

Неинтрузивный мониторинг нагрузки: эффекты внедрения и перспективы распространения

П. С. Кузьмин¹
¹ АО «Синтез Групп»

АННОТАЦИЯ

Цифровой переход в электроэнергетике является перспективной целью развития отрасли. В последние годы широкий спектр технологий внедряется в различные виды деятельности энергокомпаний, в том числе значимое внимание уделяется технологиям, реализующим управление спросом на электроэнергию, переводящим потребителей из категории пассивных потребителей в активные, а также открывающим новые возможности в энергоменеджменте. Технология неинтрузивного мониторинга нагрузки представляет существенный интерес как для поставщиков электроэнергии, так и для потребителей в США и странах ЕЭС, однако исследование в РФ выполняется впервые.

Цель настоящего исследования – рассмотреть понятие неинтрузивного мониторинга нагрузки, сформулировать и систематизировать эффекты для субъектов электроэнергетики и потребителей электроэнергии от внедрения технологии.

Выполнен обзор литературных источников, проанализированы наиболее цитируемые статьи по данной тематике. Для расчета темпа распространения неинтрузивного мониторинга нагрузки была использована модель диффузии инноваций Басса. Модель позволяет выполнить оценку на основе данных о продуктах-аналогах и зарекомендовала себя как достаточно эффективная для прогнозирования распространения товаров длительного пользования, фактическая информация по которым еще не собрана.

Впервые предложена классификация эффектов, возникающих при внедрении технологии. В работе получен спектр эффектов для домохозяйств, энергетических компаний, бизнеса и органов власти. Расчет темпов распространения технологии показал, что без использования технологических коридоров и систематического внедрения неинтрузивного мониторинга нагрузки энергокомпаниями пик принятия может быть достигнут на восьмой год от старта реализации.

Неинтрузивный мониторинг нагрузки позволяет получить широкий диапазон данных с целью дальнейшей оптимизации энергопотребления, повышения эффективности деятельности предприятий, осуществления контроля за работой оборудования. Перед энергокомпаниями открываются новые возможности в коммерциализации собранных данных.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

неинтрузивный мониторинг нагрузки, энергетический комплекс, цифровизация, модель Басса, диффузия инноваций.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Кузьмин П.С. (2019). Неинтрузивный мониторинг нагрузки: эффекты внедрения и перспективы распространения // Стратегические решения и риск-менеджмент. Т. 10. № 4. С. 306–319. DOI: 10.17747/2618-947X-2019-4-306-319

Non-intrusive load monitoring: Implementation effects and distribution prospects

P.S. Kuzmin¹

¹ Sintez Grupp CJSC

ABSTRACT

The digital transition in the electric power industry is a promising goal for the development of the industry. In recent years, a wide range of technologies has been introduced into various types of activities of energy companies, including significant attention being paid to technologies that implement demand-side management, transferring consumers from the passive category to active consumers, and also opening up new opportunities in energy management. Non-intrusive load monitoring technology is of significant interest for both electricity suppliers and consumers in the USA and EEC countries, however, a Russian-language study is being carried out for the first time.

The purpose of the study is to consider the concept of non-intrusive load monitoring, to formulate and systematize the effects for electric power industry entities and consumers of electricity from the introduction of technology.

A review of literary sources is carried out, the most cited articles on this topic are analyzed. To calculate the propagation rate of non-intrusive load monitoring, the Bass innovation diffusion model was used. The model allows to perform an assessment based on data on similar products and has established itself as sufficiently effective for predicting the distribution of durable goods, the actual information for which has not yet been collected.

For the first time, a classification of effects arising from the introduction of technology is proposed. The paper obtained a range of effects for households, energy companies, business and government. The calculation of the technology distribution rate showed that without the use of technological corridors and the systematic introduction by energy companies, the peak of adoption can be reached by 8 years from the start of implementation.

Non-intrusive load monitoring allows you to get a wide range of data in order to further optimize energy consumption, increase the efficiency of enterprises, monitor the operation of equipment. There are great opportunities in the commercialization of collected data.

KEYWORDS:

non-intrusive load monitoring, energy complex, digitalization, Bass model, diffusion of innovations.

FOR CITATION:

Kuzmin P.S. (2019). Non-intrusive load monitoring: Implementation effects and distribution prospects. *Strategic Decisions and Risk Management*, 10(4), 306–319. DOI: 10.17747/2618-947X-2019-4-306-319

1. ВВЕДЕНИЕ

Россия является пятым в мире рынком электроэнергии по объему производства и потребления, уступая более высокие позиции Китаю, США, Индии и Японии [Global Energy..., 2019]. В 2018 году выработка электроэнергии в РФ составила 1070 млрд кВт·ч, на 1 января 2019 года общая установленная мощность электростанций ЕЭС России достигла 243 243,2 МВт [АО «СО ЕЭС», 2019].

На сегодня электроэнергетика и в России, и во всем мире претерпевает существенные изменения, обусловленные внедрением инноваций четвертой промышленной революции. Клаус Шваб, основатель и президент Всемирного экономического форума, отмечал, что четвертую промышленную революцию определяет взаимодействие в цифровой, физической и биологической областях [Шваб, 2016]. Необходимо отметить, что инновации способны не только повышать эффективность и результативность деятельности компаний, но и радикальным образом трансформировать рыночную среду, приводя к серьезным изменениям технико-экономических парадигм и организационных моделей [Freeman et al., 1982; Technical Change..., 1987]. Таким образом, автоматизация, развитие киберфизических систем, промышленного Интернета вещей и цифровых технологий кардинально преобразуют традиционный технологический и организационный уклад в электроэнергетике.

Необходимость трансформации энергетики России обуславливается рядом факторов: с одной стороны, это внутренние задачи и вызовы, стоящие перед отраслью, с другой – глобальные мировые тренды. Внутренние вызовы обусловлены высоким уровнем износа основных средств, ростом потребности в инвестициях на строительство новых мощностей в связи с ростом энергопотребления, а также на компенсацию выбывающих [Распоряжение Правительства РФ..., 2013; Энергетическая стратегия России..., (б.г.)], дефицитом кадров с необходимой квалификацией и снижением производительности труда в энергетической отрасли [Линдер, Лисовский, 2017]. В то же время перекрестное субсидирование населения приводит к удорожанию электроэнергии для коммерческих и промышленных предприятий [Линдер, Трачук, 2017; Ховалова, 2017]. Среди мировых трендов можно выделить удешевление энергии, произведенной при помощи возобновляемых первичных источников, масштабное развитие распределенной генерации и, как следствие, курс на децентрализацию энергетики, внедрение технологий четвертой промышленной революции, а также переход конечных потребителей электроэнергии от пассивных к активным (просьюмерам) в результате распространения интеллектуальных систем управления [Цифровой переход..., 2017; Хохлов и др., 2018].

В качестве одной из ключевых технологий цифрового перехода в электроэнергетике исследователи выделяют интеллектуальный учет, основанный на счетчиках электрической энергии, снабженных коммуникаторами и оборудованием для сбора, обработки, хранения, отправки и приема данных [Kempener et al., 2013].

Интеллектуальный учет обладает рядом преимуществ в сравнении с традиционными системами учета энергопотребления:

- мониторинг объема потребления в режиме реального времени;
- возможность агрегации данных различных счетчиков в единую базу данных;
- хранение статистических данных по электрическим характеристикам;
- получение информации по перетокам электроэнергии и достоверное определение уровня технологических и коммерческих потерь в электросетях;
- выявление безучетного энергопотребления и фактов воздействия на счетчики;
- формирование энергосберегающих стратегий и оценка их реализации;
- дистанционное ограничение энергопотребления.

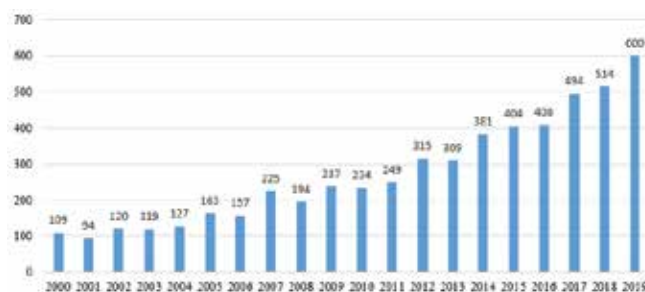
Среди информационно-измерительных систем электроэнергии отдельного внимания заслуживают счетчики, построенные с применением технологий неинтрузивного мониторинга нагрузки (Non-intrusive load monitoring, NILM).

NILM – это метод анализа совокупных данных об электрической нагрузке, полученных при помощи измерения силы тока и напряжения в одной точке, с последующим разделением совокупной нагрузки на нагрузки отдельных устройств.

Понятие NILM было впервые предложено Джорджем Уильямом Хартом из Массачусетского технологического института в начале 1980-х годов, а в 1989 году был запатентован технологический процесс [U.S. Patent..., 1989]. Автор характеризовал свою технологию следующим образом: «NILM разработан для мониторинга электрической цепи, содержащей несколько независимых приборов. С помощью специфического анализа сигналов силы тока и напряжения оцениваются количество и вид отдельных нагрузок, их индивидуальное потребление энергии и другие соответствующие статистические данные. Для установки сенсоров и проведения измерений не требуется доступ к отдельным приборам, что обеспечивает очень удобный и эффективный способ сбора данных о нагрузке по сравнению со способом размещения сенсоров на каждом из приборов. Полученные данные о конечном потреблении электроэнергии чрезвычайно важны для потребителей, энергоснабжающих компаний, органов власти и производителей приборов» [Hart, 1992].

Однако в момент своего появления технология не получила должного внимания ввиду сложности реализации: вычислительные мощности ЭВМ для обработки статистических данных не были достаточными. С течением времени

Рис. 1. Количество публикаций по запросу “Non-intrusive load monitoring”, входящих в базу данных ScienceDirect (шт.)



идеями заинтересовались многие ученые, были проведены исследования как технических аспектов, так и особенностей применения и внедрения. На рис. 1 представлено количество публикаций по запросу «Non-intrusive load monitoring», входящих в базу данных ScienceDirect с разбивкой по годам.

Характер тренда и совокупный среднегодовой темп роста 9,4% свидетельствуют о росте актуальности технологии.

Целью настоящей работы является выявление, систематизация и определение возможных экономических, социальных, технических и прочих эффектов от внедрения неинтрузивного мониторинга нагрузки. Такие эффекты могут возникнуть вследствие изменения моделей поведения промышленных и частных потребителей, трансформации бизнес-моделей энергетических компаний, а также создания совершенно новых видов деятельности компаний энергетического консалтинга.

Для того чтобы оценить влияние на российский энергорынок и выделить потенциальные эффекты от реализации технологий NILM, необходимо ответить на ряд вопросов:

- Какие технологические особенности характеризуют неинтрузивный мониторинг нагрузки?
- Каковы ключевые функции неинтрузивного мониторинга нагрузки?
- В каких областях электроэнергетики можно ожидать наиболее существенные эффекты применения?

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НЕИНТРУЗИВНОГО МОНИТОРИНГА НАГРУЗКИ

Прежде чем перейти к более детальному рассмотрению технологических аспектов, необходимо сформировать единое представление о NILM в рамках данной работы. Для этой цели был собран ряд определений, представленных в табл. 1.

Из анализа определений следуют две отличительные особенности технологии неинтрузивного мониторинга нагрузки:

Неинтрузивность. В отличие от распространенного в наши дни интрузивного мониторинга нагрузки, реализуемого с использованием счетчиков непосредственного включения, Wi-Fi-розеток и GSM-розеток, сенсор NILM измеряет ток и напряжение в одном месте распределительной электрической сети здания и при этом не требует непосредственного включения в сеть [Cox, 2006]. При этом сенсор NILM обеспечивает необходимую точность измерений при существенно меньших затратах ресурсов на подключения: нужен всего один счетчик на здание, а его установка и демонтаж не вызывают затруднений [Naghibi, Deilami, 2014].

Дезагрегация данных. Чтобы получить профили нагрузки каждого прибора в здании, интрузивный прибор учета необходимо установить на входе в каждое устройство. Сенсор NILM решает эту задачу путем разложения агрегированных данных об энергопотреблении, полученных в одной точке измерения, на различные профили потребления приборов. Существенная экономия затрат на оснащение здания достигается уже на уровне домохозяйств [Naghibi, Deilami, 2014].

В крупных зданиях, а также на производствах с большим количеством оборудования установка и последующее обслуживание традиционных средств учета становятся критически дорогими, ввиду того что количество счетчиков будет прямо пропорционально количеству оборудования на производстве. Таким образом, дороговизна решений, основанных на интрузивных средствах учета, также стимулирует развитие технологий неинтрузивного мониторинга нагрузки [Cox et al., 2007].

Таблица 1
Определение термина «неинтрузивный мониторинг нагрузки»

Определение термина	Источник
Неинтрузивный мониторинг нагрузки (NILM) – система, предназначенная для мониторинга электрической цепи, которая содержит несколько устройств, включающихся и выключающихся независимо друг от друга. С помощью сложного анализа сигналов тока и напряжения суммарной нагрузки NILM оценивает количество и вид отдельных нагрузок, их индивидуальное потребление энергии и другие соответствующие статистические данные	[Hart, 1992]
Неинтрузивный мониторинг нагрузки (NILM) – метод анализа совокупных данных об электрической нагрузке вместе с данными профиля нагрузки с целью разбить совокупную нагрузку на семейство приборов-потребителей, которые формируют суммарное энергопотребление	[Bergman et al., 2011a]
Неинтрузивный мониторинг нагрузки (NILM) – набор алгоритмов, направленный на использование статистических данных умных счетчиков для извлечения более полезной информации. NILM включает в себя дезагрегацию электрической нагрузки с точки зрения индивидуального потребления энергии приборами	[Azaza, Wallin, 2017]
Неинтрузивный мониторинг нагрузки (NILM) – процесс идентификации включенных приборов в домохозяйстве по единичным или многократным измерениям, проведенным в точке входа общей нагрузки, без подключения каких-либо сенсоров к каждому из устройств	[Welikalaa et al., 2019]
Неинтрузивный мониторинг нагрузки (NILM) – метод, нацеленный на разложение агрегированных данных об энергопотреблении, полученных в одной точке измерения, на различные профили потребления приборов, работающих в исследуемой электрической системе	[Bonfigli, Squartini, 2020]
Неинтрузивный мониторинг нагрузки (NILM) – система, использующая совокупные данные о потребляемой мощности только от одного счетчика, установленного в распределительном щите, и алгоритм дезагрегации данных о потребляемых приборами мощностях	[Biansoongnern, Plungklang, 2016]

Рис. 2. Принципиальная схема дезагрегации нагрузки



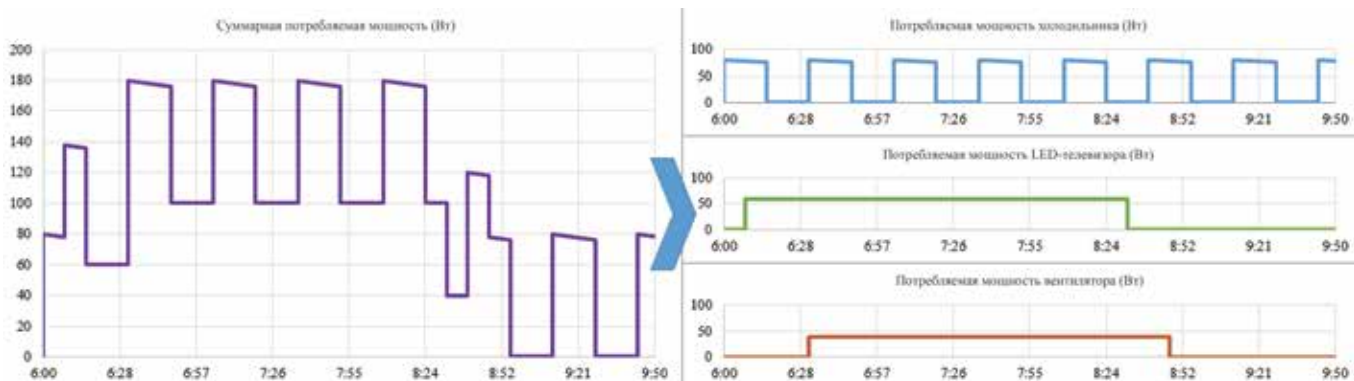
Принципиальная схема дезагрегации нагрузки представлена на рис. 2.

Сначала сенсор проводит сбор данных с заданной частотой с целью формирования профиля суммарной нагрузки. После сбора данных первичная информация отправляется в центр обработки данных (ЦОД) NILM, где проходит предварительную обработку. Затем по изменению профиля сигнала выявляется произошедшее событие, обусловленное включением или выключением прибора в здании. Используя технологии облачных вычислений и анализа больших данных, NILM анализирует событие и идентифицирует отдельно взятый прибор с дальнейшим выделением его профиля энергопотребления (рис. 3) [Bergman et al., 2011a]. Собранные информация (как с одного, так и с нескольких сенсоров) систематизируется ЦОД и представляется пользователю в необходимом ему виде (например, на онлайн-платформе или в мобильном приложении).

Таким образом, NILM – это перспективный способ идентификации отдельных приборов, определения их энергопотребления и графиков работы. В табл. 2 представлены основные типы устройств, которые можно распознать при помощи NILM.

Собранная сенсором NILM информация имеет широкий ряд способов применения в области электроэнергетики, в том числе предоставление детального отчета потребителю об использовании электроэнергии и вкладах различных приборов в суммарное энергопотребление, а также формирование сче-

Рис. 3. Пример дезагрегации суммарной нагрузки на нагрузку отдельных приборов



Источник: [Biansoongnern, Plungklang, 2016].

Таблица 2
Основные типы определяемых приборов

Тип прибора	Пример
Устройства, находящиеся в двух режимах: «включено/выключено»	Тостер, лампа накаливания
Устройства, пребывающие в нескольких состояниях, но с повторяющейся моделью включения/выключения	Варочная панель, стиральная машина, посудомоечная машина
Устройства с вариативным режимом работы	Лампа с изменяемой мощностью, дрель
Устройства, активные в течение длительного периода времени	Стационарный телефон, дымоуловитель, Wi-Fi-роутер

Источник: [Zoha et al., 2012].

тов за электроэнергию, разбитых по устройствам-потребителям; измерение и проверка энергоэффективности зданий; улучшенное прогнозирование профилей спроса; разработка программ по ценозависимому управлению спросом; сбор данных для построения цифровых двойников и моделей. Образцы поведения владельца сенсора NILM, в том числе занятость, режим сна и другие элементы повседневной жизни, также могут быть получены из данных, собранных при использовании сенсора [McKenna et al., 2012].

3. КЛЮЧЕВЫЕ ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ NILM

Точность измерения суммарной нагрузки сенсором NILM ничем не уступает точности традиционных систем учета электроэнергии. В свою очередь, точность дезагрегации нагрузки продолжает непрерывно повышаться, но к настоящему моменту 100% она не достигла. Однако для потенциальных пользователей нет существенной разницы, составит ли точность 95 или 98%. Более значимыми являются инновационные способы использования полученных данных, а также не существовавшие ранее бизнес-модели, построенные на их основе. Примеры практической реализации могут включать в себя как разработку персонализированных стратегий управления спросом на основе данных об энерго-

потреблении, так и формирование прогнозов энергопотребления в масштабах крупных энергосистем [Zhuang et al., 2018]. Далее будут рассмотрены некоторые перспективные способы применения NILM.

Дезагрегация суммарного энергопотребления и визуализация. Пользователи могут определять энергопотребление каждого устройства при помощи сенсора NILM. Результат анализа может быть представлен в пользовательском приложении или в личном кабинете онлайн-системы в виде интерактивной инфографики. Объем полезной информации можно существенно увеличить, установив несколько сенсоров (например, получить распределение энергопотребления по этажам в высотном здании или данные по загрузке станков в различных цехах крупного предприятия).

Выявление ненормативных режимов работы устройств и предупреждение поломок. Сенсоры в режиме реального времени собирают статистику по режимам работы прибора. Специализированные алгоритмы машинного обучения способны распознавать изменения в режиме работы и своевременно оповещать пользователя о произошедшем сбое.

Разделение счета за потребленную электроэнергию. Дезагрегация нагрузки позволяет осуществлять разделение счета на электроэнергию по основным источникам потребления. При разной стоимости электроэнергии для разного времени суток можно сформировать отчет о затратах на работу прибора в определенный временной интервал. Данная функция открывает широкие возможности в оптимизации затрат на электроэнергию и формировании графиков эффективного энергопотребления.

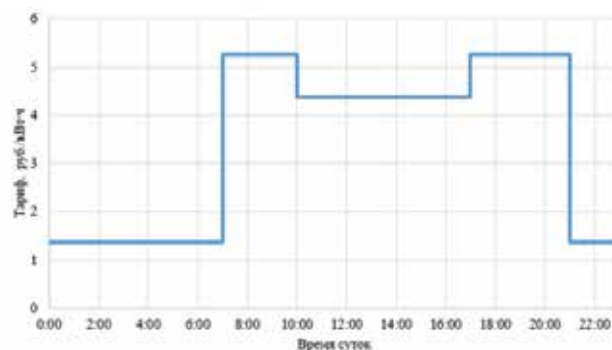
Интеграция со сторонними продуктами. Дезагрегация нагрузки – одна из ключевых особенностей NILM. Ее преимущества можно реализовать и с использованием электросчетчиков сторонних производителей. Аппаратная часть может быть интегрирована в счетчики, автоматы, сторонние датчики с целью отправки данных в ЦОД NILM и последующей обработки информации.

Отправка оповещений и уведомлений. С помощью онлайн-сервиса система NILM способна оповещать пользователя о возникших критических ситуациях или при выполнении заданных пользователем условий (например, если энергопотребление превысит установленную величину или при оставленной открытой дверце холодильника).

4. ЭФФЕКТЫ ОТ ТЕХНОЛОГИИ NILM В РАЗРЕЗЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Внедрение технологических инноваций считается эффективным в том случае, если они приводят к положительному экономическому эффекту [Трачук и др., 2018]. Анализ источников из перечня NILM Wiki показал, что комплексное внедрение технологии NILM способно обеспечить существенный экономический эффект [NILM Wiki..., (б.г.)]. Также для оценки эффектов на российском рынке электроэнергии были использованы данные АО «АТЭС», аналитические отчеты Центра стратегических разработок, материалы АО «Мосэнергосбыт».

Рис. 4. Тариф на электрическую энергию, дифференцированный по зонам суток, для потребителей г. Москвы с электрическими плитами



Источник: [АО «Мосэнергосбыт», (б.г.)].

Эффект для домохозяйств. Дезагрегация нагрузки позволит подробно изучить энергопотребление каждого имеющегося в доме устройства. Для желающих сэкономить открывается возможность выявить устройства, вносящие наибольший вклад в итоговое энергопотребление: эта информация может помочь пользователю принять решение о замене неэффективных электроприборов.

Если оплата электроэнергии пользователем осуществляется с применением тарифа, дифференцированного по зонам суток, открывается возможность оптимизировать план энергопотребления и снизить ежемесячный счет (рис. 4).

Система мониторинга неисправностей способна в режиме реального времени оценивать состояние приборов и выдавать оповещения в случае обнаружения неисправности. Превентивный ремонт может оказаться существенно дешевле, чем приобретение новой техники в случае поломки.

Также при помощи дезагрегации можно легко выявить факты постороннего вмешательства в распределительный щит дома и предотвратить безоговорное потребление.

При помощи онлайн-сервиса или пользовательского приложения владелец сенсора может самостоятельно выбрать уведомления, которые желает получать. Ориентировочный перечень уведомлений:

- о нетипичной работе техники (не закрыта дверца холодильника, неполадки в работе насоса посудомоечной машины и т.д.);
- о превышении времени работы устройства значения, установленного пользователем (владелец забыл отключить плиту, утюг и т.д.);
- о факте включения какого-либо прибора (контроль за домом, пока пользователь в нем отсутствует, а также возможность обнаружить незаконное проникновение в дом).

Система уведомлений также позволяет организовать родительский контроль и наблюдение за пожилыми родственниками.

Перечисленные эффекты способны вовлечь пользователя в контроль и анализ своей нагрузки, а также содействовать рационализации энергопотребления населением.

Таблица 3
Ценовые категории нерегулируемых цен на электрическую энергию (мощность)

Ценовая категория	Принцип учета электроэнергии
Первая	Учет потребленной электроэнергии осуществляется в целом за расчетный период
Вторая	Учет потребленной электроэнергии осуществляется по зонам суток расчетного периода
Третья	За расчетный период осуществляется почасовой учет, но не осуществляется почасовое планирование, а стоимость услуг по передаче электрической энергии определяется по тарифу на услуги по передаче электрической энергии в одноставочном выражении
Четвертая	За расчетный период осуществляется почасовой учет, но не осуществляется почасовое планирование, а стоимость услуг по передаче электрической энергии определяется по тарифу на услуги по передаче электрической энергии в двухставочном выражении
Пятая	За расчетный период осуществляются почасовое планирование и учет, а стоимость услуг по передаче электрической энергии определяется по тарифу на услуги по передаче электрической энергии в одноставочном выражении
Шестая	За расчетный период осуществляются почасовое планирование и учет, а стоимость услуг по передаче электрической энергии определяется по тарифу на услуги по передаче электрической энергии в двухставочном выражении

Источник: [АО «Мосэнергосбыт», (б.г.)].

Промышленные предприятия и крупные коммерческие здания. Для промышленности и крупных коммерческих зданий разделение энергопотребления обладает существенно большим экономическим эффектом, чем для домохозяйств. Приведенные выше преимущества деагрегации и аналитики данных о профилях потребления становятся еще более актуальными ввиду более широкого спектра тарификации (табл. 3, рис. 5).

Статистические данные, собранные сенсором NILM, позволяют определить наиболее эффективный план энергопотребления и обоснованно выбрать ту ценовую категорию, которая будет максимально выгодной для потребителя.

Следует отметить, что для большинства крупных зданий значимый потенциал управления нагрузкой содержится в климатической и осветительной технике, которая составляет существенную часть суммарной нагрузки. Многие торговые центры и офисы практикуют снижение мощности освещения в часы пикового потребления. Также можно настроить циклы включения и выключения климатического оборудования таким образом, чтобы период работы не приходился на часы пикового потребления. Климатические характеристики обла-

Рис. 5. Тариф на электрическую энергию на низком уровне напряжения для третьей ценовой категории на 1 октября 2019 года



Источник: [АО «Мосэнергосбыт», (б.г.)].

дают существенной инерционностью, что позволяет им быть особенно гибкими в оптимизации режима энергопотребления.

Установка нескольких сенсоров, объединенных единой онлайн-системой, позволит распределить энергопотребление по этажам, помещениям или же по группам оборудования в зависимости от схемы электроснабжения здания. Для крупных владельцев недвижимости это даст возможность взимать обоснованную плату за электроэнергию с арендаторов. Арендаторы, в свою очередь, также могут оптимизировать затраты на электроснабжение. Для промышленных предприятий открывается возможность проанализировать загруженность оборудования и цеховых помещений, чтобы в дальнейшем улучшить операционную эффективность предприятия.

Для заводов важна способность NILM к мониторингу режима работы оборудования и превентивному учету. Бизнес может сэкономить значительные средства при незначительных затратах на превентивный мониторинг, избегая сбоев. Например, существует возможность идентифицировать повреждения обмотки кабеля в электродвигателях [Das et al., 2014]. В работах [Cox et al., 2007; Nation et al., 2017] продемонстрирован пример использования системы NILM для мониторинга режимов работы газотурбинных двигателей и генераторов.

Особо значима функция превентивного мониторинга для предприятий непрерывного цикла, где остановка производства из-за непредвиденной поломки может привести к гибели основных средств.

Управляющие компании и жилищно-коммунальные хозяйства. Данные, сформированные онлайн-системой NILM, позволят проанализировать затраты на общедомовые нужды по типам нагрузки и сделать дом более энергоэффективным.

При внедрении NILM также значительно упростится обнаружение незаконного подключения к сетям общедомовых нужд и противодействие хищению электроэнергии.

5. ЭФФЕКТЫ ОТ ТЕХНОЛОГИИ NILM В РАЗРЕЗЕ КОМПАНИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Предыдущие пункты описывали небольшие системы сенсоров NILM – от одного (в случае населения) до десятка (в случае предприятия или коммерческого здания). Компании электроэнергетической отрасли способны соединять сенсоры NILM в крупные системы, объединенные в платформы обмена статистическими данными. Большие данные такого рода могут найти широкое применение в ряде энергетических компаний.

Электросетевые компании. Внедрение системы NILM в деятельность электросетевых компаний открывает возможности по предиктивному информированию о сбоях в работе оборудования.

Автоматизированный сбор данных упростит сведение энергобалансов, повысит эффективность противодействия безучетному потреблению, а также снизит объем коммерческих и технологических потерь.

Энергосбытовые компании. Большие данные системы NILM позволят с большей эффективностью прогнозировать нагрузку, формируемую потребителями, что повысит результативность деятельности энергосбытовых компаний на оптовом рынке электроэнергии и мощности.

Анализ данных по большой выборке потребителей позволит разработать рекомендации по оптимизации внутрисуточного графика нагрузки для каждого потребителя, помогая ему достичь максимальной экономии.

Органы власти и регуляторы. Для отраслевых органов власти и регуляторов анализ больших данных NILM позволит оптимизировать принятие решений по перспективному развитию электроэнергетического комплекса в рамках инвестиционных программ, в вопросах цено- и тарифообразования, а также при формировании программ энергоэффективности.

6. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ NILM НА ФОРМИРОВАНИЕ НОВЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ И БИЗНЕС-МОДЕЛЕЙ

Помимо повышения эффективности деятельности электроэнергетических компаний в их нынешней парадигме технология NILM может послужить мощным инструментом для реализации совершенно новых концепций.

Построение интеллектуальной энергосистемы. Технология NILM может стать одной из ключевых при внедрении интеллектуальных энергосистем. Управление энергопотреблением интеллектуальной сети является основой для реализации управления спросом, интеграции стохастических генераторов, использующих возобновляемые источники энергии, а также систем накопления. Однако современные концепции умных сетей делают упор на управление стохастической генерацией и накопителями, при этом недооценивая потенци-

ал гибкости, имеющийся на стороне потребителей. Технология NILM способна предоставить весь необходимый объем информации для управления режимами генерации и потребления внутри интеллектуальной сети. В работе [Zaidi et al., 2010] показывается, что система NILM может автоматически определять паттерн поведения нагрузки и использовать его для установки оптимального режима работы элементов интеллектуальной сети. Технология NILM может быть использована для получения информации необходимой точности с целью управления режимами работы устройств в гибридной сети постоянного и переменного тока [Huang et al., 2016]. Работа [Zhang et al., 2011] рассматривает адаптацию технологии NILM для идентификации зарядки аккумулятора электромобиля в интеллектуальной сети.

Управление спросом. Управление спросом представляет собой систему стимулирования конечных потребителей к добровольному изменению графика потребления электроэнергии без дополнительного регулирования субъектом оперативно-диспетчерского управления и экономии в результате такого снижения потребления. Помимо маневренной генерации управление спросом – значимый источник гибкости энергосистемы, то есть способности поддерживать баланс мощности в условиях быстро изменяющейся мощности потребления и мощности стохастической генерации.

Тем не менее в настоящий момент не существует достаточно точных моделей для оценки потенциала управления спросом. Система NILM, анализируя профили нагрузки пользователей, позволяет идентифицировать устройства с высоким потенциалом в рамках управления спросом.

В последние годы все большее число исследователей посвящают себя изучению управления спросом на основе NILM. Высокоточный сравнительный анализ участников управления спросом позволяет построить новые ценовые модели, базирующиеся на определении цен для каждой группы потребителей, участвующих в управлении спросом, тем самым максимизируя их выгоду [Lin, Wang, 2011]. Стимулирующие программы управления спросом позволяют субъекту оперативно-диспетчерского управления вовлекать новых участников, а NILM, в свою очередь, значительно упрощает верификацию снижения нагрузки, что особенно актуально для контроля исполнения обязанностей по управлению спросом в частном секторе [Bergman, 2011b].

Значительный потенциал управления спросом сосредоточен в руках средних и малых потребителей розничного рынка, а также в частном секторе. Дешевизна, простота в установке и интуитивная понятность пользовательского приложения сенсора NILM позволят популяризовать управление спросом среди потребителей и вовлечь их в него.

Энергетический консалтинг. Широкий спектр функций сенсора NILM расширяет такой вид деятельности, как энергетический консалтинг. Вследствие неинтрузивности сенсоры NILM могут быть легко установлены на систему электроснабжения исследуемого объекта, а после снятия данных – столь же легко демонтированы. Собранные данные позволят:

- дезагрегировать нагрузку и выявить приборы, вносящие основной вклад в энергопотребление;
- совершить разделение ежемесячного счета по приборам – источникам затрат;

- разработать стратегию по оптимизации внутрисуточного графика потребления;
- выявить несанкционированное использование оборудования сотрудниками компании;
- обнаружить факт незаконного присоединения к сетям объекта.

В перечне представлены основные направления данных, собранных сенсором. Технология NILM является достаточно гибкой и может быть адаптирована к нестандартным ситуациям и требованиям заказчика энергоаудита.

Коммерческое применение данных. Как уже было отмечено, распорядок жизни владельца сенсора NILM, в том числе занятость, режим сна и другие элементы повседневной жизни, также могут быть получены из данных, собранных при использовании сенсора [McKenna et al., 2012].

Перечисленная информация может найти применение в областях, не связанных с энергетикой, таких, как коммерческие услуги (профилирование клиентов, таргетированный маркетинг), юридические услуги (мониторинг комендантского часа) и дистанционное здравоохранение (контроль пожилых людей, живущих дома) [Devlin, Hayes, 2018].

Таким образом, для электроэнергетической компании, использующей технологию NILM, открывается совершенно новый вид бизнеса – использование данных в коммерческих целях.

7. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕМПА РАСПРОСТРАНЕНИЯ NILM

Процесс распространения инновации при помощи рыночных и нерыночных каналов между различными потребителями во времени носит название «диффузия инновации» [Oslo manual..., 2005].

В настоящей статье для прогнозирования темпа распространения технологии NILM среди частных пользователей будет использована диффузионная модель, предложенная Фрэнком Бассом [Bass, 1969].

Модель Басса, как и ее последующие модификации, основывается на учете и «инноваторов», принимающих новшество самостоятельно и влияющих в дальнейшем на потенциальных покупателей, и «имитаторов», принимающих новшество под воздействием инноваторов, уже использующих технологию [Трачук, Линдер, 2017].

Модель Басса позволяет описывать широкий спектр продуктов – от узкоспециализированных технологических решений до повседневных бытовых товаров, таких, как стиральная и посудомоечная машины, сотовые телефоны. Эта модель также способна характеризовать совершенно различные отрасли [Bass et al., 1994].

Данная модель получила широкое распространение в прогнозировании, особенно в прогнозировании вывода на рынок новых продуктов и технологий, фактическая информация о распространении которых еще не была собрана. Для оценки параметров модели используется информация о продажах, уже реализуемых на рынке и обладающих рядом схожих с исследуемым продуктом характеристик.

Необходимо отметить, что, несмотря на эффективность модели для прогнозирования диффузии продуктов длительного пользования (кондиционеров, телевизоров, систем видеонаблюдения, оборудования «Умный дом» и т.д.) [Bass, 2004; Bass et al., 1994], модель Басса не исключает возможных ошибок и неопределенностей ввиду применения оценочных параметров при построении.

Модель Басса в дискретном виде формулируется как:

$$n(t) = p(M - N(t-1)) + q \frac{N(t-1)}{M} (M - N(t-1)) = n(t)_{\text{инн}} + n(t)_{\text{им}}, \quad (1)$$

где $n(t)$ – количество потребителей, принявших новшество в момент времени t ; $N(t-1)$ – суммарное число потребителей, принявших новшество в течение предыдущего периода $(t-1)$; M – потенциал рынка; p – коэффициент инновации; q – коэффициент имитации; $n(t)_{\text{инн}}$ – количество инноваторов, принявших новшество в момент времени t ; $n(t)_{\text{им}}$ – количество имитаторов, принявших новшество в момент времени t .

Первое слагаемое в формуле (1) соответствует вкладу инноваторов в число покупок в момент времени t и пропорционально количеству пользователей, еще не купивших новшество, то есть сомножителю $(M - N(t-1))$. В свою очередь, вклад имитаторов пропорционален как числу потребителей, еще не совершивших покупку, так и доле уже купивших новшество пользователей – $\frac{N(t-1)}{M} (M - N(t-1))$.

В дискретной форме суммарное число потребителей, принявших новшество, выражается формулой:

$$N(t) = N(t-1) + n(t), \quad (2)$$

где $N(t)$ – суммарное число потребителей, принявших новшество.

Для удобства дальнейших вычислений выражение (1) преобразовано к виду:

$$n(t) = (p + q \frac{N(t-1)}{M}) (M - N(t-1)). \quad (3)$$

Математическая модель Басса может быть представлена и в непрерывной форме:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = (p + q \frac{N(t)}{M}) (M - N(t)). \quad (4)$$

Решение дифференциального уравнения (4) позволяет выразить ряд полезных соотношений [Bass, 1969]:

$$N(t) = M \left[\frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}} \right], \quad (5)$$

$$n(t) = M \left[\frac{p(p+q) \cdot e^{-(p+q)t}}{(p + q \cdot e^{-(p+q)t})^2} \right]. \quad (6)$$

В случае $p < q$ кривая $N(t)$ имеет вид S-образной кривой с точкой перегиба T^* , определяемой соотношением:

$$T^* = \left[\frac{1}{p+q} \right] \cdot \ln \left(\frac{q}{p} \right). \quad (7)$$

Важно отметить, что точка T^* в случае $p < q$ определяет как точку экстремума кривой $n(t)$, то есть является точкой наступления пика продаж.

Определение параметров M , p и q . Технология NILM имеет широкий спектр применения: от домохозяйств и офисных зданий до промышленных производств. В связи с этим для описания процесса распространения технологии рыночный потенциал M было решено нормировать к 100%.

Таблица 4
Оценка параметров p и q для технологии NILM

Технология	Коэффициент инновации p	Коэффициент имитации q
Облачная платформа для видеонаблюдения	0,026	0,325
Сервис сбора контактной информации клиентов	0,014	0,219
Продукт для защиты персональных и корпоративных данных для мобильных устройств, используемых для работы в офисе и дома	0,029	0,374
Системы «Умный дом»	0,020	0,270
Средневзвешенное значение для технологии NILM	0,022	0,323

Источник: [Чуркин, 2013].

Так как модель часто применяется для описания процесса распространения продукта, еще не вышедшего на рынок, фактических данных о p и q для технологии NILM не существует. В связи с этим было решено воспользоваться параметрами других продуктов, обладающих сходственными рыночными характеристиками и коэффициенты p и q которых известны.

Для оценки коэффициентов p и q технологии NILM были выбраны следующие цифровые решения: облачная платформа для видеонаблюдения, сервис сбора контактной информации клиентов, продукт для защиты персональных и корпоративных данных для мобильных устройств, используемых для работы в офисе и дома, система «Умный дом». Для технологии NILM средневзвешенное значение $p = 0,022$, $q = 0,323$ (табл. 4).

Результаты расчета. При помощи формул (1) и (2) было спрогнозировано распространение технологии NILM. На рис. 6, 7 и из табл. 5 видно, что скорость распространения технологии NILM нарастает в первые восемь лет, после чего начинает снижаться. Существенный объем рыночного потенциала будет исчерпан к пятнадцатому году после старта продаж.

Коэффициент инновации p меньше коэффициента имитации q . В этом случае график зависимости количества потребителей, принявших новшество в момент времени t , от времени будет иметь точку максимума, соответствующую пику продаж. Согласно расчету, пик продаж наступит на восьмой год.

Рис. 6. Суммарное число потребителей, принявших новшество

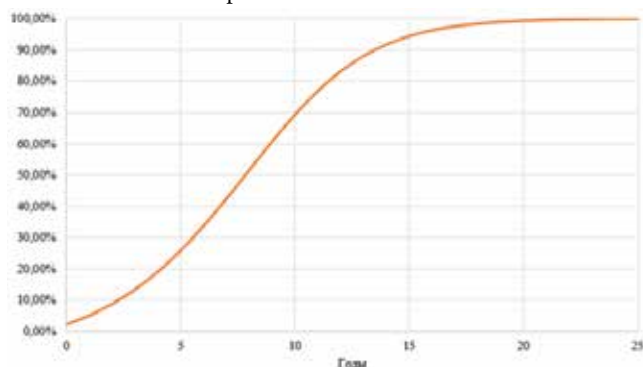
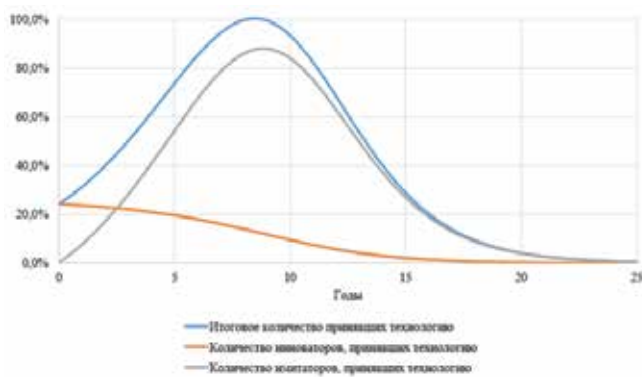


Таблица 5
Прогноз распространения технологии NILM (%)

Год	Доля потребителей, принявших новшество	Доля потребителей, принявших новшество за год	Доля инноваторов	Доля имитаторов
0	2,23	24,3	24,3	0,0
1	5,10	31,4	23,7	7,7
2	8,78	40,1	23,0	17,1
3	13,40	50,3	22,1	28,2
4	19,07	61,9	21,0	40,9
5	25,85	74,0	19,6	54,4
6	33,70	85,5	18,0	67,5
7	42,39	94,8	16,1	78,7
8	51,56	100,0	14,0	86,0
9	60,70	99,7	11,8	88,0
10	69,28	93,6	9,5	84,0
11	76,84	82,4	7,5	75,0
12	83,10	68,3	5,6	62,7
13	88,01	53,6	4,1	49,5
14	91,69	40,1	2,9	37,2
15	94,33	28,9	2,0	26,8
16	96,19	20,2	1,4	18,8
17	97,46	13,8	0,9	12,9
18	98,31	9,3	0,6	8,7
19	98,89	6,2	0,4	5,8
20	99,27	4,1	0,3	3,9
21	99,52	2,7	0,2	2,6
22	99,68	1,8	0,1	1,7
23	99,79	1,2	0,1	1,1
24	99,86	0,8	0,1	0,7
25	99,91	0,5	0,0	0,5

Рис. 7. Количество потребителей, принявших новшество в момент времени t



Расчеты показали, что скорость распространения технологии NILM невелика. Восемь лет до наступления пика продаж являются существенным сроком в эпоху четвертой промышленной революции, когда темпы эволюционного развития технологий достаточно высоки и продолжают расти. Значительно ускорить распространение технологии NILM способны технологические коридоры.

В России под термином «технологический коридор» принято понимать установленный государством ряд требований и ограничений, предъявляемых к техническим параметрам применяемых технологий, потребительской продукции и услуг.

Технологические коридоры обладают существенным потенциалом для ускорения распространения технологий, стимулирования НИОКР и вытеснения устаревших технологий [Степуро, 2017].

Ускорению распространения технологии NILM также могут поспособствовать электроэнергетические компании путем систематического внедрения сенсоров NILM. Например, ими могут оснащаться новостройки или сенсоры NILM будут устанавливаться при замене счетчиков электроэнергии в уже построенных зданиях.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрено понятие и различные способы применения технологии неинтрузивного мониторинга нагрузки. Несмотря на единогласие в трактовке ключевых элементов и функций NILM, благодаря гибкости и легкости в масштабировании исследователи выделяют широкий круг видов деятельности, так или иначе затрагивающих энергопотребление, где технология может быть использована.

Были сформированы ключевые способы применения NILM на практике и определены потенциальные эффекты от внедрения. Неинтрузивный мониторинг нагрузки способен принести выгоду конечным потребителям, улучшить эффективность деятельности компаний электроэнергетической отрасли, а также послужить мощным драйвером развития совершенно новых укладов в электроэнергетике.

Спрогнозированный при помощи модели Басса темп распространения технологии NILM свидетельствует о не-

обходимости использования технологических коридоров и систематического внедрения энергокомпаниями технологии для ускорения ее принятия и приближения пика продаж.

В качестве дальнейшего исследования NILM интересными видятся более глубокая проработка каждого направления внедрения неинтрузивного мониторинга, формирование и оценка эффектов для различных участников рынка электроэнергии. Еще одним перспективным направлением исследований может выступить интеграция сенсоров NILM с «неэлектрическими» сенсорами (такими, как датчики температуры, влажности, освещенности и т.д.) и актуаторами.

ЛИТЕРАТУРА

1. АО «Мосэнергосбыт» (б.р.). URL: <https://mosenergobyt.ru>.
2. Единая энергетическая система России (2019). Системный оператор Единой энергетической системы (АО «СО ЕЭС»). URL: <https://yearbook.enerdata.net/electricity/world-electricity-production-statistics.html>.
3. Линдер Н.В., Лисовский А.Л. (2017). Развитие рынка электроэнергии в России: основные тенденции и перспективы // Стратегии бизнеса. №2. С. 48–54.
4. Линдер Н.В., Трачук А.В. (2017). Влияние перекрестного субсидирования в электро- и теплоэнергетике на изменение поведения участников оптового и розничного рынков электро- и теплоэнергии // Эффективное Антикризисное Управление. №2. С. 78–86.
5. Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации» от 03.04.2013 № 511-п // rosseti.ru. URL: https://www.rosseti.ru/about/mission/511_R.pdf.
6. Степуро Я.Р. (2017). Технологические коридоры как инструмент ускорения диффузии инноваций на примере технологии платежных карт // Стратегии бизнеса. №7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskie-koridory-kak-instrument-uskoreniya-diffuzii-innovatsiy-na-primere-tehnologii-platyozhnyh-kart>.
7. Трачук А.В., Линдер Н.В. (2017). Распространение инструментов электронного бизнеса: результаты эмпирического исследования // Российский журнал менеджмента. 2017. № 1. С. 27–50.
8. Трачук А.В., Линдер Н.В., Тарасов И.В., Налбандян Г.Г., Ховалова Т.В., Кондратюк Т.В., Попов Н.А. (2018). Трансформация промышленности в условиях четвертой промышленной революции. Монография. СПб.: Реальная экономика. 2018.
9. Ховалова Т.В. (2017). Моделирование эффективности перехода на собственную генерацию // Эффективное Антикризисное Управление. 2017. № 3. С. 44–57.
10. Хохлов А., Мельников Ю., Веселов Ф., Холкин Д., Дацко К. (2018). Распределенная энергетика в России: потенциал развития // Сколково. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf.

11. Цифровой переход в электроэнергетике (2017) // Центр стратегических разработок. URL: <https://www.csr.ru/issledovaniya/tsifrovoj-perehod-velektroenergetike-rossii/>.
12. Чуркин В.И. (2013). Прогноз продаж инновационных товаров с учетом макроэкономических факторов (на примере малых ветрогенераторов) // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2013. № 1–1. С. 104–112. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognoz-prodazh-innovatsionnyh-tovarov-s-uchetom-makroekonomicheskikh-faktorov-na-primere-malyh-vetrogeneratorov>.
13. Шваб К. (2016). Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2016.
14. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года // Министерство энергетики РФ. URL: <http://minenergo.gov.ru/aboutminenergo/energostrategy>.
15. Azaza M., Wallin F. (2017). Finite state machine household's appliances models for non-intrusive energy estimation // *Energy Procedia*. Vol. 105. P. 2157–2162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.609>.
16. Bass F.M. (1969). A new product growth model for consumer durables // *Management Science*. Vol. 15. No 5. P. 215–227.
17. Bass F.M. (2004). Comments on a new product growth for model consumer durables. *Management Science*. Vol. 50. No 12. P. 1833–1840.
18. Bass F.M., Trichy K., Jain D. C. (1994). Why the Bass model fits without decision variables // *Management Science*. Vol. 13. No 3. P. 203–223.
19. Bergman D. C., Jin D., Juen J.P., Tanaka N., Gunter C.A. (2011a). Distributed non-intrusive load monitoring // IEEE Xplore. Conference: Proceedings of the 2011 IEEE/PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5759180>.
20. Bergman D. C., Jin D., Juen J.P., Tanaka N., Gunter C.A., Wright A. K. (2011b). Non-intrusive load shed verification // *IEEE Pervasive Comput.* 2011. Vol. 10. No 1. P. 49–57.
21. Biansoongnern S., Plungklang B. (2016). Non-intrusive appliances load monitoring (nilm) for energy conservation in household with low sampling rate // *Procedia Computer Science*. Vol. 86. P. 172–175. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.05.049>.
22. Bonfigli R., Squartini S. (2020). Machine learning approaches to non-intrusive load monitoring. Springer.
23. Cox R.W. (2006). Minimally intrusive strategies for fault detection and energy monitoring. PhD Dissertation. EECS, MIT, Aug.
24. Cox R.W., Bennett P.L., McKay T.D., Paris J., Leeb S.B. (2007). Using the non-intrusive load monitor for shipboard supervisory control // *IEEE Electric Ship Technologies Symposium*. DOI: <https://doi.org/10.1109/ests.2007.372136>.
25. Das S., Purkait P., Koley C., Chakravorti S. (2014). Performance of a load-immune classifier for robust identification of minor faults in induction motor stator winding // *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* Vol. 21. No 1. P. 33–44.
26. Devlin M., Hayes B. (2018). Non-intrusive load monitoring using electricity smart meter data: a deep learning approach // *researchgate.net*. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29463.42402>.
27. Freeman C., Clark J., Soete L. (1982). Unemployment and technical innovation: a study of long waves and economic development. London: Frances Printer.
28. Global energy statistical yearbook (2019). URL: <https://yearbook.enerdata.net/electricity/world-electricity-production-statistics.html>.
29. Hart G.W. (1992). Nonintrusive appliance load monitoring // *Proceedings of the IEEE*. Vol. 80. P. 1870–1891.
30. Huang Z., Zhu T., Gu Y., Li Y. (2016). Shepherd: Sharing energy for privacy preserving in hybrid aC-dC microgrids. *Proceedings of the 7th International Conference on Future Energy Systems*. P. 202–211.
31. Kempener R., Komor P., Hoke A. (2013). Smart grids and renewables. A Guide for effective deployment // International Renewable Energy Agency. URL: https://www.irena.org/documentdownloads/publications/smart_grids.pdf.
32. Lin C., Wang Z. (2011). A new DSM energy-pricing model based on load monitoring system. *Proceedings of the 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce, AIMSEC*. P. 3650–3653.
33. McKenna E., Richardson I., Thomson M. (2012) Smart meter data: Balancing consumer privacy concerns with legitimate applications // *Energy Policy*. Vol. 41. P. 807–814.
34. Naghibi B., Deilami S. (2014). Non-intrusive load monitoring and supplementary techniques for home energy management. *Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*. DOI: <https://doi.org/10.1109/aupec.2014.6966647>.
35. Nation J.C., Aboulian A., Green D., Lindahl P., Donnal J., Leeb S.B., Bredariol G., Stevens K. (2017). Nonintrusive monitoring for shipboard fault detection. *SAS 2017–2017 IEEE Sensors Appl. Symp. Proc.*
36. NILM Wiki. <http://wiki.nilm.eu>.
37. Oslo manual: guidelines for collecting and interpreting innovation data (2005). The measurement of scientific and technological activities. OECD; European Communities. URL: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264013100-en.pdf?expires=1581589090&id=id&accname=guest&checksum=28EB099C3721F16E2E70711CD4252391>.
38. Technical change and full employment (1987)/C. Freeman, L. Soete (eds.). Oxford: Basic Blackwell.
39. U.S. Patent 4,858,141. Non-intrusive appliance monitor apparatus (1989) // patents.google.com. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/04/a6/39/62cb653df35111/US4858141.pdf>.
40. Welikalaa S., Thelasinghaa N., Akrama M., Ekanayakea P.B., Godaliyaddaa R. I., Ekanayakea J. B. (2019). Implementation of a robust real-time non-intrusive load monitoring solution // *Applied Energy*. Vol. 238. P. 1519–1529. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.167>.
41. Zaidi A.A., Zia T., Kupzog F. (2010). Automated demand side management in microgrids using load recognition. *IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. P. 774–779.
42. Zhang P., Zhou C., Stewart B. G., Hepburn D. M., Zhou W., Yu J. (2011). An improved non-intrusive load monitoring

method for recognition of electric vehicle battery charging load // *Energy Procedia*. Vol. 12. P. 104–112.

43. Zhuang M., Shahidehpour M., Zuyi L. (2018). An overview of non-intrusive load monitoring: Approaches, business applications, and challenges. Conference: 2018 International Conference on Power System Technology. P. 4291–4299. DOI: <https://doi.org/10.1109/POWERCON.2018.8601534>.
44. Zoha A., Gluhak A., Imran M., Rajasegarar S. (2012). Nonintrusive load monitoring approaches for disaggregated energy sensing: a survey // *Sensors*. 2012. Vol. 12. P. 16838–16866.

REFERENCES

1. AO “Mosenergosbyt” (b.g.). URL: <https://mosenergosbyt.ru>.
2. *Edinaya energeticheskaya sistema Rossii* (2019). Sistemnyy operator Edinoy energeticheskoy sistemy (AO “SO EES”). URL: <https://yearbook.enerdata.net/electricity/world-electricity-production-statistics.html>.
3. Linder N.V., Lisovskiy A.L. (2017). Razvitiye rynka elektroenergii v Rossii: osnovnye tendentsii i perspektivy. *Strategii biznesa*, 2, 48–54.
4. Linder N.V., Trachuk A.V. (2017). Vliyaniye perekrestnogo subsidirovaniya v elektro- i teploenergetike na izmeneniye povedeniya uchastnikov optovogo i roznichnogo rynkov elektro- i teploenergii. *Effektivnoye antikrizisnoye upravleniye*, 2, 78–86.
5. Rasporiyazheniye Pravitel'stva RF ‘Ob utverzhdenii Strategii razvitiya elektrossetevogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii’ ot 03.04.2013 № 511-r. *rosseti.ru*. URL: https://www.rosseti.ru/about/mission/511_R.pdf.
6. Stepuro Ya.R. (2017). Tekhnologicheskie koridory kak instrument uskoreniya diffuzii innovatsiy na primere tekhnologii platelynykh kart. *Strategii biznesa*, 7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskie-koridory-kak-instrument-uskoreniya-diffuzii-innovatsiy-na-primere-tehnologii-platyzhnykh-kart>.
7. Trachuk A.V., Linder N.V. (2017). Rasprostraneniye instrumentov elektronnoygo biznesa: rezul'taty empiricheskogo issledovaniya. *Rossiyskiy zhurnal menedzhmenta*, 2017, 1, 27–50.
8. Trachuk A.V., Linder N.V., Tarasov I.V., Nalbandyan G.G., Khovalova T.V., Kondratyuk T.V., Popov N.A. (2018). *Transformatsiya promyshlennosti v usloviyakh chetvertoy promyshlennoy revolyutsii*. Monografiya. Saint Petersburg, Real'naya ekonomika, 2018.
9. Khovalova T.V. (2017). Modelirovaniye effektivnosti perekhoda na sobstvennyuyu generatsiyu. *Effektivnoye antikrizisnoye upravleniye*, 2017, 3, 44–57.
10. Khokhlov A., Melnikov Yu., Veselov F., Kholkin D., Datsko K. (2018). *Raspredelelnaya energetika v Rossii: potentsial razvitiya*. Skolkovo. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf.
11. *Tsifrovoy perekhod v elektroenergetike* (2017). Tsentr strategicheskikh razrabotok. URL: <https://www.csr.ru/issledovaniya/tsifrovoy-perekhod-velektroenergetike-rossii/>.
12. Churkin V.I. (2013). Prognoz prodazh innovatsionnykh tovarov s uchedom makroekonomicheskikh faktorov (na primere malykh vetrogeneratorov). *Nauchno-tehnichesk- ie vedomosti SPbGPU. Ekonomichesk- ie nauki*, 2013, 1–1, 104–112. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognoz-prodazh-innovatsionnykh-tovarov-s-uchetom-makroekonomicheskikh-faktorov-na-primere-malykh-vetrogeneratorov>.
13. Shvab K. (2016). *Chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya*. Moscow, Eksmo, 2016.
14. *Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda*. Ministerstvo energetiki RF. URL: <http://minenergo.gov.ru/aboutminen/energostrategy>.
15. Azaza M., Wallin F. (2017). Finite state machine household's appliances models for non-intrusive energy estimation. *Energy Procedia*, 105, 2157–2162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.609>.
16. Bass F.M. (1969). A new product growth model for consumer durables. *Management Science*, 15 (5), 215–227.
17. Bass F.M. (2004) Comments on a new product growth for model consumer durables. *Management Science*, 50 (12), 1833–1840.
18. Bass F.M., Trichy K., Jain D.C. (1994). Why the Bass model fits without decision variables. *Management Science*, 13 (3), 203–223.
19. Bergman D.C., Jin D., Juen J.P., Tanaka N., Gunter C.A. (2011a). Distributed non-intrusive load monitoring. IEEE Xplore. Conference: *Proceedings of the 2011 IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5759180>.
20. Bergman D.C., Jin D., Juen J.P., Tanaka N., Gunter C.A., Wright A.K. (2011b). Non-intrusive load shed verification. *IEEE Pervasive Comput.*, 10 (1), 49–57.
21. Biansoongnern S., Plungklang B. (2016). Non-intrusive appliances load monitoring (nilm) for energy conservation in household with low sampling rate. *Procedia Computer Science*, 86, 172–175. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.05.049>.
22. Bonfigli R., Squartini S. (2020). *Machine learning approaches to non-intrusive load monitoring*. Springer.
23. Cox R.W. (2006). *Minimally intrusive strategies for fault detection and energy monitoring*. PhD Dissertation. EECS, MIT, Aug.
24. Cox R.W., Bennett P.L., McKay T.D., Paris J., Leeb S.B. (2007). Using the non-intrusive load monitor for shipboard supervisory control. *IEEE Electric Ship Technologies Symposium*. DOI: <https://doi.org/10.1109/ests.2007.372136>.
25. Das S., Purkait P., Koley C., Chakravorti S. (2014). Performance of a load-immune classifier for robust identification of minor faults in induction motor stator winding. *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, 21 (1), 33–44.
26. Devlin M., Hayes B. (2018). Non-intrusive load monitoring using electricity smart meter data: a deep learning approach. *researchgate.net*. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29463.42402>.
27. Freeman C., Clark J., Soete L. (1982). *Unemployment and technical innovation: a study of long waves and economic development*. London, Frances Printer.
28. *Global Energy Statistical Yearbook* (2019). URL: <https://yearbook.enerdata.net/electricity/world-electricity-production-statistics.html>.

29. Hart G.W. (1992). Nonintrusive appliance load monitoring. *Proceedings of the IEEE*, 80, 1870–1891.
30. Huang Z., Zhu T., Gu Y., Li Y. (2016). Shepherd: Sharing energy for privacy preserving in hybrid aC-dC microgrids. *Proceedings of the 7th International Conference on Future Energy Systems*, 202–211.
31. Kempener R., Komor P., Hoke A. (2013). Smart grids and renewables. A guide for effective deployment. *International Renewable Energy Agency*. URL: https://www.irena.org/documentdownloads/publications/smart_grids.pdf.
32. Lin C., Wang Z. (2016). A new DSM energy-pricing model based on load monitoring system. *Proceedings of the 2nd International Conference on Artificial Intelligence*. Management Science and Electronic Commerce, AIMSEC, 3650–3653.
33. McKenna E., Richardson I., Thomson M. (2012). Smart meter data: Balancing consumer privacy concerns with legitimate applications. *Energy Policy*, 41, 807–814.
34. Naghibi B., Deilami S. (2014). Non-intrusive load monitoring and supplementary techniques for home energy management. *Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*. DOI: <https://doi.org/10.1109/aupec.2014.6966647>.
35. Nation J.C., Aboulian A., Green D., Lindahl P., Donnal J., Leeb S.B., Bredariol G., Stevens K. (2017). Nonintrusive monitoring for shipboard fault detection. *SAS 2017–2017 IEEE Sensors Appl. Symp. Proc.*
36. NILM Wiki. <http://wiki.nilm.eu>.
37. *Oslo manual: guidelines for collecting and interpreting innovation data* (2005). The measurement of scientific and technological activities. OECD, European Communities. URL: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264013100-en.pdf?expires=1581589090&id=id&accname=guest&checksum=28EB099C3721F16E2E70711CD4252391>.
38. Freeman C., Soete L. (eds.). *Technical change and full employment* (1987). Oxford, Basic Blackwell.
39. U.S. Patent 4,858,141. Non-intrusive appliance monitor apparatus (1989). *patents.google.com*. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/04/a6/39/62cb653df35111/U4858141.pdf>.
40. Welikalaa S., Thelasinghaa N., Akrama M., Ekanayakea P.B., Godaliyadda R.I., Ekanayakea J.B. (2019). Implementation of a robust real-time non-intrusive load monitoring solution. *Applied Energy*, 238, 1519–1529. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.167>.
41. Zaidi A.A., Zia T., Kupzog F. (2010). Automated demand side management in microgrids using load recognition. *IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 774–779.
42. Zhang P., Zhou C., Stewart B.G., Hepburn D.M., Zhou W., Yu J. (2011). An improved non-intrusive load monitoring method for recognition of electric vehicle battery charging load. *Energy Procedia*, 12, 104–112.
43. Zhuang M., Shahidehpour M., Zuyi L. (2018). An overview of non-intrusive load monitoring: Approaches, business applications, and challenges. *Conference: 2018 International Conference on Power System Technology*, 4291–4299. DOI: <https://doi.org/10.1109/POWERCON.2018.8601534>.
44. Zoha A., Gluhak A., Imran M., Rajasegarar S. (2012). Non-intrusive load monitoring approaches for disaggregated energy sensing: a survey. *Sensors*, 12, 16838–16866.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Павел Сергеевич Кузьмин

Специалист управления экономического планирования и договорных отношений АО «Синтез Групп».

Область научных интересов: стратегии и управление развитием компаний электроэнергетической отрасли, внедрение инноваций в электроэнергетике, эффективность энергетических компаний.

E-mail: kuzminps.fa@yandex.ru

ABOUT THE AUTHOR

Pavel S. Kuzmin

Specialist of the Department of Economic Planning and Contract Relations, Sintez Grupp CJSC.

Research interests: strategies and development management of companies in the electric power industry, introduction of innovations in the electric power industry, efficiency of energy companies.

E@mail: kuzminps.fa@yandex.ru