# КЛАССИФИКАЦИЯ И ВОЗМОЖНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОШИБОК ВЕКТОРНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ТРАСС ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ФСК

АВТОРЫ:

А.М. КАРПАЧЕВСКИЙ,
МГУ ИМ.
М.В. ЛОМОНОСОВА,
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ

А.В. МОСКАЛЁВ,
«НТЦ РОССЕТИ ФСК ЕЭС»

В.Н. ВИКТОРОВ,
«НТЦ РОССЕТИ ФСК ЕЭС»

**Космические снимки ЛЭП сверхвысокого разрешения позволяют избежать ошибок актуализации и делают возможным выявлять участки ЛЭП, объекты и трассы, требующие уточнения, а также контролировать ошибки дрожания и смещения, которые в большинстве случаев являются артефактами предварительной обработки данных.**

***Ключевые слова:*** дешифрирование; картографические веб-сервисы; ЛЭП; пространственные данные; ошибки данных.

Современные геоинформационные системы представляют все ключевые параметры ЛЭП с высокой точностью



## ВВЕДЕНИЕ

Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы (ФСК ЕЭС) обслуживает почти 150 тыс. км линий электропередачи (ЛЭП) и почти 1000 подстанций (ПС) в 77 регионах России [1]. Для повышения эффективности управления и развития такой протяженной сети линий электропередачи в ФСК ЕЭС применяется база пространственных данных коллективного пользования, содержащая, помимо геометрической составляющей, ряд атрибутов, отражающих ключевые параметры ЛЭП и ПС.

Эти данные используются внутри компании, а также являются базой для общедоступных картографических веб-сервисов, например портала САЦ Минэнерго России, Публичной кадастровой карты, ФГИС ТП Минэкономразвития России, и, таким образом, служат основой для разработки и согласования документов территориального планирования и развития инженерной инфраструктуры как на региональном уровне субъектов РФ, так и на федеральном уровне для создания схем территориального планирования РФ в различных областях.

Мы решили рассмотреть особенности пространственного представления ЛЭП геоинформационной системы (ГИС) ФСК, оценить их с точки зрения точности, достоверности, актуальности и полноты информации.

В качестве источника данных мы использовали общедоступные мозаики космических снимков очень высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, размещенные на открытых картографических веб-сервисах. Использование такого рода данных позволяет получить исчерпывающие сведения о пространственном размещении объектов электрических сетей, а также некоторые характеристики отдельных ЛЭП. Данная статья является вводной в серии публикации, где будут рассмотрены разные аспекты представления пространственных данных в ГИС ФСК.

## ПРИМЕР МАЛОГО ОТКЛОНЕНИЯ ВЛ 220 КВ НА ДВУХЦЕПНОМ И ОДНОЦЕПНОМ УЧАСТКЕ ВЛ КАШИРА — ГОЛУТВИН, КАШИРА — ФЕДИНО, МОСКОВСКИЙ ПМЭС, МЭС ЦЕНТРА

Рис. 1

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для оценки точности отображения электросетевых объектов ФСК использовались открытые картографические веб-сервисы: Google Maps, Yandex, Bing, ArcGIS Online. Большая часть территории нашей страны в этих сервисах составлена из мозаики высокодетальных космических снимков, по которым можно определить электросетевые объекты и воздушные ЛЭП.

Сбор информации на основе космических снимков для наполнения баз пространственных данных по электрическим сетям проводится уже достаточно давно. Одним из таких примеров является создание корпоративной ГИС ОАО «Мосэнерго» [2]. В более мелком масштабе создание электросетевой ГИС без привлечения космических снимков, но с использованием карт осуществлялось для Казахстана [3]. В статье Л. Матикайнена и соавт. описаны методы дистанционного зондирования, которые могут быть применены для распознавания ЛЭП, оценки их состояния, включая радиолокационную, тепловую и лидарную съемки, а также съемку с беспилотных летательных аппаратов [4]. В этой статье мы рассматриваем самый простой и доступный способ, который не требует дополнительных затрат, — использование общедоступных данных в оптическом диапазоне с очень высоким пространственным разрешением.

## БОЛЬШИЕ ОТКЛОНЕНИЯ РЕАЛЬНОЙ ТРАССЫ ОТ ТРАССЫ, СОГЛАСНО ДАННЫМ ГИС ФСК, ВЛ 220 КВ Д-42 АБАЗА — АК-ДОВУРАК, ХАКАССКОЕ ПМЭС, МЭС СИБИРИ

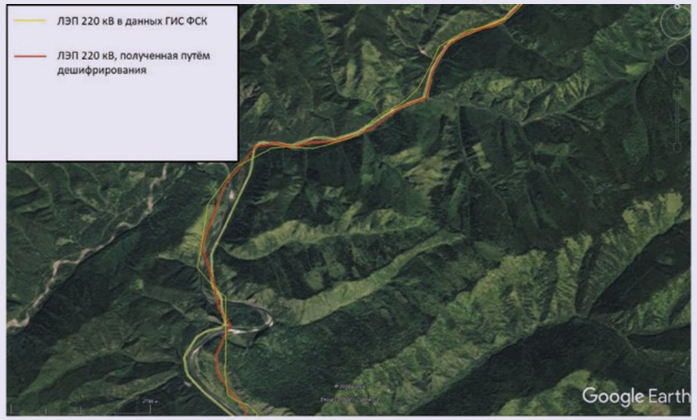


Рис. 2

## ОЧЕНЬ БОЛЬШОЕ ОТКЛОНЕНИЕ ТРАССЫ (ОКОЛО 2 КМ) ВЛ 220 КВ НЯГАНСКАЯ ГРЭС — КАРТОПЬЯ, ЦЕНТРАЛЬНОЕ ПМЭС, МЭС ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

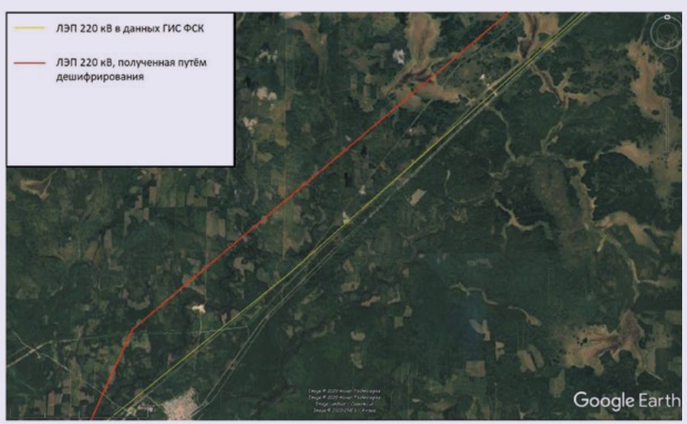


Рис. 3

За основу при дешифрировании был положен топологический подход, при котором распознаются отдельные цепи ЛЭП, полностью восстанавливается их маршрут от начала до конца с соблюдением топоморфологических отношений с другими сетевыми объектами [5, 6]. Основной метод дешифрирования — использование видового состава опор ЛЭП как ключевого дешифровочного признака. Видовой состав опор ЛЭП определяется по сочетанию промежуточных и анкерных опор на одной линии, которые, в свою очередь, могут быть идентифицированы по теням. В данной работе мы не будем подробно описывать сам процесс дешифрирования, и далее для наглядности в иллюстрациях будут показаны уже векторизованные на основе космических снимков ЛЭП и существующие векторные объекты из базы пространственных данных ГИС ФСК. Особенности извлечения информации об отдельных ЛЭП, их участках, опорах будут освещены в отдельной статье. Мы рассматриваем лишь пространственную точность данных, т. е. не оцениваем атрибуты объектов. Кроме того, следует отметить, что ПАО ФСК ЕЭС обслуживает далеко не все объекты магистральных электрических сетей (напряжением 220 кВ и выше) Единой национальной энергетической сети (ЕНЭС) России. В нашей стране также есть вертикально интегрированные энергосистемы Башкортостана, Татарстана, Иркутской области и ряда иных регионов — энергосистемы, содержащие большое количество ВЛ 220 кВ, не принадлежащих и не находящихся в зоне эксплуатационной ответственности «ПАО ФСК ЕЭС» (принадлежащие, например, «ПАО МОЭСК»), в том числе изолированные энергосистемы Сахалинской и Магаданской областей, Камчатского края.

Логично, что данные по этим энергосистемам не входят в базу данных



ГИС ФСК или ГИС «Россетей», однако для повышения эффективности работы с ведомственными пространственными данными необходимо иметь общую (согласованную) базу геоданных всей страны. Некоторые сервисы, например Публичная кадастровая карта, не проводят границ и не делают различий между электросетевыми объектами разных территориальных электросетевых компаний.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ОШИБОК ОТОБРАЖЕНИЯ ВЕКТОРОВ В ГИС ФСК

В ходе изучения пространственных данных по сетям ФСК были выделены следующие ошибки:

1) отклонение вектора трассы ЛЭП от реальной оси трассы;
2) дрожание оси ЛЭП из стороны в сторону вдоль реальной оси;
3) неправильные заходы или отсутствие заходов ЛЭП на распределительное устройство (РУ) ПС;
4) топологические ошибки трассы ЛЭП;
5) неактуальные данные.

Рассмотрим более подробно каждую из ошибок.

### ОТКЛОНЕНИЕ ВЕКТОРА ТРАССЫ ЛЭП ОТ РЕАЛЬНОЙ ОСИ ТРАССЫ

Отклонение вектора трассы ЛЭП от реальной оси трассы, которую мы можем наблюдать по космическим снимкам, очень распространено в ГИС, впрочем, не всегда можно утверждать, что это ошибка именно данных ГИС ФСК. Дело в том, что космические снимки, из которых состоит мозаика веб-сервисов, также могут быть не идеальны с точки зрения своей географической

## ЗНАЧИТЕЛЬНОЕ ДРОЖАНИЕ ВЕКТОРА ВЛ 220 КВ ОТНОСИТЕЛЬНО РЕАЛЬНОЙ ОСИ ТРАССЫ ВЛ 220 КВ АРЗАМАС — САСОВО С ОТПАЙКОЙ, НИЖЕГОРОДСКОЕ ПМЭС, МЭС ВОЛГИ

Рис. 4

привязки. Снимки привязываются преимущественно по орбитальным данным, а это приводит к ошибкам, которые порой могут достигать сотен метров, что становится заметно, когда мы начинаем рассматривать разные космические снимки на одном или разных картографических сервисах на одну и ту же территорию либо изучать сшивку двух соседних снимков.

Для оценки степени отклонения вектора от реальной трассы ЛЭП мы используем следующие градации ошибки: малое, значительное, большое и очень большое отклонение.

Малое отклонение — отклонение в пределах 5 м — обусловлено либо неточностью геопривязки космических снимков, либо особенностями видового состава опор, который не всегда позволяет однозначно определить ось линии (рис. 1).

Сюда же относятся случаи отображения двухцепных и многоцепных линий, когда нет однозначного понимания, каким образом должна быть расположена ось каждой цепи.

Значительное отклонение — отклонение в пределах от 5 до 100 м — обусловлено неточностями ортотрансформации снимков (учета искажений из-за рельефа), а также ошибок в координатах узлов векторов.

Большое отклонение — отклонение оси ЛЭП в сотни метров — обусловлено ошибками в исходных данных при создании векторов в ГИС (рис. 2).

Очень большие отклонения — это отклонения оси ЛЭП в ГИС в сотни и тысячи метров, грубо несовпадающие с реальной трассой из-за неверных исходных данных, использованных при создании векторов ГИС (рис. 3).

## НЕПРАВИЛЬНЫЕ ЗАХОДЫ ВЛ 220 КВ НА ИВАНОВСКИЕ ПГУ, ВОЛГО-ОКСКОЕ ПМЭС, МЭС ЦЕНТРА

Рис. 5

## ОТСУТСТВИЕ НУЛЕВЫХ ПРОЛЕТОВ НА ЗАХОДАХ ВЛ 220 КВ НА ПС ЗСМК, КУЗБАССКОЕ ПМЭС, МЭС СИБИРИ

Рис. 6

### ДРОЖАНИЕ ОСИ ЛЭП ИЗ СТОРОНЫ В СТОРОНУ ВДОЛЬ РЕАЛЬНОЙ ОСИ

Дрожание оси ЛЭП из стороны в сторону вдоль реальной оси очень часто встречается на многих линиях. До конца непонятно, чем оно обусловлено, но вероятно, что причина заключается в неправильном проведении и обработке геодезических измерений опор ЛЭП (рис. 4).

По степени дрожания выделяются:

- малое нерегулярное дрожание в пределах 10 м;
- значительное нерегулярное дрожание в пределах 10–20 м;
- сильное нерегулярное дрожание в пределах 100 м.

### НЕПРАВИЛЬНЫЕ ЗАХОДЫ ИЛИ ОТСУТСТВИЕ ЗАХОДОВ ЛЭП НА РУ ПС

Эта ошибка подразумевает некорректные заходы либо отсутствие таковых на РУ ПС или РУ электростанций, неверное взаиморасположение заходов относительно порталов РУ или РУ разных классов напряжений. Пример приведен на рис. 5, где желтым цветом показаны заходы ВЛ 220 кВ на РУ 110 кВ по данным ГИС ФСК, а красным цветом — реальные заходы ЛЭП на РУ 220 кВ.

На рис. 6 показаны отсутствующие нулевые пролеты заходов ВЛ 220 кВ на ПС, что также является распространенной ошибкой в данных. Такие ошибки могут привести к неоднозначным результатам, например, при определении охранных зон электросетевых объектов или объемов работ при реконструкции ЛЭП.

### ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ОШИБКИ ТРАССЫ ЛЭП

Под топологическими ошибками мы понимаем несоблюдение



## ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОШИБКА В ДАННЫХ ГИС ФСК ПО СРАВНЕНИЮ С РЕАЛЬНОЙ ТРАССОЙ ЦЕПЕЙ 330 КВ НА КВЛ 330 КВ ВОСТОЧНАЯ — ПАРНАС, ВЛ 330 КВ ВОСТОЧНАЯ — ВЫБОРГСКАЯ, ЛЕНИНГРАДСКОЕ ПМЭС, МЭС СЕВЕРО-ЗАПАДА

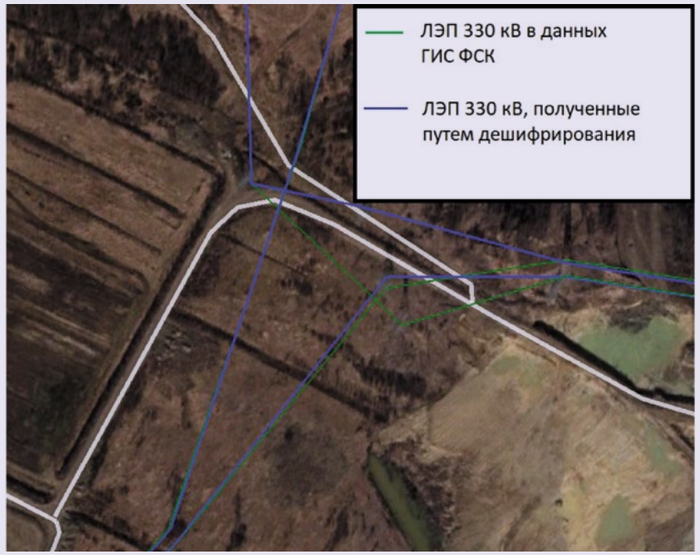


Рис. 7

топологии сети, т. е. неверное взаиморасположение ее объектов. К самым распространенным относится перемена местами двух параллельных цепей, приводящая к неверной интерпретации отдельных участков сети, а также ряда топоморфологических ошибок [6], связанных с неверно показанным участком, например, отпайки или разрезки.

Пример такой ошибки представлен на рис. 7. Во-первых, цепи 330 кВ на рисунке в неправильном порядке уходят на восток, во-вторых, одна из цепей в качестве угловой опоры использует опору 110 кВ, которая в действительности не имеет к ней никакого отношения.

Очень часто ошибки в топологии обусловлены тем, что ЛЭП создана с использованием кабеля полностью или частично. Кабельный участок ЛЭП достаточно часто на схеме просто проводится напрямую от начала до конца, что, безусловно, неправильно (рис. 8).

Космические снимки в случае кабельных линий также не дадут полноценной информации, но при открытой прокладке они помогут восстановить трассу ЛЭП по косвенным признакам (рис. 9). Следует отметить, что зачастую трасса кабельной ЛЭП показана на Публичной кадастровой карте. Это лишний раз говорит о том, насколько не согласованы пространственные наборы данных у разных сервисов и ведомств.

### НЕАКТУАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Ошибки актуализации пространственных данных встречаются в силу того, что при актуализации не используются мозаики актуальных космических снимков сверхвысокого разрешения применительно к объектам, отображаемым в рассматриваемой ГИС.

Эти ошибки могут касаться как отдельных участков ЛЭП, так и целых линий, которые либо появились (образовались в результате реконструкции и присоединения новых потребителей), либо были демонтированы.

Примером может служить ВЛ 500 кВ ТЭЦ-26 — Пахра, которая в 2014 г. была вынесена из области жилой застройки в Бутово (рис. 10). Красной линией на рисунке показана исходная устаревшая трасса, а желтой — реальная на текущий момент.

### ВОЗМОЖНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОШИБОК В ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Последствия описанных ошибок могут быть самыми разными, предсказать их все практически невозможно, поэтому остановимся на наиболее очевидных вариантах.

Существенные отклонения векторов трасс ЛЭП могут обусловить возникновение целого ряда ошибок: неправильную адресацию ЛЭП, неправильное пространственное соотношение трассы с другими объектами, зонами особых условий использования территории. Это может привести к выявлению ложных нарушений

## ТРАССЫ КВЛ 220 КВ ОЧАКОВО — КРАСНОГОРСКАЯ И ТЭС ЛЫКОВО — СКОЛКОВО, ПОКАЗАННЫЕ ПРЯМЫМИ ЛИНИЯМИ, МОСКОВСКОЕ ПМЭС, МЭС ЦЕНТРА

Рис. 8

охранных зон ЛЭП, искажению топологии самой сети, неправильному расчету длины линии, который для векторных пространственных объектов осуществляется автоматически.

Примерно к аналогичным последствиям приводит дрожание трассы, но в этом случае особенно заметно может проявиться ошибка наложения параллельно следующих цепей ЛЭП. Ошибки в топологии сети могут привести к тому, что участок линии получит неверное наименование и протяженность в базе данных или в официальных документах, также могут быть сделаны неверные выводы о необходимости и стоимости плановых работ, реконструкции и т. д. Ошибки в размещении на схемах или отсутствие заходов ЛЭП на ПС могут привести к недоучету территории в пределах охранной зоны, конфликтам между землевладельцами и землепользователями при согласовании выполнения работ на указанных ЛЭП.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ данных ГИС ФСК ЕЭС показал, что отображения векторов ЛЭП не всегда точны. Для оценки точности были сформулированы основные типы ошибок, которые специфичны для предметной области и могут привести к ошибкам при анализе этих данных. Мы считаем, что использование общедоступных данных дистанционного зондирования в форме картографических веб-сервисов позволяет избежать всех этих ошибок. Большинство таких сервисов дают возможность пользователям создавать векторные объекты в формате KML, причем их применение не нарушает авторские права.

Космические снимки сверхвысокого пространственного разрешения позволяют избежать ошибок актуализации, выявлять участки ЛЭП и объекты, трассы, требующие уточнения, контролировать ошибки дрожания и смещения, которые в большинстве случае представляют собой артефакты предварительной обработки данных.

В то же время следует отметить и недостатки такого подхода. Во-первых, например, высокодетальные космические снимки территории страны неравномерны по времени, что также может вызвать ошибки актуализации. Во-вторых, качество ортотрансформации снимков горных территорий и иных территорий со сложным рельефом не позволяет делать выводы о точности векторизации, особенно если сама трасса ЛЭП достаточно извилистая. В-третьих, зачастую космических снимков бывает недостаточно для трассировки кабельных линий, количество которых в последнее время увеличивается.

Тем не менее мы считаем, что использование обозначенных веб-сервисов позволит существенно повысить качество данных и, как следствие, надежность анализа и выводов.

Эффективность и низкая стоимость использования открытых данных космической съемки по сравнению с наземной геодезической съемкой, лидарной съемкой с использованием летальных аппаратов очевидна. Результат проведенной нами работы по дешифрированию ЛЭП ФСК ЕЭС показал, что такой метод сбора информации позволяет избежать обозначенных ошибок в данных по сравнению с методом, использованным при создании ГИС ФСК.

В рамках концепции перехода к цифровой экономике необходимо повышать эффективность использования пространственных данных путем согласования и синхронизации между собой различных источников информации, картографических веб-сервисов и баз данных. Тогда пространственные данные станут не просто формальным атрибутом корпоративной базы данных, но и позволят расширить область их применения, в том числе при проектировании новых объектов.

Исследования точности пространственных данных в ГИС электросетевых предприятий следует продолжать. Помимо геометрии линейных объектов, заслуживают внимания площадные объекты подстанций, электростанций и других объектов, а также атрибутивная составляющая пространственных данных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. История отрасли//Россети ФСК ЕЭС. URL: https://www.fsk-ees.ru/about/history_industry/(дата обращения 20.06.2020).
2. Еремченко Е.Н., Кузнецов О.В., Гречищев А.В. Создание топоосновы корпоративной ГИС ОАО «Мосэнерго» и дешифрирование ЛЭП по космоснимкам//ArcReview. 2002. № 3 (22). URL: http://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=2405&SECTION_ID=60.
3. Хомич О.В. ГИС для решения задач управления развитием и эксплуатацией электросетевых объектов Республики Казахстан//ArcReview. 2014. № 3 (70). URL: https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=18698&SECTION_ID=1064.
4. Matikainen L., Lehtomäki M., Ahokas E., Hyyppä J., Karjalainen M., Jaakkola A., Kukko A., Heinonen T. Remote sensing methods for power line corridor surveys//ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2016. № 119. P. 10–31. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.04.011.
5. Каргашин П.Е., Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Карпачевский А.М. Изучение пространственной конфигурации электросетей по космическим снимкам//Геодезия и картография. 2016. № (3). С. 50–55.
6. Новаковский Б.А., Карпачевский А.М. Электрические сети: картографирование и географический анализ. М.: Изд-во МИИГАиК, 2020.



## ПРИМЕР ТРАССИРОВКИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ОТ ПС 500 КВ ОЧАКОВО ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ, МОСКОВСКОЕ ПМЭС, МЭС ЦЕНТРА

Рис. 9

## ОШИБКА АКТУАЛИЗАЦИИ ВЕКТОРА ТРАССЫ ВЛ 500 КВ ТЭЦ-26 — ПАХРА, МОСКОВСКОЕ ПМЭС, МЭС ЦЕНТРА

Рис. 10