

Использование Байесовского подхода к прогнозированию спроса на электрическую энергию с учетом влияния социальных процессов в Украине

Д. В. Яценко^{*}, В. А. Попов¹, А. И. Замулко¹, А. В. Адаников¹

¹Национальный технический университет Украины
"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", Киев, Украина.
^{*}Corresponding author. E-mail: 19yatsenko94@gmail.com

Paper received 20.07.21; Accepted for publication 02.07.21.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2021-255IX32-11>

Аннотация. Обосновано влияние такого социального фактора, как пандемия на формирование спроса на электрическую энергию в Украине по результатам анализа литературных источников. Выявлено существенное воздействие данного фактора на потребление электрической энергии страны в целом и на распределение потребления между секторами экономики, что подтверждается статистическими данными. Кроме этого, отмечено, что ужесточения карантинных мероприятий влияют на уровень потребления электрической энергии. Происходит перераспределение потребления между группами потребителей, особенно между частью офисных потребителей и бытового сектора. Также отмечено, что закрытие общественного транспорта и другие ограничения, влияющие на образ жизни населения приводят к характерным изменениям в потреблении электрической энергии. Разработана модель прогнозирования спроса на электрическую энергию с учетом фактора пандемий на основе экспертных оценок с использованием байесовского подхода.

Ключевые слова: спрос на электрическую энергию, прогнозирование, энергосистема, метод Байеса, Covid-19, экспертная оценка.

Введение. Либерализация энергетического рынка поставила на первое место вопросы прогнозирования цены и спроса на электрическую энергию. Для формирования адекватных моделей прогнозирования необходимо учитывать новые вызовы времени, которые влияют на уровень спроса. Одним из таких факторов с 2020 года стала пандемия.

В 2020 после вспышки пандемии COVID-19 правительства во всем мире приняли резкие меры по сдерживанию распространения вируса, включая локдаун, социальное дистанцирование, закрытие предприятий и запрет на передвижение. Эти ограничения существенно изменяют ритм труда и жизни людей, а следовательно, приводят к значительным изменениям в потребности в электроэнергии и структуре нагрузки. В Украине жесткий локдаун был введен Кабинетом Министров Украины с 12 марта по 3 апреля 2020. С 25 марта Кабинет Министров Украины ввел на всей территории Украины режим чрезвычайной ситуации на период до 24 апреля [1], который затем продлили до 11 мая. Уже 4 мая карантин продлили до 22 мая с одновременным его смягчением. Из-за политики ограничений крупные потребители электроэнергии, например, предприятия и коммерческие учреждения были вынуждены закрыться или перейти на минимальный уровень использования мощности. Поскольку люди, в большинстве случаев, оставались дома, нагрузка на коммунальный сектор начинает расти. Данный процесс приводит к значительному изменению уровня, профиля, состав и суточного распределения спроса на электроэнергию. Изменение режима электропотребления соответственно влияет на работу и управление энергосистемой. Из-за быстрого развития пандемии и меняющейся противоэпидемической политики работа энергосистемы сталкивается с более высокой степенью неопределенности. Кроме технических последствий, это также влияет на экономические и экологические аспекты электроэнергетики.

Многоуровневые ограничения, сдерживающие распространение COVID-19, существенно повлияли на характер потребления электроэнергии, а также на характер и структуру профиля спроса. По мере того,

как экономики пытаются оправиться от пандемии COVID-19, спрос на электроэнергию начинает медленно возвращаться к докарантинным значениям. Однако влияние пандемии COVID-19 продолжается и будет иметь долгосрочное влияние на энергетику и нашу жизнь в целом.

С 1991 по 1997 год потребление электроэнергии в Украине значительно снизилось до 160 млрд. кВт.ч, в начале 2000-х ситуация несколько стабилизировалась, но величина потребления существенно изменилась в 2018, 2019 и 2020 году и соответственно составляла 135,72, 120,22, 117,90 млрд кВт. ч. Из приведенных данных можно сделать вывод, что энергетическая система Украины рассчитана на значительно больший уровень потребления, чем наблюдается в последние годы. Также при таком объеме потребления электрической энергии, которое наблюдалось в 1992 году изменения в определенной группе потребителей существенно не влияют на общее потребление в масштабе государства. Но при потреблении на уровне последних лет изменение в графике нагрузки определенной группы потребителей, скорее всего, существенно повлияет на картину общего потребления страны.

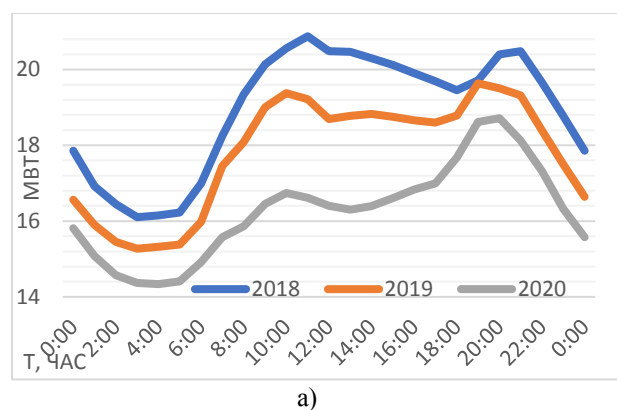
С 1992 года мы наблюдаем тенденцию к сокращению объемов потребления в Украине и одновременно тенденцию к росту доли потребления в бытовом секторе и, соответственно его негативного влияния на режимы работы всей энергосистемы. Поэтому исследование влияния вспышки пандемии на энергетический сектор Украины, а именно на бытового потребителя, является достаточно важной и актуальной задачей, также рассмотрены различные этапы пандемии, как фактор влияния на потребление бытовых потребителей при решении задачи прогнозирования потребления.

Краткий обзор публикаций по теме. Вопрос исследования влияния пандемии на энергетический сектор и другие сферы экономики страны является одним из достаточно распространенных, которые рассматривают ученые разных стран. В частности, в исследовании [2] представлен влияние COVID-19 на украинском и венгер-

ский сектора электроэнергетики и оценивается его интенсивность и динамика развития процесса. В то же время данная работа не позволяет в полной мере провести оценку влияния фактора случайности при формировании спроса на электрическую энергию по секторам.

В статье [3] представлен анализ влияния пандемии COVID-19 на энергетический рынок Польши. Также содержится анализ потребления электроэнергии в период экономического спада. Но в публикации отсутствуют определенные основания для формирования определенных предложений для прогнозирования спроса на электрическую энергию в условиях неопределенности. В работе [4] проанализированы данные о потреблении электроэнергии до конца мая 2020 года, исследуя как спрос на электроэнергию, так и переменные, которые могут влиять на уровень напряжения в электросети. Вместе с тем объем анализируемого временного промежутка не позволяет в полной мере оценить факто случайности социального процесса, что в свою очередь влияет на изменения уровня электропотребления в исследуемых регионах. В [5] изучается влияние карантина на электрическую нагрузку и производство электроэнергии в системе распределения итальянского города Терни. Однако не хватает данных для оценки полноты влияния пандемии на энергосистему страны или региона.

В отличие от предыдущих исследований, которые охватывали только начало пандемического периода, эта работа имела целью изучить и проанализировать данные о спросе на электричество в течение более длительного периода времени. Анализ спроса на электроэнергию для трех регионов показал явные признаки пике и сокращения спроса из-за пандемии. В отличие от предыдущих исследований, процесс анализа спроса в этой работе разработан на основе устранения корреляции временных рядов, тенденций и сезонного влияния на анализ спроса, чтобы охватить только последствия пандемии.



Цель. Целью работы является выявление влияние такого социального фактора, как пандемия на формирование спроса на электрическую энергию в Украине; проведение комплексного анализа изменений спроса на электрическую энергию в условиях введения карантинных мероприятий и снижения погрешности прогнозирования спроса в ЭЭ с учетом влияния факторов пандемии при прогнозировании спроса.

Анализ влияния пандемии на общие объемы потребления в Украине. На первом этапе исследования важно исследовать задачу перекрестного влияния различных секторов экономики и потребителей на формирование спроса на электрическую энергию. По данным Национальной энергетической компании "Укрэнерго" (далее ОСП), в первые три недели карантина среднесуточное потребление электроэнергии с учетом потерь в сетях в Украине уменьшилось на 7,2% по сравнению с аналогичным периодом 2019 [4].

На снижение потребления электроэнергии повлияло потепление: среднесуточная температура в марте 2020 была на 1,7° С выше, чем в марте 2019 [4]. В апреле 2020 среднесуточное потребление электроэнергии в Украине снизилось чуть больше, чем в марте - на 7,5% по сравнению с апрелем 2019 года. При этом в апреле 2020 среднесуточная температура воздуха была ниже на 1,2°С, чем за аналогичный период 2019 [4].

Поэтому основной причиной спада потребления в апреле является вызванное карантином значительное снижение деловой активности в стране [4]. Крупнейшим потребителем электроэнергии в Украине является промышленность, которая использует почти половину производимой электроэнергии. Вторым крупным потребителем является население, на которое приходится более трети общего объема [4].

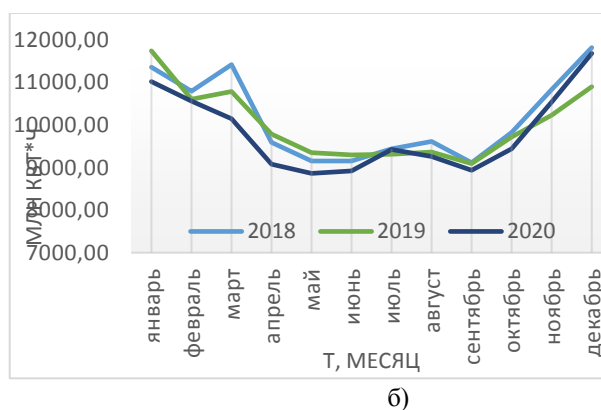


Рис.1. График суточного потребления ЭЭ за типичные сутки в 2018, 2019 и 2020 годах (а) годовое потребление в 2018, 2019 и 2020 годах (б).

Как отмечают в ОСП, наибольший спад потребления электроэнергии в апреле наблюдался в промышленности. В частности, на 21% меньше электроэнергии потратили в машиностроительной отрасли, на 17% - в транспортной, на 13% - в металлургической. При этом уровень потребления населением уменьшился лишь на 1% [4]. С 12 мая 2020 года, после ослабления карантина, тенденция к снижению потребления электроэнергии несколько приостановилась. Однако увеличение потребления является несущественным и связано преимущественно со снижением температуры воздуха - более чем 3°С от показателя аналогичного периода 2019 [4].

По сравнению с маем 2019 года, среднесуточное потребление электроэнергии уменьшилось на 4,9%. В мае наибольший спад показали транспортный сектор - 27%, машиностроительная отрасль - 18,1%, коммунально-бытовые предприятия - 14,8%, пищевая и перерабатывающая промышленность - 8,4%, металлургия - 8,1% [4]. При этом потребление электроэнергии населением выросло на 6,2%, а в секторе химической промышленности произошло увеличение потребления на 10%. В июне общее среднесуточное потребление уменьшилось на 6,6% [4].

По итогам пяти месяцев 2020 года, наибольшее снижение потребления произошло в машиностроительном секторе - на 19% [4]. Химическая и металлургия показали рост - на 16,8% и 10,8% соответственно. В транспортном секторе в январе-мае потребление электроэнергии сократилось на 7,8%. Больше нарастил потребление населения - на 19,8% [4]. Как отмечают в ОСП, во время карантина утренний пик потребления сместился с 9:00 на 10:00, а иногда - и на 11 часов. При этом показатель утреннего пика снизился больше другие показатели. Если за неделю до карантина в рабочие дни утренний пик потребления составлял 18,5-19 ГВт, то сразу после введения строгих карантинных мероприятий он уменьшился на 3,2 ГВт [4].

По данным ОСП известно, что основная причина уменьшения утреннего пика - отсутствие традиционного увеличения потребления утром, когда начинают работу офисы и магазины. Служащие перестали массово приходить утром в офисы, также утром работало меньше общественного электротранспорта [4]. Вечерний пик, который является самым высоким показателем потребления, за сутки до начала карантина составлял 19,2-19,6 ГВт. К концу апреля он уменьшился примерно на 2 ГВт до 17,8 ГВт, а 12-14 мая - до 16,3-16,8 ГВт [4]. На рисунке 1 приведены суточное потребление ЭЭ периода с жесткими карантинными мероприятиями и по сравнению с аналогичными периодами в 2019 и 2018 годах.

Вместе с тем, в период с 2019 по 2020 год установленная мощность возобновляемых источников энергии увеличилась почти в три раза, в 2019 году установленная мощность составляла 2,13 ГВт. На 1 января 2020 года - 6,38 ГВт. Также производители «зеленой» энергии в Украине не несут ответственности за небалансы в энергосистеме, а это прерогатива ОСП. В 2020 году проблема небалансов в энергосистеме становится еще острее, как видно с анализа, ситуацию также усложняет влияние пандемии на энергетический сектор. В данных условиях для корректного решения этой проблемы необходим надежный методологический инструмент, который позволит учитывать случайность процесса пандемии.

Важно отметить, что социальное явление такое как пандемия в первую очередь влияет на бытовую группу потребителей, через переход большинства работающего населения на удаленный режим работы. А это свою очередь влияет и на другие группы потребителей, такие как транспорт, производство, учебные заведения и др. Поэтому исходя из анализа потребления и изменения в группах потребителей можно сделать вывод, что в формировании спроса на электрическую энергию имеет место фактор случайности. Также поставленная задача важна еще потому, что в энергосистеме страны практически отсутствует регулирующая возможность, поэтому при появлении пандемии и снижению потребления важно решить задачу прогнозирования и учесть фактор случайности.

Метод Байеса для решения проблемы прогнозирования спроса с использованием экспертных оценок. Поскольку мы рассматриваем ретроспективные данные электрического потребления страны и целом и отдельно групп потребителей, то имеет место некоторая неопределенность. Также в данном исследовании мы рассматриваем социальный фактор влияния на временной ряд потребления электрической энергии, а именно фактор пан-

демии. Данный фактор может быть выражен, как лингвистическими характеристиками, так и в виде шкалы, также вносит элемент неопределенности, при его включении в прогнозную модель. Так как влияние социального фактора такого, как карантин населения достаточно трудно учесть, то принято решение использовать метод прогнозирования с привлечением экспертов.

Метод Байеса основывается на так называемом экспертном оценке [10], которая применяется в тех случаях, когда ретроспективные данные отсутствуют, или их количество недостаточно для проведения формального анализа. Оценки экспертов носят субъективный характер, поскольку выполняются людьми. Влияние такого социального явления, как любая пандемия трудно обобщить для разработки рекомендаций при дальнейшем решении задачи прогнозирования спроса на ЭЭ. В 2020 году тотальный локдаун по-разному повлиял на потребление различных регионов и городов. Скажем в городе Киеве остановка общественного транспорта существенно повлияла на потребление по секторам экономики и на потребление города в целом. В небольших населенных пунктах такая мера, как остановка транспорта не существенно повлияет на уровень потребления города в целом. Поэтому при учете фактора пандемии в задаче прогнозирования спроса на ЭЭ необходимым этапом является экспертная оценка влияния социального фактора.

Важной проблемой при определении прогнозных оценок спроса является учет быстро меняющихся факторов, формирующих сам спрос. Решение данной проблемы особенно важно в условиях нестабильной экономической ситуации в стране. Поэтому в качестве метода прогнозирования решено использовать байесовский подход, основным преимуществом которого является возможность использования коротких временных рядов спроса на электроэнергию.

Подход Байеса сочетает в себе три основных момента:

- параметр исследуемой модели является случайным и может быть трактован как в общепотребительном смысле, так и в смысле неопределенности. Случайном параметра соответствует априорное распределение;
- результаты наблюдения и априорные распределения объединяются теоремой Байеса с целью получения апостериорного распределения параметра;
- статистический вывод осуществляется исходя из максимизации полезности, в частности с минимизацией потерь связанных с использованием данного правила.

Использованию Байесовского подхода посвящены, например, работы [6-10] и к преимуществам при решении задачи прогнозирования спроса можно отнести:

- возможность включить ретроспективные данные спроса и сформировать предварительное распределение для дальнейшего анализа. Когда появляются новая информация о спросе, предыдущий апостериорный распределение можно использовать как априорный;
- также данный метод рекомендуется использовать при малых выборках данных и в случаях, когда имеет место неопределенность.

К недостаткам можно отнести:

- объемность расчетов;
- отсутствие обоснованного способа определения априора. Байесовские методы требуют навыков перевода субъективных априорных убеждений в математически сформулирован априорные.

Для решения задачи прогнозирования спроса на электрическую энергию производится прогнозирование факторов, входящих в состав временного ряда спроса, блок-схема метода приведена на рисунке 3.

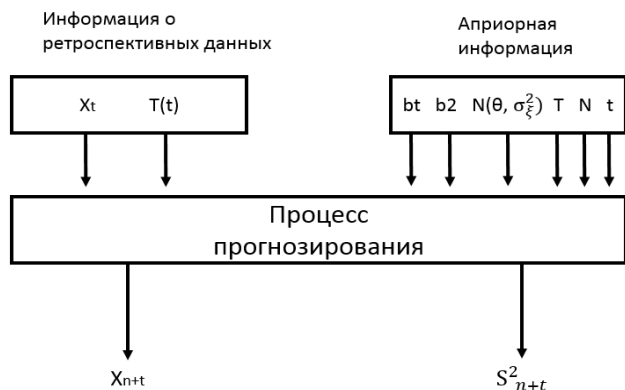


Рис. 2. Блок-схема метода прогнозирования с использованием байесовский подход.

Процедура прогнозирования спроса с использованием байесовский подход является одним из подходов, который обеспечивает учет такого элемента, как персональный опыт и включение лица, принимающего решение. На первом этапе процедуры исходная априорное оценка принимается на основе опыта, предварительного учета тенденции изменения кривой спроса за счет оценки факторов влияния. На втором этапе используется информация о потреблении электрической энергии и априорная оценка корректируется. При прогнозировании спроса предполагаемая оценка θ задается распределением вероятности $h(\theta)$, которая в дальнейшем будет уточнена при наличии фактических данных спроса. Это распределение вероятности отражает субъективную информацию или «уровень доверия» по отношению к θ . В случае уверенности в величине θ значение дисперсии избирается меньше, в противном случае - больше.

Исходной априорной информации является ретроспективные данные ежемесячного о потреблении электрической энергии в течение 2020 (рис. 16). Для расчета нужно задать исходные величины. Из анализа данных потребления 2020 года эксперт на основе анализа карантина и цвета зоны делает выводы относительно возможного влияния социального фактора на уровень потребления.

При этом для формирования своего суждения эксперт использует основные характеристики графика электрической нагрузки (ГЕН) $P(t)$. ГЕН энергосистемы относится к классу нестационарных случайных процессов. Случайность процесса определяется в основном изменениями в режимах работы самой энергосистеме и различных социальных процессов. Периодичность обусловлена повторяющимся характером потребления энергии с периодами равными месяцу. ГЕН энергосистемы имеет, как правило, характерную форму и при этом выделяют ярко выраженных пик осенью-зимний и спад – весной-летний. Месячные графики нагрузки можно четко выделить постоянную и переменную части. Анализ исторических аспектов данной информации дает возможность эксперту сформировать видение о ф возможных тенденциях.

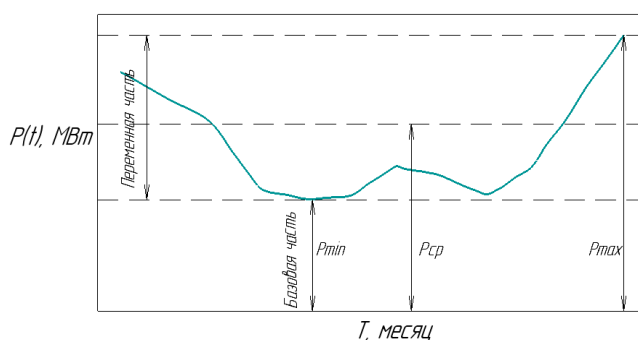


Рис. 3. Характеристика и форма графика электропотребления.

Результаты и их обсуждение. В качестве оценки качества прогнозирования на каждом шагу используем показатель MAPE.

Из результатов исследования (рис. 4) можно сделать вывод, что погрешность метода прогнозирования находится в приемлемых границах. В данном исследовании рассматривался не полный спектр решения задач прогнозирования спроса на ЭЭ, для дальнейшего исследования можно включить вопросы улучшения качества экспертной оценки для повышения точности прогнозирования. Для этого можно создать внутри самого алгоритма шкалу факторов или перечень факторов, влияющих на пандемию, которые могут потенциально влиять на уровень спроса ЭЭ в условиях распространения вирусной инфекции.

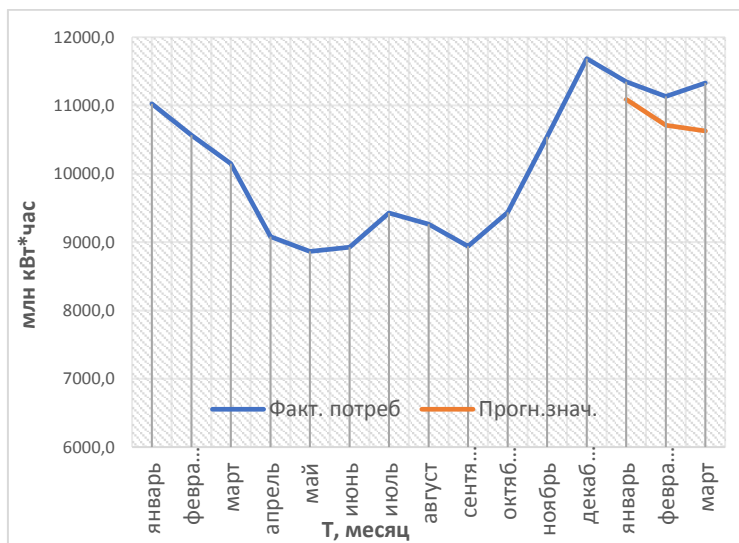


Рис. 4. Результаты прогнозирования.

Также в дальнейшем исследовании можно рассматривать решения поставленной задачи только на региональном уровне и также с разработкой соответствующей шкалы или перечня факторов для повышения качества экспертной оценки.

Выводы. По результатам анализа установлено, что фактор случайности, который формируют такие социальные явления, как пандемия существенно влияют на процесс формирования спроса на электрическую энергию.

Так как фактор случайности такого процесса как пандемия невозможно выразить в математической форме, то предложено учесть влияние данного фактора с привлечением экспертной оценки в процесс прогнозирования спроса.

Разработанна модель Байеса для прогнозирования спроса на электрическую энергию с использованием оценки эксперта, которая позволила использовать короткие временные ряды ретроспективных данных потребления электрической энергии и учесть неопределенность социального фактора влияния пандемии в процессе формирования спроса на электрическую энергию.

Расчеты проводились с использованием экспертных оценок, проводимых на основе оценки жесткости карантина и цвета зоны, действовавших в стране. Глубина обработки экспертной оценки также влияет на погрешность прогнозирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рихліський В., Лічильники на карантині: як коронавірус вплинув на споживання електроенергії, 2020, Дата обращения 24.02.2021
<https://www.epravda.com.ua/publications/2020/07/7/662632/>
2. G. Morva and I. Diahovchenko, Effects of COVID-19 on the electricity sectors of Ukraine and Hungary: challenges of energy demand and renewables integration, 2020 IEEE 3rd International Conference and Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE), 2020, pp. 41-46.
3. M. Czosnyka, B. Wnukowska and K. Karbowa, Electrical energy consumption and the energy market in Poland during the COVID-19 pandemic, Progress in Applied Electrical Engineering (PAEE), 2020 pp. 1-5.
4. D. Agdas and P. Barooah, Impact of the COVID-19 Pandemic on the U.S. Electricity Demand and Supply: An Early View From Data, IEEE Access, vol. 8, 2020, pp. 151523-151534.
5. F. Carere, T. Bragatto and F. Santori (2020), A Distribution Network during the 2020 COVID-19 Pandemic, AEIT International Annual Conference (AEIT), 2020, pp. 1-6.
6. P. T. T. Binh, T. T. T. Loan and T. Q. D. Khoa, Application of hidden Markov and Bayes for demand forecasting, IEEE Power India Conference, 2006, pp. 5.
7. F. - Kuo, Combining expert systems and the Bayesian approach to support forecasting, Proceedings of the Twenty-First Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Volume III., 1998, pp. 174-180.
8. M. V. de Barros, O. Possamai, L. Veriano Oliveira Dalla Valentina and M. A. de Oliveira, Analysis of time to market complexity: A case study of application of Bayesian networks as a forecasting tool, International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM), 2015, pp. 1197-1204.
9. D. Vu, A combination model based on a neural network autoregression and Bayesian network to forecast for avoiding brown plant hopper, International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC), 2015, pp. 220-225.
10. S. Zhou, W. Fan and J. Wu, Prediction of probable Tuna fishing grounds based on Bayesian theorem, International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence, 2009, pp. 156-162.

REFERENCES

1. Rychlitsky V., Quarantine meters: how the coronavirus affected electricity consumption, 2020, Date of application 24.02.2021
<https://www.epravda.com.ua/publications/2020/07/7/662632/>

Using the Bayesian Approach to Forecasting Electricity Demand Taking into Account the Impact of Social Processes in Ukraine D. V. Yatsenko, V. A. Popov, A. I. Zamulko, O. V. Adanikov

Abstract. The influence of such a social factor as a pandemic on the formation of demand for electric energy in Ukraine has been substantiated based on the analysis of literary sources. A significant impact of this factor on the consumption of electric energy in the country as a whole and on the distribution of consumption between sectors of the economy was revealed, which is confirmed by statistical data. In addition, it was noted that the tightening of quarantine measures affects the level of electricity consumption. There is a redistribution of consumption between consumer groups, especially between a part of office consumers and the household sector. It was also noted that the closure of public transport and other restrictions affecting the lifestyle of the population lead to characteristic changes in the consumption of electrical energy. A model has been developed for forecasting the demand for electrical energy, taking into account the factor of pandemics, based on expert assessments using the Bayesian approach.

Keywords: electricity demand, forecasting, power system, Bayesian method, Covid-19, expert opinion.