, режимы съемки).

К полевым работам относится непосредственно воздушное сканирование и цифровая аэрофотосъемка. Текущее положение лазерного сканера во время аэросъемочных работ определяется с помощью высокоточного GPS-ГЛОНАСС-приемника (работающего в дифференциальном режиме) совместно с инерциальной навигационной системой (IMU).

К камеральным работам можно отнести: экспресс-обработку аэросъемочных матери-

алов, вычисление координат точек лазерных отражений, пересчет координат точек лазерного отражения (ТЛО) в местную систему координат и приведение их к виду, удобному для дальнейшей обработки, выравнивание плотности изображения на цифровых аэрофотоснимках, разделение данных, полученных в результате лазерного сканирования (лазерные отражения от земной поверхности и лазерные отражения от объектов), камеральное дешифрирование, создание выходной продукции: цифровой модели рельефа и местности, ортофотопланов, цифровых топографических планов или навигационных, тематических карт, 3D модели.

Мобильное лазерное сканирование (МЛС) — технология получения высокоточных трехмерных пространственных данных объектов лазерными сканерами в движении с использованием различных наземных транспортных и плавательных средств. Технология мобильного лазерного сканирования объединила в себе скорость получения и объемы данных от воздушного сканирования, а точность и детальность — от наземного сканирования.

Сканирование производится вдоль траектории движения, на расстояние до нескольких сотен метров во всех направлениях. Принцип работы мобильного сканирования заключается в следующем: во время проведения съемки высокоскоростной лазерный дальномер производит измерение дальности до объектов местности, таких измерений может быть до 1 000 000 в секунду. Совместно с лазерным дальномером навигационная система мобильного лазерного сканера производит измерения, необходимые для определения координат движения мобильного сканера и углов его ориентации в пространстве.

Для повышения точности измерения координат движения во время выполнения съемки используется сеть наземных базовых станций ГНСС, за счет которых вносятся дифференциальные поправки в навигационную систему мобильного сканера. В результате совместной обработки измерений лазерного дальномера и навигационной системы с помощью специального программного обеспечения получается массив точек лазерного отражения, в ко-

тором каждая точка имеет пространственные координаты XYZ в необходимой системе координат с высокой точностью.

Основными критериями обоснования возможности использования технологии с точки зрения её эффективности является скорость выполнения работ и точность получаемого результата. Так, используя технологию лазерного сканирования, время выполнения полевых измерений сокращается в 2 раза по сравнению с традиционными методами. Например, производительность воздушного сканирования достигает — до 800 погонных км съемок в день (ширина полосы съемки до 1000–1500 м), мобильного — до 500 погонных км съемок в день (ширина полосы съемки — 50–250 м). В тоже время точность увеличивается — при наземном сканировании достигается миллиметровая точность, при воздушном и мобильном — сантиметровая. Заметно снижается влияние человеческого фактора при осуществлении технологии работ, так как сканирование выполняется путем автоматического наведения лазерного луча и записи полученных данных в память прибора. При традиционных методах необходимо устанавливать рейку на объект и снимать отсчет по ней самостоятельно.

По результатам лазерного сканирования возможно составить точную трехмерную модель, которая является геопространственной основой работы всей системы. Помимо этого, еще одним критерием эффективности использования сканирования на данном этапе является получение облака точек по завершению обработки данных, по которому выполняется построение модели. При использовании в качестве исходных данные аэрофотосъемки, создание облака точек является дополнительным этапом.

Далее схема разделяется в зависимости от определяемой деформации. В случае определения крена необходимо построить перпендикуляры (идеальные оси) от каждой точки опоры и с помощью алгоритмов измерения вычислить угол от построенной оси к фактической (второй блок).

В случае определения габаритов ВЛ после выделения конструктивных частей с помощью

алгоритмов измерения выполняется измерение высоты подвеса, габарита провода, длины пролета, стрелы провеса (второй блок).

Общим при определении этих деформаций является сравнение численных показателей деформаций, полученных на выходе из второго блока, с нормативными данными. В результате предполагается получение цифровых меток в системе с указанием местоположения, вида, типа объекта и значения деформации, протоколов состояния объекта, аналитической сводки по видам, типам объектов и присущим им деформациям, базы данных состояния объектов, необходимую для анализа данных мониторинга следующих циклов.

Эффективность использования лазерного сканирования на этапах определения величин деформаций заключается в том, что точные исходные данные позволяют получать наиболее точные значения конечного результата. Так, наземное сканирование обеспечивает самую высокую точность измерений — сканер позволяет отснять объекты размером до 0,5–2 см с точностью до 0,5–5 мм; при воздушном точность составляет порядка 5–10 см, детальность отрисовки — 20–50 см; при мобильном — до 2 см, детальность отрисовки — 1–5 см.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненное исследование позволяет сделать вывод о возможности использования лазерного сканирования как средства получения данных об инфраструктурных объектах для их мониторинга. Выбор вида сканирующей системы зависит от требуемой точности съемки. Внедрение такой технологии позволит осуществить оперативный сбор объективных данных о состоянии конструктивных элементов линий электропередач и воздушных линий, а также оптимизировать процесс определения и оценки основных деформаций, таких как крен опор, недопустимый провис проводов на этапе их возникновения. Внедрение цифровой мониторинговой системы с циклическим обновлением результатов сканирования создаст условия ведения мо-

нитинга в едином аналитико-информационном ресурсе автоматизированного поиска деформаций, что позволит по результатам многократных измерений проводить анализ и прогнозировать возможные деформации или аварии до их появления. Дальнейшие исследования будут связаны с поиском оптимальных алгоритмов обработки трехмерных данных и адаптацией их к обнаружению деформаций линейной инфраструктуры [18].

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края Российской Федерации в рамках научного проекта № 19-48-233020 «Исследование возможности использования комплекса трехмерного лазерного сканирования для мониторинга и обеспечения безопасности инфраструктурных объектов в городе Краснодаре и Краснодарском крае».

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сокол, Е. И. Методика комплексного автоматизированного мониторинга объектов энергетической системы Украины с целью повышения безопасности ее функционирования. / Е. И. Сокол, М. М. Резинкина, О. Г. Гриб, В. И. Васильченко, А. А. Зуев, А. В. Бортников, Е. В. Сосина // *Электротехника і Електромеханіка*. – 2016. – № 2. – С.65–69. doi: 10.20998/2074-272X.2016.2.12
2. Минуллин, Р. Г. Современные методы обнаружения гололеда на проводах воздушных линий электропередачи часть 1. Методы прогнозирования и взвешивания проводов / Р. Г. Минуллин, Э. Ю. Абдуллазянов, В. А. Касимов, М. Р. Яруллин // *Проблемы энергетики*. – 2013. – № 7-8. – С.68–78.
3. Трубицин, М. А. Анализ способов обнаружения гололеда на проводах ЛЭП и их применение для контактной сети / М. А. Трубицин, О. Г. Лукашевич // *Инженерный вестник Дона*. – 2016. – № 4. – С.23.

4. Середович, А. В. Определение геометрических параметров элементов опор ЛЭП с использованием наземного лазерного сканирования / А. В. Середович, Е. И. Горохова, О. А. Ситуха // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2013. – Т. 1, № 3. – С. 128–133.
5. Шилин, А. Н. Оптический метод регистрации прогибов линейной опоры для диагностики состояния ЛЭП / А.Н. Шилин, С.С. Дементьев // Изв. вузов. Приборостроение. – 2018. – Т. 61, № 6. – С. 490–497, doi: 10.17586/0021-3454-2018-61-6-490-497
6. Antova G. Registration Process of Laser Scan Data in the Field of Deformation Monitoring // Procedia Earth and Planetary Science. – 2015. – V. 15. – P. 549–552. doi: 10.1016/j.proeps.2015.08.096
7. Кошан, Е. К. Возможности, преимущества и недостатки наземного лазерного сканирования // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т. 9, № 1. – С. 27–30.
8. Gura D. A. 3D Laser Scanning for Monitoring the Quality of Surface in Agricultural Sector / D. A. Gura, Yu. V. Dubenko, E. Dyshkant, A. Pavlyukova, G Akopyan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – V. – 403. – P. 012184. doi: 10.1088/1755-1315/403/1/012184
9. Шокин, Ю. И. ГИС сегодня: состояние, перспективы, решения / Ю. И. Шокин, В. П. Потапов // Вычислительные технологии. – 2015. – Т. 20, № 5. – С. 175–213.
10. Lutovinov, A. A. Providing information connectivity over Russian territory using remote sensing systems of the earth / A. A. Lutovinov, E. A. Luryan, M. A. Pogosyan, A. O. Shemyakov // Herald of the Russian Academy of Sciences. – 2019. – V. 89, No 2. – P. 190–195. doi: 10.1134/S1019331619020114
11. Комиссаров, А. В. Теория и технология лазерного сканирования для пространственного моделирования территорий : автореферат дис. ... доктора технических наук. – Новосибирск : Сиб. гос. ун-т геосистем и технологий, 2016. – 48 с.
12. Гура, Д. А. Мониторинг сложных объектов инфраструктуры / Д. А. Гура, Ю. В. Дубенко, И. Г. Марковский, Н. И. Хушт // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: естественно-математические и технические науки. – 2019. – № 4. – С. 74–80.
13. Дулин, С. К. Адаптивная идентификация пространственных объектов в информационно-измерительной системе мобильного лазерного сканирования / С. К. Дулин, Н. Г. Дулина, Д. А. Якушев // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2016. – Т. 14, № 8. – С. 26–35.
14. Dubenko, Yu. V. Three-dimensional laser scanning for safety of transport infrastructure with application of neural network algorithms and methods of artificial intelligence / Yu. V. Dubenko, D. A. Gura, G. G. Shevchenko, E. E. Dyshkant, N. I. Khusht // Transportation Soil Engineering in Cold Regions. – 2020. – V. 2. – P. 185–190. doi: 10.1007/978-981-15-0454-9_19
15. Соболев, Б. В. Модель глубокой сверточной нейронной сети в задаче сегментации трещин на изображениях асфальта / Б. В. Соболев, А. Н. Соловьев, П. В. Васильев, Л. А. Подколзина // Вестник Донского государственного технического университета. – 2019. – Т. 19, № 1. – С. 63–73. doi: 10.23947/1992-5980-2019-19-1-63-73
16. Селихов, В. А. Построение карты глубины с использованием глубокой сверточной нейронной сети / В. А. Селихов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 7. – С. 262 – 277.
17. Шелковников, Е. Ю. Применение нейронной сети архитектуры U-Net для сегментации СТМ-изображений / Е. Ю. Шелковников, К. А. Шляхтин, Т. Е. Шелковникова, С. Ф. Егоров // Химическая физика и мезоскопия. – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 330–336. doi: 10.15350/17270529.2019.2.36
18. Созыкин, А. В. Обзор методов обучения глубоких нейронных сетей / А. В. Созыкин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. – 2017. – Т. 6, № 3. – С. 28 – 59. doi: 10.14529/cmse170303

Гура Дмитрий Андреевич – канд. техн. наук, доцент кафедры кадастра и геоинженерии, Кубанский государственный технологический университет, Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина.

E-mail: gda-kuban@mail.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2748-9622>

Дубенко Юрий Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники, Кубанский государственный технологический университет.

E-mail: scorpiocool1@yandex.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3205-994X>

Павлюкова Алина Петровна – магистрант, Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина.

E-mail: pavlukova190397@mail.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8815-8408>

DOI: <https://doi.org/10.17308/sait.2020.2/2920>

ISSN 1995-5499

Received 25.03.2020

Accepted 15.06.2020

DIGITAL INTELLIGENT MONITORING OF POWER LINES BASED ON THREE-DIMENSIONAL DATA

© 2020 D. A. Gura^{1,2}, Yu. V. Dubenko¹, A. P. Pavlyukova^{✉2}

¹*Kuban State Technological University*

2, Moskovskaya Street, 350072 Krasnodar, Russian Federation

²*Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin*

13, Kalinina Street, 350044 Krasnodar, Russian Federation

Annotation. Deformations of power lines, often caused by anthropogenic or natural negative impacts, can result in emergency power cuts and pose a threat to people's safety. These risks indicate the need to monitor power lines and develop algorithms for the optimisation of this process. The article considers the creation of an information system for monitoring infrastructure facilities, namely overhead power lines. The structural elements of overhead lines are indicated, their main types of deformations, as well as the existing methods (remote, contact) and tools for obtaining information about their parameters are considered. The article demonstrates the advantages of using three-dimensional data. The systems used to store, process, and visualise this data (Autodesk InfraWorks, Autodesk BIM 360, and Bentley Microstation Unigine) are analysed and their drawbacks are indicated. The article describes the sources of three-dimensional data and presents the advantages of using the technology of three-dimensional laser scanning. The results of the three-dimensional scanning of power lines in Krasnodar are presented. The article evaluates the possibility of using this technology for monitoring purposes. The study demonstrated that it is necessary to create a regional intellectual monitoring system. The article describes the functioning of the created system by developing the main blocks: the import/export block, the visualisation block, the modelling block, the information storage block, the computational block, and the analytical block. The initial, intermediate, and final states of the system are indicated. Using the IDEF0 methodology we described the principle of the system's operation, as well as the process of intelligent search for deformation (poles tilting) and determination of the dimensions of overhead lines based on convolutional neural networks.

Keywords: monitoring, infrastructure facilities, laser scanning, intelligent information systems, functional modelling.

✉ Pavlyukova Alina P.

e-mail: pavlukova190397@mail.ru

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. *Antova G.* Registration Process of Laser Scan Data in the Field of Deformation Monitoring. *Procedia Earth and Planetary Science*. 2015. 15. P. 549–552. Available at: doi: 10.1016/j.proeps.2015.08.096
2. *Dubenko Yu. V., Gura D. A., Shevchenko G. G., Dyshkant E. E., Khusht N. I.* Three-Dimensional Laser Scanning for Safety of Transport Infrastructure with Application of Neural Network Algorithms and Methods of Artificial Intelligence // *Transportation Soil Engineering in Cold Regions*. 2020. 2. P. 185–190. Available at: doi: 10.1007/978-981-15-0454-9_19
3. *Dulin S. K., Dulina N. G., Yakushev D. A.* Adaptive Identification of Spatial Objects in the Information-Measuring Mobile Laser Scanning System. *Information-Measuring and Control Systems*. 2016. 14 (8). P. 26–35. (in Russian)
4. *Gura D. A., Dubenko Yu. V., Dyshkant E., Pavlyukova A., Akopyan G.* 3D Laser Scanning for Monitoring the Quality of Surface in Agricultural Sector // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. 403. 012184. Available at: doi: 10.1088/1755-1315/403/1/012184
5. *Gura D. A., Dubenko Yu. V., Markovskiy I. G., Husht, N. I.* Monitoring slozhnykh ob'ektov infrastruktury [Monitoring Complex Infrastructure Objects] // *Vestnik adygejskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4: estestvenno-matematicheskie i tekhnicheskie nauki*. 2019. 4. P. 74–80. (in Russian)
6. *Komissarov A. V.* Teoriya i tekhnologiya lazernogo skanirovaniya dlya prostranstvennogo modelirovaniya territorij [Theory and technology of laser scanning for spatial modeling of territories]. Doctoral thesis. Siberian State University of Geosystems and Technologies. 2016.
7. *Koshan Ye. K.* Vozmozhnosti, preimushchestva i nedostatki nazemnogo lazernogo skanirovaniya [Possibilities, Advantages and Disadvantages of Surface Laser Scanning]. *Interekspos Geo-Sibir'*. 2017. 9 (1). P. 27–30. (in Russian)
8. *Lutovinov A. A., Lupyran E. A., Pogoyan M. A., Shemyakov A. O.* Providing Information Connectivity Over Russian Territory Using Remote Sensing Systems of the Earth. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2019. 89(2). – 190–195. Available at: doi: 10.1134/S1019331619020114
9. *Minullin R. G., Abdullazyanov E. YU., Kasimov V. A., Yarullin M. R.* The Currently Used Methods for Detection Ice Deposits on Wires of Power Lines Part 1. Forecasting and Weighting Wires Methods. *Power Engineering: Research, Equipment, Technology*. 2013. (7-8). P. 68–78. (in Russian)
10. *Trubitsin M. A., Lukashevitch O. G.* The Analysis of the Ice on the Wires of Power Lines Detection Methods and Their Application for Contact Network. *Engineering Journal of Don*. 2016. 4, 23. Available at: [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_148_Trubitsin.pdf_2cd59038d5.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_148_Trubitsin.pdf) (accessed 2nd February 2020) (in Russian)
11. *Selikhov V. A.* Postroenie karty glubiny s ispol'zovaniem glubokoj svertochnoj nejronnoj seti [The Depth Map Generation Based on the Deep Convolutional Neural Network]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2018. 7. P. 262–277. (in Russian)
12. *Seredovich A. V., Gorokhova E. I., Situkha O. A.* Opredelenie geometricheskikh parametrov elementov opor LEP s ispol'zovaniem nazemnogo lazernogo skanirovaniya [Determination of Geometric Parameters of Transmission Tower Elements Using Terrestrial Laser Scanning]. *Interekspos Geo-Sibir'*. 2013. 1 (3). P. 128–133. (in Russian)
13. *Shelkovnikov E. Yu., Shlyakhtin K. A., Shelkovnikova T. E., Egorov S. F.* Application of Neural Network of U-Net Architecture for Segmentation of Nanoparticles on CTM-Probes. *Chemical Physics and Mesoscopy*. 2019. 21(2). P. 330–336. Available at: doi: 10.15350/17270529.2019.2.36 (in Russian)
14. *Shilin A. N., Demytyev S. S.* An Optical Method of Registration of Line Tower Deflection for Diagnosis of OHL State. *Journal of Instru-*

ment Engineering. 2018. 61(6). P. 490–497. Available at: doi: 10.17586/0021-3454-2018-61-6-490-497 (in Russian)

15. *Shokin Yu. I., Potapov V. P.* GIS Today: Current State, Perspectives, Solutions. Computational Technologies. 2015. 20(5). P. 175–213. (in Russian)

16. *Sobol B. V., Soloviev A. N., Vasiliev P. V., Podkolzina L. A.* Deep Convolution Neural Network Model in Problem of Crack Segmentation on Asphalt Images // Vestnik of Don State Technical University. 2019. 19(1). P. 63–73. Available at: doi:10.23947/1992-5980-2019-19-1-63-73. (in Russian)

17. *Sokol Ye. I., Rezinkina M. M., Gryb O. G., Vasilchenko V. I., Zuev A. A., Bortnikov A. V., Sosina E. V.* A Method of Complex Automated Monitoring of Ukrainian Power Energy System Objects to Increase Its Operation Safety // Electrical Engineering & Electromechanics. 2016. (2). P. 65–69. Available at: doi: 10.20998/2074-272X.2016.2.12 (in Russian)

18. *Sozykin A. V.* An Overview of Methods for Deep Learning in Neural Networks // Bulletin of the South Ural State University. Series: Computational Mathematics and Software Engineering. 2017. 6 (3). P. 28–59. Available at: doi: 10.14529/cmse170303 (in Russian)

Gura Dmitry A. – candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of cadastre and geo-engineering, Kuban state technological University, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin.

E-mail: gda-kuban@mail.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2748-9622>

Dubenko Yuri V. – candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of computer science and engineering, Kuban state technological University.

E-mail: scorpioncool1@yandex.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3205-994X>

Pavlyukova Alina P. – undergraduate, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin.

E-mail: pavlukova190397@mail.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8815-8408>