

УДК 622.276:621.31:519.23

DOI: 10.15593/2224-9397/2020.3.10

**Д.В. Гилев, Д.К. Елтышев**Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, Россия

## **РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕДОБЫЧИ**

Развитие экономики страны ориентировано на внедрение приоритетных технологий, в том числе обеспечивающих высокую энергетическую эффективность производственных объектов. Эффективность добычи нефти предполагает комплексный учет факторов, влияющих на электропотребление объектов нефтедобычи, включая способы эксплуатации и обслуживания оборудования, технологические режимы работы, различные физико-географические, климатические и другие условия их функционирования. Для оценки влияния климатических факторов целесообразно использовать методы математического моделирования, позволяющие проводить анализ текущих данных о состоянии объекта и выявлять наиболее критические показатели, которые следует учитывать при прогнозировании электропотребления и планировании технологического процесса нефтедобычи. **Цели:** формирование и апробация методики оценки влияния климатических факторов на электропотребление объектов нефтедобычи с использованием имеющейся статистической информации об их функционировании. **Методы:** регрессионный анализ статистических данных о работе нефтяных месторождений, включая данные о конфигурации системы электроснабжения, о существующих потребителях электроэнергии и объемах потребления, режимах работы объектов, а также данные метеорологических служб. **Результаты:** на основе анализа особенностей эксплуатации нефтяных месторождений предложена процедура оценки влияния климатических факторов на его электропотребление, основанная на применении регрессионного анализа и формализации аналитических зависимостей потребления от различных климатических факторов с учетом детализации структуры объекта, изменения режимов его работы, сезонности. Сформированы рекомендации касательно формирования и обработки исходных для анализа данных. Проведена практическая апробация методики на примере нефтяного месторождения, расположенного на территории Пермского края. Описана процедура повышения объективности результатов регрессионного анализа и получены аналитические зависимости электропотребления от метеорологических факторов температуры, давления, влажности воздуха и скорости ветра. **Практическая значимость:** методика является универсальной и может быть применена на типовых объектах, а также в смежных отраслях промышленности. Разрабатываемые аналитические зависимости позволяют учитывать влияние ключевых климатических факторов на электропотребление объектов нефтедобычи, что может быть важным этапом при планировании и управлении режимами работы объектов для улучшения показателей экономической эффективности процесса нефтедобычи.

**Ключевые слова:** регрессионный анализ, повышение энергетической эффективности, энергосбережение, электропотребление, климатические факторы, нефтяное месторождение, электрооборудование.

**D.V. Gilev, D.K. Eltyshv**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

## **REGRESSION ANALYSIS OF THE CLIMATIC FACTORS INFLUENCE ON THE ELECTRIC CONSUMPTION OF OIL PRODUCTION FACILITIES**

The development of the country's economy is focused on the priority technologies, including those that ensure high energy efficiency of production facilities. The oil production efficiency presupposes a complex consideration of factors affecting the power consumption of oil production facilities, including methods of equipment operation and maintenance, technological modes of operation, various physical, geographical, climatic and other conditions of their functioning. To assess the influence of climatic factors, it is advisable to use mathematical modeling methods that allow to analyze the current data on the facility condition and identify the most critical indicators that should be taken into account when predicting electricity consumption and planning the oil production process. **Purpose:** formation and testing of a methodology for assessing the influence of climatic factors on the oil production facilities power consumption using the available statistical information on their functioning. **Methods:** regression analysis of statistical data on the oil fields operation, including data on the power supply system configuration, existing electricity consumers and consumption volumes, operating modes of facilities, as well as data from meteorological services. **Results:** based on the analysis of the peculiarities of the oil fields operation, a procedure for assessing the influence of climatic factors on its power consumption was proposed. The method is based on the use of regression analysis and formalization of analytical dependences of consumption on various climatic factors, taking into account the detailing of the object structure, changes in its operating modes and seasonality. Recommendations regarding the formation and processing of the initial data for analysis have been formed. Practical testing of the method on the example of an oil field located in the Perm region has been carried out. The procedure for increasing the objectivity of the regression analysis results is described and analytical dependences of power consumption on meteorological factors of temperature, pressure, air humidity and wind speed were obtained. **Practical relevance:** the method is universal and can be applied at typical facilities, as well as in related industries. The developed analytical dependencies allow taking into account the influence of key climatic factors on the oil production facilities power consumption, which can be an important stage in planning and managing the operating modes of facilities to improve the oil production process economic efficiency.

**Keywords:** regression analysis, energy efficiency improvement, energy saving, electricity consumption, climatic factors, oil field, electrical equipment.

**Введение.** На текущий момент задачи повышения энергетической эффективности объектов гражданского и промышленного сектора формируют одно из приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации. В перечне критических технологий России данное направление представлено кроме прочего технологиями построения энергосберегающих систем, связанных с распределением и использованием электрической энергии. Предполагается, что их реализация способствует развитию национальной технологической инициативы в части создания эффективных систем распределенной генерации (SmartGrid, MicroGrid) или интеллектуальных энергетических систем, позволяющих сформировать единую энергоинформационную инфра-

структуру, объединяющую поставщиков и потребителей электроэнергии, организации сервисного обслуживания оборудования и т.д. на базе различных информационно-аналитических, информационно-диагностических и информационно-управляющих решений [1–6].

Нефтеперерабатывающая промышленность оказывает огромное влияние на экономическую ситуацию в стране [7], поэтому формирование технологий, методов и инструментов управления энергопотреблением объектов нефтедобычи, включая внедрение средств анализа данных и интеллектуальной поддержки принятия решений, относится к актуальной научно-практической задаче [8, 9].

На практике повышение энергоэффективности нефтяных месторождений можно отследить через увеличение добычи нефти при неизменном электропотреблении или через неизменные показатели добычи при сокращении потребления энергии. Очевидно, что данные задачи являются многофакторными, поскольку на эффективность использования энергии влияют не только оптимальные проектно-конструкторские решения, но и способы эксплуатации и обслуживания оборудования, осуществление технологических процессов в номинальных режимах работы, а также внешние факторы, в том числе физико-географические, климатические и т.д.

К примеру, необходимость точного и полного учета влияния метеорологического фактора (температура воздуха, влажность воздуха, атмосферное давление, скорость ветра и т.д.) при работе месторождения и управления режимами работы оборудования связана с изменением структуры потребления (увеличение доли бытовой нагрузки) и с возможностью влияния аномальных отклонений погодных условий на нагрузку энергосистемы. Поэтому данная задача рассматривается как весьма значимая.

Оценка влияния климатических факторов может быть осуществлена с применением методов математического моделирования, позволяющих проводить анализ текущих данных о состоянии объекта и выявлять наиболее критические показатели, которые следует учитывать при прогнозировании электропотребления и планировании технологического процесса нефтедобычи [10, 11]. Использование для таких целей эмпирических или расчетно-аналитических методов является малоэффективным, поскольку не позволяет оперативно проводить соответствующую оценку и адаптироваться к изменениям реальных данных [12, 13]. Вероятностное моделирование графиков нагрузки предполагает изуче-

ние вероятностного характера последовательных случайных изменений суммарной нагрузки групп электропотребителей во времени и основано на теории случайных процессов, с помощью которой получают авто (взаимно) корреляционную функцию, авторегрессию и другие параметры. Исследование графиков работы отдельно взятого электрооборудования, цехов, предприятия позволяет использовать данный метод при управлении режимами электропотребления и выравнивания графиков нагрузки [12–15]. Одним из наиболее распространенных методов анализа и прогнозирования электропотребления является регрессионный анализ, который дает возможность сформировать аналитическое выражение связи электропотребления и ключевых влияющих факторов в виде математической функции, а также оценить степень влияния данных факторов на итоговый результат [10–13]. Тем не менее, учитывая сложную структуру нефтяных месторождений, особенности технологического процесса, их разнородность по составу электропотребителей и конфигурации сети, необходима соответствующая методика анализа влияния климатических факторов, адаптированная к специфике исследуемого объекта. Подобная методика может рассматриваться как важный шаг к построению комплексных систем управления состоянием электрооборудования или энергетическими показателями предприятий (систем энергетического менеджмента) [9, 15–18].

**Методика регрессионного анализа влияния климатических факторов на электропотребление.** Регрессионный анализ является одним из наиболее широко используемых статистических методов для исследования или оценки взаимосвязи между зависимыми и набором независимых объясняющих переменных [12, 13, 19]. Использование регрессионного анализа дает множество преимуществ, позволяя указать на существенные связи между зависимой и независимой переменной, а также на силу воздействия (степень влияния) нескольких независимых переменных на одну зависимую.

Линейная регрессия устанавливает связь между зависимой переменной  $Y$  (величиной электропотребления) и одной или несколькими независимыми переменными  $X=(x_1, \dots, x_n)$ , характеризующими специфику работы объекта, с помощью наиболее подходящей прямой линии и определяется уравнением:

$$Y = b \cdot X + a + \varepsilon, \quad (1)$$

где  $Y$  – зависимая переменная;  $b$  – угловой коэффициент;  $a$  – константа;  $\varepsilon$  – отклонение.

Проведение регрессионного анализа требует формализации указанной функциональной зависимости, включая выбор ключевых факторов (независимых переменных), а также описание последовательной процедуры анализа с учетом особенностей исследуемого объекта.

Цели работы – формирование и реализация методики регрессионного анализа влияния климатических факторов на электропотребление объектов нефтедобычи с использованием имеющейся статистической информации об их функционировании.

Очевидно, что важным шагом использования методики является анализ данных потребления, что требует наличия на объекте системы мониторинга энергоресурсов. Для формирования более объективной картины электропотребления информацию необходимо знать на каждом этапе работы исследуемой системы. В идеальном варианте важно знать значение электропотребления в каждом узле принципиальной электрической схемы, что позволит, во-первых, исследовать каждый вид оборудования в отдельности, во-вторых, фиксировать по величине электропотребления возможную внештатную ситуацию и понимать, какое именно оборудование работает некорректно. В общем случае для проведения анализа следует знать потребление всей исследуемой системы. Стоит отметить, что оценка климатических факторов будет объективна тогда, когда режим работы оборудования остается неизменным, это следует учесть при анализе имеющихся на месторождении данных по потреблению электроэнергии.

Для получения данных по мониторингу климатических условий могут быть использованы следующие рекомендации. Если объект исследования расположен на территории города или вблизи больших населенных пунктов, тогда данные о погоде можно брать с привязкой к этой территории. Если же вблизи объекта нет населенных пунктов, то следует использовать портативную метеостанцию для мониторинга и записи метеорологических данных, что позволит сделать исследование даже более объективным.

При формализации функции (1) в качестве зависимой переменной может выступать любого рода потребление, например: реактивная мощность, активная мощность, электропотребление отдельно взятого вида оборудования и т.д. Главное требование – чтобы эти данные были представлены на протяжении длительного периода времени и с минимальным дискретом времени в один день.

В качестве независимой переменной в данном исследовании предлагается рассматривать климатические факторы, такие как температура воздуха, влажность воздуха, давление, ветер и т.д. Важно, чтобы данные о погодных условиях и потреблении соответствовали друг другу по временному периоду (по дискрету и объему выборки).

Основные шаги для проведения регрессионного анализа представлены в виде блок-схемы (рис. 1).

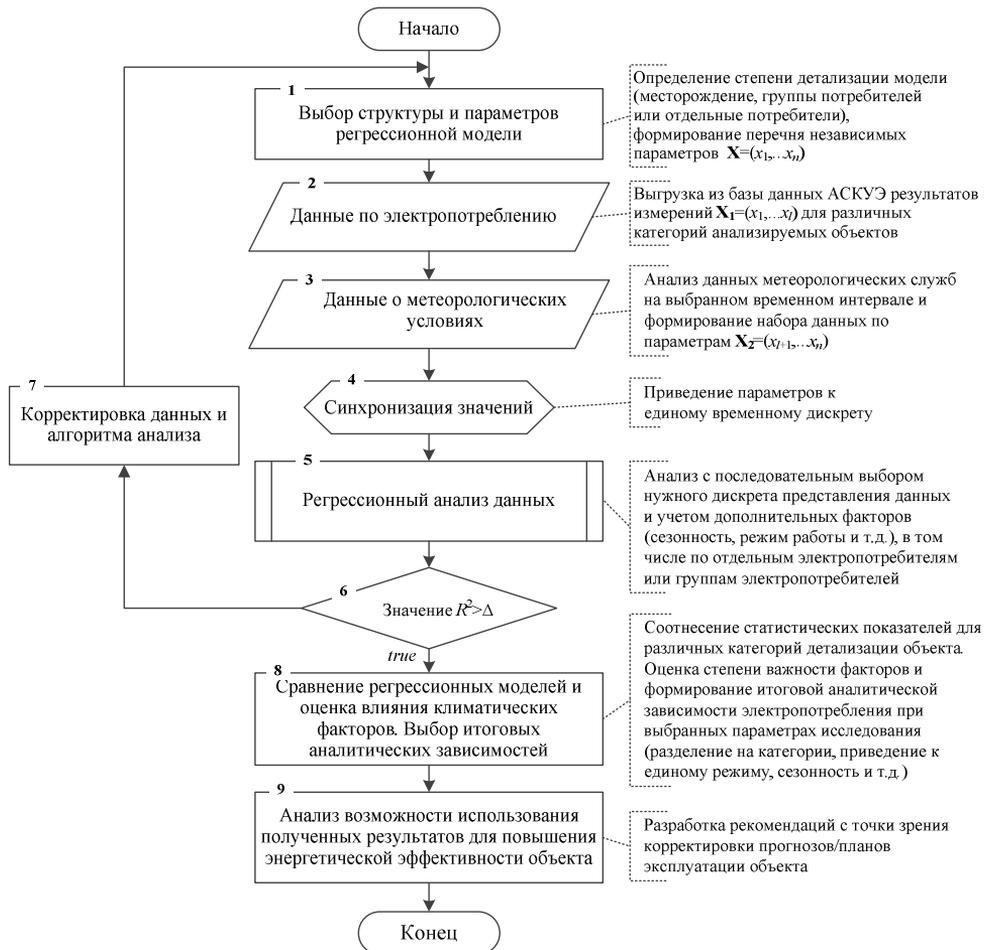


Рис. 1. Обобщенная блок-схема методики оценки влияния климатических факторов при различных вариантах представления исходных данных

Особенностью предлагаемой методики является то, что она позволяет учитывать разные особенности работы объектов нефтедобычи, включая структуру электропотребителей, режимы их работы, сезон-

ность и т.д. Таким образом, процедура анализа (блок № 5) является поэтапной с возможностью изменения (блок № 7) структуры исходных данных с учетом указанных выше особенностей, а также самой процедуры анализа (блоки № 1–3). Данные по различным показателям должны быть синхронизированы (блок № 4). Успешным результатом анализа (блок № 6) является соответствие коэффициента детерминации  $R^2$  установленному порогу  $\Delta$ .

**Исследование методики.** Апробация методики оценки влияния климатических факторов производилась на примере месторождения добычи нефти им. Сухарева, расположенного на территории г. Березники Пермского края.

В процессе анализа существующей системы электроснабжения объекта и особенностей его работы были сделаны некоторые допущения. Учитывая весьма разветвленный характер системы электроснабжения, обусловленный наличием большого количества потребителей, было решено пренебречь потребителями, которые оказывают минимальное влияние на итоговое электропотребление (коммутационные аппараты, такие как автоматические выключатели и линейные разъединители, а также ограничители перенапряжения, измерительные приборы, система релейной защиты и автоматики).

Для проведения регрессионного анализа использовалась выборка данных об электропотреблении месторождения за период с ноября 2017 по февраль 2019 г., полученных с функционирующих на объекте автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ). Из выбранного диапазона значений исключены данные за те промежутки времени, когда система учета некорректно записывала значения электропотребления либо вообще не записывала их.

Все данные с АСКУЭ представляют собой показания потребления активной  $P$  (Вт) и реактивной  $Q$  (Var) мощности с каждой КТП. Полная мощность  $S$  (ВА) вычислялась, используя стандартное выражение:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (2)$$

Весь набор данных был разделен на части в соответствии с показаниями с отдельных комплектных трансформаторных подстанций

(КТП), что позволяет проводить оценку по отдельным крупным узлам системы электроснабжения.

Данные, изначально записанные системой АСУКУЭ с интервалом в 30 минут (ежедневно), были сгруппированы посуточно для удобства построения регрессионной модели (в том числе учитывая связь с данными метеорологических служб).

Данные о погодных условиях формировались в соответствии с информацией, представленной метеорологическими службами для территории города Березники, включая следующие показатели: среднесуточная температура ( $x_1$ ), средняя влажность воздуха ( $x_2$ ), атмосферное давление ( $x_3$ ) и скорость ветра ( $x_4$ ).

Фрагмент выборки данных для проведения регрессионного анализа после сведения информации приведен в таблице.

Фрагмент выборки данных на примере КТП 03

Канал измерения / время	КТП-03 (A+)	КТП-03 (R+)	Полная мощность	Среднесуточная температура, °С	Средняя влажность, %	Атмосферное давление	Скорость ветра, м/с
01.11.2017	65,47	32,03	72,89	0,75	94	723	4
02.11.2017	65,57	32,83	73,33	-0,75	91,5	730	4
03.11.2017	61,28	31,62	68,96	-1	90,86	739	4
04.11.2017	61,25	31,10	68,69	-1,38	87,88	746	3
05.11.2017	61,02	30,91	68,41	-2	88,38	749	3

Для построения моделей использованы средства MS Excel [20] и адаптированный алгоритм обработки данных. Исследование проводилось в несколько этапов. В качестве ограничения принималось значение коэффициента детерминации  $R^2$  не менее 0,5.

1. Регрессионный анализ влияния климатических факторов на малой и расширенной выборке. В рамках первого этапа изучены результаты эксперимента по всем КТП и получены неудовлетворительные значения коэффициента детерминации ( $R^2$  для некоторых КТП не превысил 0,3), в результате чего составлен план дальнейших действий по увеличению точности исследования. Результаты не учитывают сезонность, наличие внештатных ситуаций, проведение ремонта и технического обслуживания оборудования и т.д.

2. Регрессионный анализ влияния климатических факторов с разбиением на зимний и летний период. Разбиение осуществлялось на летний и зимний периоды с целью учета различий в объемах электроэнергии, требуемой на собственные нужды месторождения, а также влияния перепадов температуры на режим работы электрооборудования. В частности, для КТП 03 обнаружено повышение показателя  $R^2$  для летнего периода до 0,55 при стандартной ошибке менее 0,05. При этом по некоторым КТП изменений не произошло, а применительно к зимнему периоду наблюдалось снижение показателей, что во многом свидетельствует о незначительном влиянии климатических факторов в сравнении с режимами работы оборудования. Также было установлено незначительное влияние на величину  $Y$  фактора ветра.

3. Регрессионный анализ влияния климатических факторов с выбором режима работы. Для объективности исследования важно, чтобы режим работы оборудования на месторождении оставался одинаковым для каждого набора данных, что позволит оценивать влияние на изменение потребления именно климатических параметров (в обратном случае можно утверждать, что изменение показателей зависит в большей части от режима работы электрооборудования, а не от погодных условий). Для этих целей было получено среднее значение полной мощности и отобраны те дни, в которые показания для КТП не отклонялись от среднего значения более чем на 10–15 %.

При нахождении среднего значения полной мощности учитывалась сезонность (разбиение данных на летний и зимний период). В результате преобразования объем выборки сократился практически на 50 % для зимнего периода и на 35 % для летнего. Значения  $R^2$  в результате расчетов увеличились до 0,65–0,7 для отдельных КТП.

Пример визуализации результатов в виде графических зависимостей параметров приведен на рис. 2.

Результаты анализа показывают, что основными показателями, оказывающими сильное влияние на потребление, являются температура и влажность воздуха (что отмечалось и на предыдущих этапах). Модель для КТП 03 оказалась наиболее показательной с точки зрения статистических критериев. Формализация функций для зимнего и летнего периодов выглядит следующим образом:

$$Y_1 = 0,21x_1 + 0,27x_2 + 0,04x_3 - 1,41x_4 + 21,07,$$
$$Y_3 = 0,47x_1 + 0,20x_2 + 0,11x_3 - 0,93x_4 - 37,31.$$

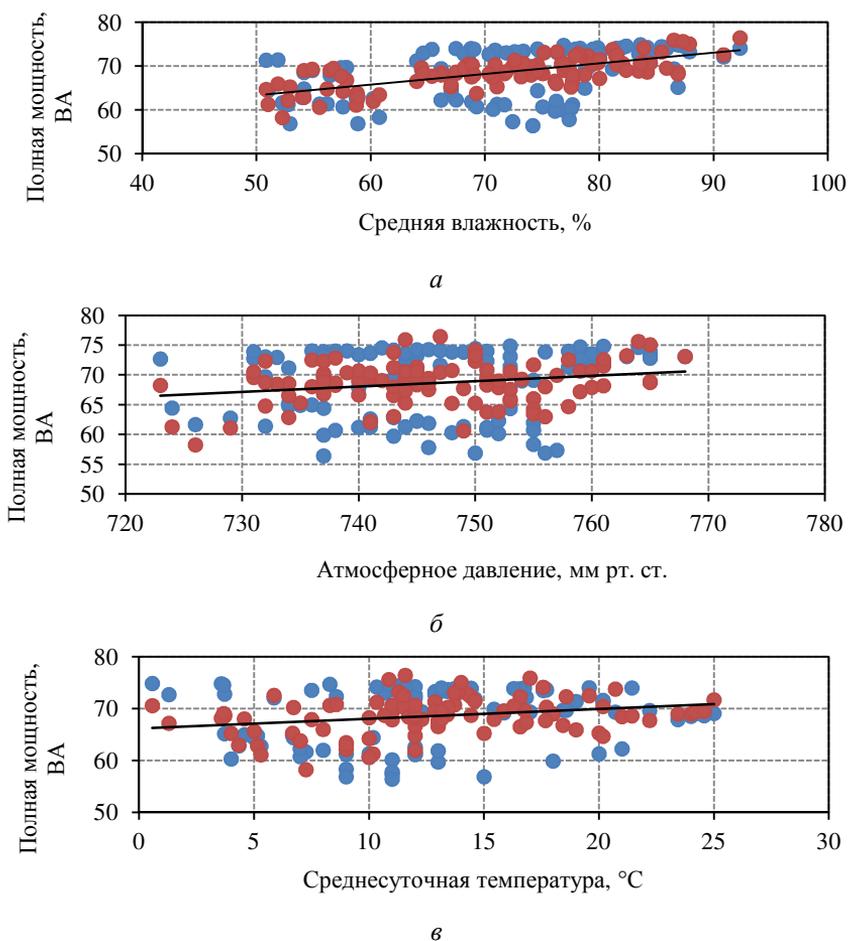


Рис. 2. Графики подбора метеорологических условий на примере КТП 03

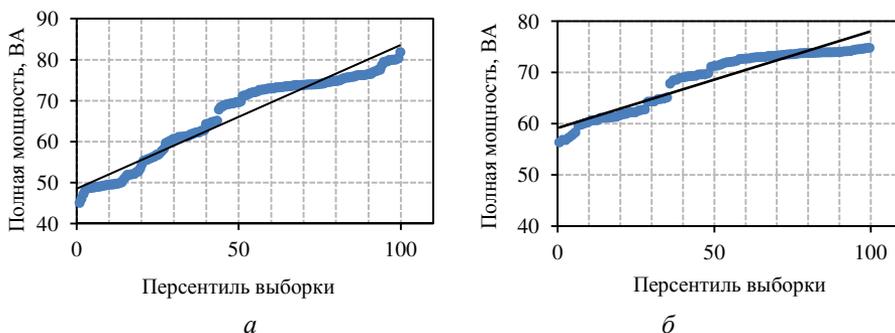


Рис. 3. Графики нормального распределения для экспериментов: разбиение на зимний и летний период, 2-й этап (а), выборка данных для усредненных значений мощности, 3-й этап (б)

Как видно из рис. 3, график последнего эксперимента очень близок к линии тренда. Это означает, что зависимость можно назвать линейной, а сам эксперимент можно считать показательным. Графики соответствия реального и модельного потребления для разных этапов исследования, из которых можно оценить изменение точности эксперимента, представлены на рис. 4.

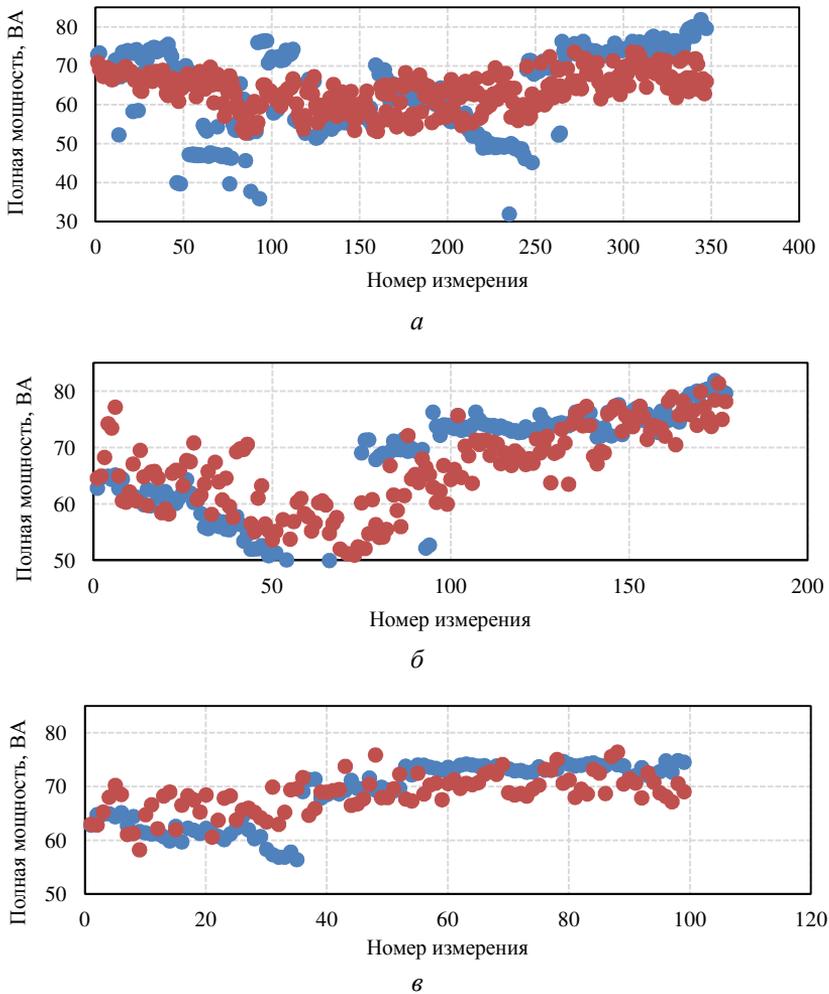


Рис. 4. Графики модельного и реального потребления (мощности) на примере КТП 03: все время – эксперимент 1 (а), летний период – эксперимент 2 (б), одинаковый период – эксперимент 3 (в)

Анализ данных по всему месторождению, без разделения на отдельные КТП, оказался непоказательным. Самым показательным оказался эксперимент, в котором поводилось разбиение данных на сезо-

ны, а также отобран схожий режим работы объекта. Показатель линейности (график нормального распределения) и график модельного и реального потребления указывают на хорошую точность модели. Таким образом, данная процедура и полученные модели могут быть рекомендованы к практическому использованию для учета влияния погодных условий.

**Выводы.** В работе рассмотрены вопросы оценки влияния климатических факторов на электропотребление объектов нефтедобычи с использованием многопараметрического регрессионного анализа. Предложенная универсальная методика может быть использована при создании аналитических моделей в указанной и смежных областях промышленности. Произведена апробация методики оценки влияния климатических факторов на электропотребление объектов нефтедобычи на примере месторождения имени Сухарева в Пермском крае. В рамках апробации путем обработки данных и последовательного увеличения точности результата сформированы аналитические модели, показавшие, что наибольшее влияние на электропотребление оказывают показатели температуры и влажности воздуха.

Полученные модели могут быть усовершенствованы при расширении объема данных (например, по отдельным видам электрооборудования), а также при расширении спектра учитываемых параметров, оценивающих, в частности, различные режимы работы оборудования, технические характеристики отдельных элементов и т.д. В этом случае, возможно, оценить степень влияния на электропотребление различных групп параметров, что требует, однако, более функциональной системы мониторинга объекта, работающей на перспективу в режиме реального времени. Наличие подобных систем на нефтяных месторождениях, позволяющих учитывать, в том числе, метеорологические параметры, является важным элементом повышения эффективности планирования и управления режимами работы объекта, что окажет прямое влияние на рентабельность добычи нефти.

### **Библиографический список**

1. Веселов Ф.В., Дорофеев В.В. Интеллектуальная энергосистема России как новый этап развития электроэнергетики в условиях цифровой экономики // Энергетическая политика. – 2018. – № 5. – С. 43–52.

2. Логинов Е.Л., Логинов А.Е. Интеллектуальная электроэнергетика: новый формат интегрированного управления в единой энергетической системе России // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2012. – Т. 8. – № 29 (170). – С. 28–32.

3. Ситников В.Ф., Скопинцев В.А. Интеллектуальная электроэнергетическая система с активно-адаптивной сетью // Электричество. – 2012. – № 3. – С. 2–7.

4. Hardware-in-the-loop Simulation of an Active-adaptive Power Grid / A.B. Petrochenkov, T. Frank, A.V. Romodin, A.V. Kychkin // Russian Electrical Engineering. – 2013. – Vol. 84. – No. 11. – P. 652–658. DOI: 10.3103/S1068371213110102

5. Елтышев Д.К. Выбор приоритетов при обслуживании, модернизации и обеспечении безопасности объектов энергетики // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2017. – № 2. – С. 5–10. DOI: 10.18635/2071-2219-2017-2-5-10

6. Елтышев Д.К. К вопросу о разработке интеллектуальной экспертно-диагностической системы для оценки состояния электротехнического оборудования // Системы. Методы. Технологии. – 2017. – № 3(35). – С. 57–63. DOI: 10.18324/2077-5415-2017-3-57-63

7. Коржубаев А.Г., Эдер Л.В. Нефтедобывающая промышленность России // Бурение и нефть. – 2011. – № 4. – С. 3–8.

8. Разработка системы поддержки управленческих решений по интеллектуальному управлению объектами нефтедобычи на месторождениях нефти и газа / А.Б. Петроченков [и др.] // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2018. – Т. 16. – № 9. – С. 59–67. DOI: 10.18127/j20700814-201809-09

9. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Разработка подходов к построению комплекса «Энергооптимизатор» // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2013. – № 4. – С. 20–25.

10. Влияние метеорологических факторов на электропотребление / Б.И. Макоклюев, Б.С. Павликов, А.И. Владимиров, Г.И. Фефелова // Электрические станции. – 2002. – № 1. – С. 26–31.

11. Модели прогнозирования потребления электроэнергии с учетом влияния метеофакторов / Г.Р. Токарева, Р.Р. Санжапов, М.В. Савенков, Д.А. Ильин // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. Управление, вычислительная техника, информатика. – 2018. – № 4. – С. 99–106. DOI: 10.24143/2072-9502-2018-4-99-106

12. Макоклюев Б.И. Анализ и планирование электропотребления. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 296 с.
13. Методы прогнозирования электропотребления в распределительных сетях (обзор) // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. – 2016. – Т. 3. – № 1. – С. 3–23.
14. Kychkin A.V., Mikriukov G.P. Applied data analysis in energy monitoring system // Problems of the Regional Energetics. – 2016. – Vol. 2(31). – P. 84–92.
15. Кычкин А.В., Микрюков Г.П. Метод обработки результатов мониторинга группы энергопотребителей // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2016. – № 6. – С. 9–14. DOI: 10.18635/2071-2219-2016-6-9-14
16. Eltyshv D.K., Kostygov A.M. Intelligent diagnostic control and management of the condition of electrotechnical equipment // Russian Electrical Engineering. – 2019. – Vol. 90. – No. 11. – P. 741–746. DOI: 10.3103/S1068371219110038
17. Кычкин А.В., Хорошев Н.И., Елтышев Д.К. Концепция автоматизированной информационной системы поддержки энергетического менеджмента // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2013. – № 5. – С. 12–17.
18. Елтышев Д.К. Многокритериальный анализ решений в интеллектуальных системах оценки и управления состоянием энергетического оборудования // Информатика и системы управления. – 2018. – № 2 (56). – С. 96–107. DOI: 10.22250/isu.2018.56.96-107
19. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: – 3-е изд. – Диалектика, 2017. – 912 с.
20. Карлберг К. Регрессионный анализ в Microsoft Excel. – М.: Диалектика, 2019. – 400 с.

## References

1. Veselov F.V., Dorofeev V.V. Intellektual'naia energosistema Rossii kak novyi etap razvitiia elektroenergetiki v usloviiakh tsifrovoi ekonomiki [Intelligent energy system of Russia as a new stage in the development of the electric power industry in the digital economy]. *Energeticheskaiia politika*, 2018, no. 5, pp. 43-52.

2. Loginov E.L., Loginov A.E. Intellektual'naia elektroenergetika: novyi format integrirovannogo upravleniia v edinoi energeticheskoi sisteme Rossii [Intelligent power industry: a new format of integrated management in the unified energy system of Russia]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'*, 2012, vol. 8, no. 29(170), pp. 28-32.

3. Sitnikov V.F., Skopintsev V.A. Intellektual'naia elektroenergeticheskaiia sistema s aktivno-adaptivnoi set'iu [Intelligent electric power system with active adaptive grid]. *Elektrichestvo*, 2012, no 3, pp. 2-7.

4. Petrochenkov A.B., Frank T., Romodin A.V., Kychkin A.V. Hardware-in-the-loop Simulation of an Active-adaptive Power Grid. *Russian Electrical Engineering*, 2013, vol. 84, no. 11, pp. 652–658. DOI: 10.3103/S1068371213110102

5. Eltyshev D.K. Vybor prioritetrov pri obsluzhivanii, modernizatsii i obespechenii bezopasnosti ob"ektov energetiki [Priority ranking for maintenance, renovation, and ensuring security of power facilities]. *Energobezopasnost' i energosberezhenie*, 2017, no. 2, pp. 5-10. DOI: 10.18635/2071-2219-2017-2-5-10

6. Eltyshev D.K. K voprosu o razrabotke intellektual'noi ekspertno-diagnosticheskoi sistemy dlia otsenki sostoianiia elektrotekhnicheskogo oborudovaniia [To the question of developing intelligent expert-diagnostic system for assessing the electrical equipment condition]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2017, no. 3(35), pp. 57-63. DOI: 10.18324/2077-5415-2017-3-57-63

7. Korzhubaev A.G., Eder L.V. Neftedobyvaiushchaia promyshlennost' Rossii [Oil industry in Russia]. *Burenie i neft'*, 2011, no. 4, pp. 3-8.

8. Petrochenkov A.B. et al. Razrabotka sistemy podderzhki upravlencheskikh reshenii po intellektual'nomu upravleniiu ob"ektami neftedobychi na mestorozhdeniiakh nefti i gaza [Development of a management decision support system for intelligent control of oil production facilities in oil and gas fields]. *Informatsionno-izmeritel'nye i upravliaiushchie sistemy*, 2018, vol. 16, no.9, pp. 59-67. DOI: 10.18127/j20700814-201809-09.

9. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Razrabotka podkhodov k postroeniiu kompleksa "Energooptimizator" [Development of approaches to building the Energooptimizer complex]. *Elektro. Elektrotehnika, elektroenergetika, elektrotekhnicheskaiia promyshlennost'*, 2013, no. 4, pp. 20-25.

10. Makokliuev B.I., Pavlikov B.S., Vladimirov A.I., Fefelova G.I. Vliianie meteorologicheskikh faktorov na elektropotreblenie [Influence of

meteorological factors on power consumption]. *Elektricheskie stantsii*, 2002, no. 1, pp. 26-31.

11. Tokareva G.R., Sanzhapov R.R., Savenkov M.V., Il'in D.A. Modeli prognozirovaniia potrebleniia elektroenergii s uchetom vliianiia meteofaktorov [Models for forecasting electricity consumption taking into account the influence of meteorological factors]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naia tekhnika, informatika*, 2018, no. 4, pp. 99-106. DOI: 10.24143/2072-9502-2018-4-99-106

12. Makokliuev B.I. Analiz i planirovanie elektropotrebleniia [Analysis and planning of energy consumption]. Moscow: Energoatomizdat, 2008, 296 p.

13. Metody prognozirovaniia elektropotrebleniia v raspredelitel'nykh setiakh (obzor) [Methods for predicting electricity consumption in distribution networks (review)]. *Elektrotehnika: setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal*, 2016, vol. 3, no. 1, pp. 3-23.

14. Kychkin A.V., Mikriukov G.P. Applied data analysis in energy monitoring system. *Problems of the Regional Energetics*, 2016, vol. 2(31), pp. 84-92.

15. Kychkin A.V., Mikriukov G.P. Metod obrabotki rezul'tatov monitoringa gruppy energopotrebitelei [Method for processing the results of monitoring a group of energy consumers]. *Energobezopasnost' i energosberezhenie*, 2016, no. 6, pp. 9-14. DOI: 10.18635/2071-2219-2016-6-9-14

16. Eltyshev D.K., Kostygov A.M. Intelligent diagnostic control and management of the condition of electrotechnical equipment. *Russian Electrical Engineering*, 2019, vol. 90, no. 11, pp. 741-746. DOI: 10.3103/S1068371219110038

17. Kychkin A.V., Khoroshev N.I., Eltyshev D.K. Kontseptsiiia avtomatizirovannoi informatsionnoi sistemy podderzhki energeticheskogo menedzhmenta [The concept of an automated information system for supporting energy management]. *Energobezopasnost' i energosberezhenie*, 2013, no. 5, pp. 12-17.

18. Eltyshev D.K. Mnogokriterial'nyi analiz reshenii v intellektual'nykh sistemakh otsenki i upravleniia sostoianiem energeticheskogo oborudovaniia [Multi-criteria decision analysis in intelligent systems for assessing and managing of power equipment condition]. *Informatika i sistemy upravleniia*, 2018, no. 2(56), pp. 96-107. DOI: 10.22250/isu.2018.56.96-107

19. Dreiper N., Smit G. Prikladnoi regressionnyi analiz [Applied Regression Analysis]. 3rd ed. Dialektika, 2017, 912 p.

20. Karlberg K. Regressionnyi analiz v Microsoft Excel [Regression Analysis in Microsoft Excel]. Moscow: Dialektika, 2019, 400 p.

### **Сведения об авторах**

**Гилев Дмитрий Васильевич** (Пермь, Россия) – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: d.gilev1@yandex.ru).

**Елтышев Денис Константинович** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: eltyshv@msa.pstu.ru).

### **About the authors**

**Gilev Dmitry Vasilievich** (Perm, Russian Federation) is a Master Student Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: d.gilev1@yandex.ru).

**Eltyshev Denis Konstantinovich** (Perm, Russian Federation) is a Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of Microprocessor Automation Means Department Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: eltyshv@msa.pstu.ru).

Получено 17.08.2020