

УДК 519.854.6; 65.011.56

МОДЕЛЬ РЕЖИМНОГО НОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИЗОЛИРОВАННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ РАНГОВОГО АНАЛИЗА

В.И. Гнатюк, О.Р. Кивчун, Д.Г. Морозов (Калининград)

Введение

Как известно одной из задач социально-экономического развития регионов является обеспечение его энергетической безопасности. Для этого, в первую очередь, необходимо организовать надёжное и устойчивое снабжение энергоресурсами потребителей в различных режимах функционирования энергосистемы. К настоящему времени разработано большое количество теорий, методологий, методов, моделей и методик, содержащих научные обоснованные подходы, позволяющие существенно повысить качество решения данной задачи [1-3]. Однако вопросам режимного нормирования электропотребления в условиях ограниченных возможностей основного регионального электроэнергетического комплекса уделено недостаточно внимания. Это связано в первую очередь с тем, что с методологической точки зрения существует два направления исследования региональных энергосистем. Первое направление позволяет исследовать вопросы надёжного и устойчивого электроснабжения объектов энергосистемы в предположении, что реализуется единый процесс производства, передачи и потребления электроэнергии. Для данного направления теоретической основой являются теория электрических цепей, электротехника и прикладная механика (П.С. Жданов, С.А. Лебедев, Р.М. Кантора, В.А. Веников, И.А. Груздев, В.И. Идельчика и др.). На базе данных исследований разработаны научно обоснованные решения по применению быстродействующих выключателей, релейной защиты, использованию систем автоматического регулирования возбуждения генераторов, систем противоаварийной автоматики, а также по проведению других мероприятий, которые предполагают снижение аварийности в электрических системах [1-3].

Второе направление предполагает проведение исследований, связанных с изучением влияния взаимосвязанной совокупности потребителей электроэнергии на функционирование энергосистемы. Фундаментальной теоретической основой второго направления является теория оптимального управления электропотреблением регионального электротехнического комплекса (РЭК), предполагающая реализацию методов рангового анализа технотензозов (Б.И. Кудрин, В.И. Гнатюк, Б.В. Жилин, В.В. Фуфаев, Д.В. О.Р. Кивчун, Луценко, А.А. Шейнин, Ю.В. Матюнина и др.) [1-5].

Рассмотренные выше аспекты объясняют особую актуальность режимного нормирования электропотребления, а также позволяют сформулировать практическую задачу исследования, которая заключается в необходимости создания математического и алгоритмического обеспечения (МАО) режимного нормирования электропотребления, позволяющего создать научно-методические предпосылки для принятия решений по управлению электропотреблением в условиях изолированной энергосистемы и ограниченных возможностей регионального генерирующего комплекса.

Решение данной задачи позволяет снять противоречие между необходимостью обеспечения живучести изолированной энергосистемы за счёт устойчивого электропотребления объектов РЭК, с одной стороны, и отсутствием МАО, позволяющего принимать решения по режимному нормированию электропотребления индивидуально для каждого потребителя без нарушения технологического процесса, с другой стороны.

Материалы и методы решения задач, принятые допущения

Развитие моделей и методик режимного нормирования электропотребления осуществляется в рамках различных научных школ Российской Федерации. Особый интерес вызывают исследования на основе техноценологического подхода профессора Б.И. Кудрина, основным инструментом которого является ранговый анализ. Ведущими научными школами в данном направлении являются Московская, Калининградская и Новомосковская. В работах Б.И. Кудрина, В.И. Гнатыка, В.В. Фуфаева, Ю.В. Матюниной, С.Д. Хайтуна, Д.В. Луценко, О.Р. Кивчуна, П.Ю. Дюндика, А.А. Шейнина, Б.В. Жилина, М.Г. Ошуркова, О.Е. Лагуткина, А.С. Исаева и др. отражены законы и закономерности построения, функционирования и развития электроэнергетических систем. Исследованы теоретические основы электрики, электротехники и электроэнергетики, а также опросы управления электропотреблением крупных инфраструктурных объектов с помощью функционального, комбинаторного и векторного рангового анализа [1, 5-8].

Однако в связи с переходом к цифровой энергетике требуется разработка и применение цифровых моделей, основанных на обработке и анализе больших объемов данных, позволяющих создать предпосылки для повышения обеспечения устойчивого электропотребления изолированных энергосистем и совершенствования математического и алгоритмического обеспечения АСУД. Кроме того, важной задачей является необходимость сопровождения процесса электропотребления в изолированных энергосистемах непрерывным мониторингом основных параметров и их фиксации в базе данных.

С этой целью на основе рангового анализа разработана модель режимного нормирования электропотребления, концептуальная структура которой представлена на рис. 1. Она включает в себя пять этапов. На первом этапе осуществляется импорт, обработка и верификация данных по электропотреблению. Сбор данных может осуществляться различными способами: с помощью автоматизированных систем контроля и учёта электроэнергии (АСКУЭ), по каналам телеметрии, а также, используя технологии беспроводных персональных сетей (bluetooth, wi-fi).

В результате импорта формируется множество входных данных по электропотреблению Θ_v , включающее в себя подмножества «сырых»

$W_{SRC} = \{W_j^{SRC}\}_{j=1}^n$, верифицированных, $W_{CHK} = \{W_j^{CHK}\}_{j=1}^n$,
отранжированных $W_{RNG} = \{W_j^{RNG}\}_{j=1}^n$ и аппроксимированных данных
 $W_{APX} = \{W_j^{APX}\}_{j=1}^n$.

$$[\Theta_v] \xrightarrow{i=1..n} \begin{bmatrix} W_{11}^{SRC} & W_{12}^{SRC} & W_{13}^{SRC} & \dots & W_{1n}^{SRC} \\ W_{21}^{CHK} & W_{22}^{CHK} & W_{23}^{CHK} & \dots & W_{2n}^{CHK} \\ W_{31}^{RNG} & W_{32}^{RNG} & W_{33}^{RNG} & \dots & W_{3n}^{RNG} \\ W_{41}^{APX} & W_{42}^{APX} & W_{43}^{APX} & \dots & W_{4n}^{APX} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где W^{SRC} – подмножество «сырых» данных об электропотреблению;

W^{CHK} – подмножество верифицированных данных об электропотреблению;

W^{RNG} – подмножество отранжированных данных об электропотреблению;
 W^{APX} – подмножество аппроксимированных данных об электропотреблению.

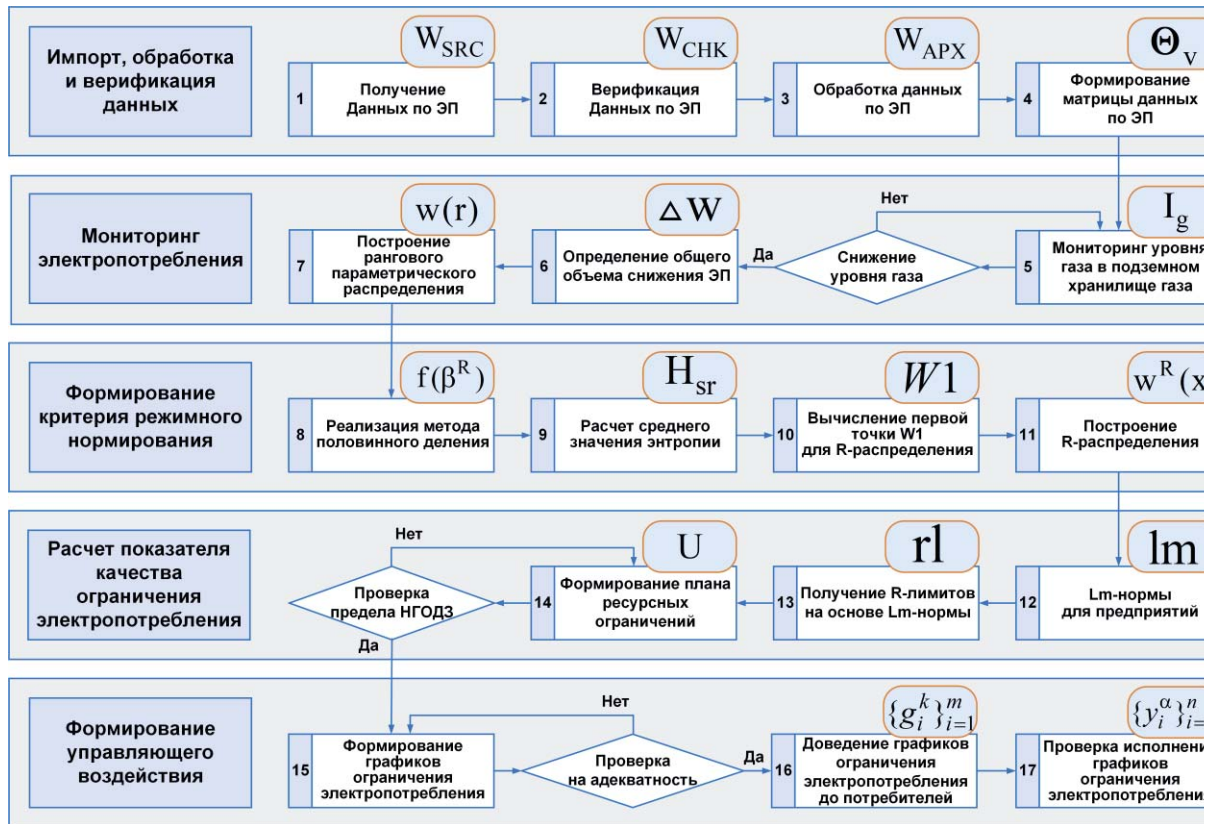


Рис.1. Структура модели режимного нормирования электропотребления

Каждое подмножество в (1) формируется с помощью расчётных и графических модулей математического и алгоритмического обеспечения рангового анализа. Реализуются операции устранения нулевых и явно ошибочных данных, выбросов. Осуществляется их ранжирование и аппроксимация [1-8].

На втором этапе моделирования осуществляется мониторинг электропотребления, который предусматривает непрерывный анализ уровня газа в подземном хранилище газа (ПХГ) с помощью стандартных автоматизированных средств электронной индикации на основе индикаторной функции $I_g = \{i_i^g\}_{i=1}^m$. При снижении уровня газа менее, чем 100% на основе оценки множества внутренних $\Lambda_1 = \{\lambda_i^1\}_{i=1}^n$ и внешних факторов $\Lambda_2 = \{\lambda_i^2\}_{i=1}^n$ лицо принимающее решение формирует величину снижения электропотребления, которая представляет собой суммарный параметрический ресурс по электропотреблению, полученный на основе разности суммарного значения электропотребления инерционного рангового распределения и величины снижения. Далее осуществляется построение рангового параметрического распределения $W(X)$ на текущий момент времени.

Величина снижения электропотребления формируется на третьем этапе в рамках формирования критерия режимного нормирования.

Определение 2.1. Критерий режимного нормирования электропотребления – способ определения в ходе итерационного процесса режимной нормы, значение которой имеет наименьшее абсолютное или относительное отклонение от нижней границы области допустимых значений рангового параметрического распределения для фиксированного ранга.

Он позволяет сопоставить характеристики степени достижения цели и помогает осуществить выбор необходимой стратегии ограничения электропотребления на основе процедуры режимного нормирования. Целевая функция формирования критерия режимного нормирования электропотребления определяется с помощью следующего выражения:

$$F(x) = \{H_{sr}, \beta, w_1, \square w, w(x), w^R(x)\} \rightarrow \max, \quad (2)$$

- где
- H_{sr} – среднее значение энтропии;
 - β – ранговый коэффициент;
 - w_1 – первая точка рангового параметрического распределения;
 - $w(x)$ – функция инерционного рангового распределение по электропотребления;
 - $w^R(x)$ – функция R-распределения по электропотребления;
 - $\square w$ – величина снижения электропотребления.

Основными этапами формирования критерия режимного нормирования электропотребления являются: расчёт среднего значения энтропии для каждого ранга $w(x)$ на заданном временном интервале, определение рангового коэффициента β и первой точки w_1 для построения $w^R(x)$.

Среднее значение энтропии для заданного временного интервала определяется следующим образом:

$$H_{sr} = - \sum_{x=1}^n \frac{w_1^R}{x^{\beta R} \cdot (w(x) - \square w)} \cdot \ln \frac{w_1^R}{x^{\beta R} \cdot (w(x) - \square w)}, \quad (3)$$

- где
- w_1^R – первая точка на R-распределении;
 - $w(x)$ – функция инерционного рангового параметрического распределение по электропотребления;
 - $\square w$ – величина снижения электропотребления;
 - β^R – ранговый коэффициент R-распределения;
 - x – непрерывный аналог ранга;
 - n – количество объектов.

Расчет рангового коэффициента для рангового распределения осуществляется с помощью следующего выражения:

$$f(\beta^R) = -H_{sr} - \sum_{x=1}^n \frac{1}{x^{\beta^R}} \cdot \ln \frac{1}{x^{\beta^R} \cdot \sum_{x=1}^n \frac{1}{x^{\beta^R}}}, \quad (4)$$

где $f(\beta^R)$ – функция зависимости коэффициента ранговой коэффициент R-распределения от значения непрерывного аналога ранга;
 H_{sr} – среднее значение энтропии для каждого ранга R-распределения;
 β^R – ранговой коэффициент R-распределения.

Соответственно первую точку для R-распределения можно определить следующим образом:

$$w_1^R = \frac{w(x) - \square w}{\sum_{x=1}^n \frac{1}{x^{\beta^R}}}, \quad (5)$$

где $w(x)$ – функция инерционного рангового распределение по электропотребления;
 $\square w$ – величина снижения электропотребления;
 x^{β^R} – непрерывный аналог ранга R-распределения.

Учитывая выражения (4) и (5) функция построения R-распределения представляется следующим образом:

$$w^R(x) = \frac{w_1^R}{x^{\beta^R}}, \quad (6)$$

где w_1^R – первая точка R-распределения;
 β^R – ранговой коэффициент R-распределения.

Далее строится R-распределение и определяется режимная норма – Lm-норма, индивидуально для каждого ранга. На рис. 2 представлен графический вид инерционного рангового параметрического распределения по электропотреблению и R-распределения, а также расчётное выражение для получения Lm-нормы.

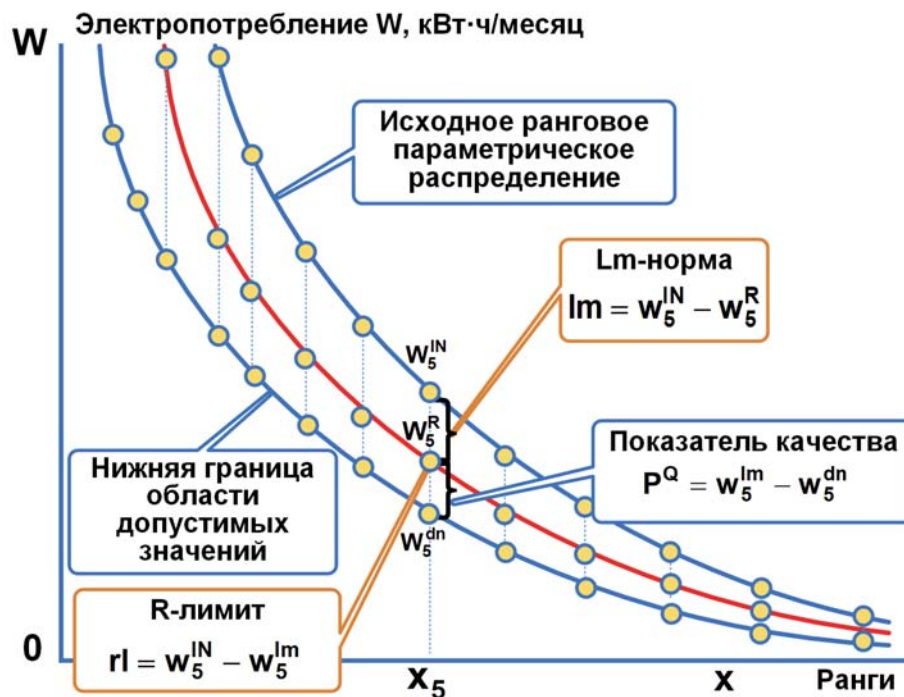


Рис. 2. Формирование критерия режимного нормирования электропотребления

Определение 2. Lm-норма – это количественная мера, показывающая величину требуемого снижения электропотребления при введении режима ресурсного ограничения, численно равна параметрическому расстоянию (измеряемому в кВт·ч / T) между двумя точками. Первая точка – это значение на исходном ранговом параметрическом распределении, соответствующее рангу объекта. Вторая точка – это значение, соответствующее рангу объекта на R-распределении, построенном для установленного режима ограничения электропотребления. Алгоритм Lm-нормы основывается на ранговом анализе.

Определение 2.3. На основе Lm-нормы рассчитывается R-лимит электропотребления, предельная величина электропотребления, предъявляемая объектам после введения R-режима, который численно равен исходному электропотреблению за вычетом Lm-нормы.

Четвертый этап представляет собой расчет показателя качества ограничения электропотребления, представляющего собой меру минимизации потребления электроэнергии приемником или потребителем, при условии обязательного выполнения основных функциональных задач по предназначению.

Количественно данный показатель может быть оценен с помощью абсолютного или относительного значения Lm-нормы, под которым понимается отклонение (соответственно, абсолютное или относительное) значения электропотребления от нижней границы области допустимых значений. Границы области допустимых значений (ОДЗ) рассчитываются на основе следующего выражения:

$$\left(([W^R] - z_\gamma s / \sqrt{n}), ([W^R] + z_\gamma s / \sqrt{n}) \right), \quad (7)$$

- где $[W^R]$ – выборочное среднее (находится по выборке $W^R(X)$);
 s – выборочное среднее квадратичное отклонение по выборке;
 z_γ – аргумент (находится таблично по заданным n и γ);
 n – объем выборки.

На примере рис. 2 показатель качества ограничения электропотребления для пятого ранга можно представить в виде следующего выражения:

$$P_5^Q = W_5^{lm} - W_5^{dn}, \quad (8)$$

где W_5^{lm} – значение электропотребления на R-распределении для пятого ранга;
 W_5^{dn} – значение электропотребления на нижней границе области допустимых значений для пятого ранга.

Для R-распределения, полученного в рамках режимного нормирования множество показателей качества индивидуально для каждого ранга можно представить в следующем виде:

$$[P_k^Q] = \begin{cases} \sum_{x_R, x_{dn}=1}^n W_1^R(x_R) - W_1^{dn}(x_{dn}), W_1^R \geq W_1^{dn}; \\ \sum_{x_R, x_{dn}=1}^n W_2^R(x_R) - W_2^{dn}(x_{dn}), W_2^R \geq W_2^{dn}; \\ \dots; \\ \sum_{x_R, x_{dn}=1}^n W_m^R(x_R) - W_m^{dn}(x_{dn}), W_m^R \geq W_m^{dn}, \end{cases} \quad (9)$$

где $W_m^R(x_R)$ – функция R-распределения по электропотреблению для m моделируемых значений режимов ограничения;
 $W_m^{NG}(x_{dn})$ – функция распределения области нижних допустимых значений по электропотреблению для m моделируемых значений режимов ограничения;
 W_m^R – значение электропотребления на R-распределении для m -го режима ограничения;
 W_m^{dn} – значение электропотребления на нижней допустимой границе для m -го режима ограничения;
 n – объем выборки.

На последнем этапе модели формируется управляющее воздействие по режимному нормированию электропотребления. Его общая технология включает в себя цикл подготовки и принятия решений, который имеет ярко выраженную иерархическую структуру. Для принятия решений в ходе реализации режимного нормирования электропотребления оценивается множество исходов при ограничении электропотребления $G_r = \{g_i^k\}_{i=1}^m$, а также устанавливается следующая система соответствий [1-3]:

$$\begin{cases} H_1 : U_1 \times \Lambda_1 \rightarrow Y_{\Omega}^1(G_r^1); \\ H_2 : U_2 \times \Lambda_2 \rightarrow Y_{\Omega}^2(G_r^2); \\ \dots; \\ H_n : U_n \times \Lambda_n \rightarrow Y_{\Omega}^n(G_r^n), \end{cases} \quad (10)$$

- где H_1 – целевая функция подмодели снижения электропотребления для R1-распределения;
 H_2 – целевая функция подмодели снижения электропотребления для R2-распределения;
 H_n – целевая функция подмодели снижения электропотребления для Rn-распределения;
 U_n – стратегии ограничения электропотребления;
 Λ_1 – множество значений определённых факторов;
 Λ_2 – множество значений неопределённых факторов;
 Λ_n – множества значений определённых и неопределённых факторов;
 Y_{Ω}^1 – величины результатов моделирования режимов ограничения;
 G_r^1 – величины исходных данных моделирования режимов ограничения.

В общем виде формирование управляющего воздействия имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \{\Psi : \{Y_{\Omega}^1 \mid H_1 \times \Lambda_1 \xrightarrow{\Theta_v} Y_{\Omega}^1(G_r^1)\}; \\ \{\Psi : \{Y_{\Omega}^2 \mid H_2 \times \Lambda_2 \xrightarrow{\Theta_v} Y_{\Omega}^2(G_r^2)\}; \\ \dots; \\ \{\Psi : \{Y_{\Omega}^n \mid H_n \times \Lambda_n \xrightarrow{\Theta_v} Y_{\Omega}^n(G_r^n)\}; \\ I_d^1 \xrightarrow{\Theta_v} P_1^Q : U_1 \xrightarrow{PE_w} U^*; \\ I_d^2 \xrightarrow{\Theta_v} P_2^Q : U_2 \xrightarrow{PE_w} U^*; \\ \dots; \\ I_d^n \xrightarrow{\Theta_v} P_n^Q : U_n \xrightarrow{PE_w} U^*, \end{cases} \quad (11)$$

- где U_1 – подмножество «наилучших» стратегий формирования плана ресурсных ограничений для R1-распределения;
 U_2 – подмножество «наилучших» стратегий формирования плана ресурсных ограничений для R1-распределения;
 U_n – подмножество «наилучших» стратегий формирования плана ресурсных ограничений для Rn-распределения;
 Ψ – модель «результат-показатель» стратегии снижения электропотребления;

Первые три выражения системы (11) отражают процесс получения результатов, а вторые – процесс анализа результатов. При этом запись $Y_{\Omega}^1 | H_1 \times \Lambda_1 \xrightarrow{\Theta_v} Y_{\Omega}^1(G_r^1)$ означают множественность моделей, соответствующих системным уровням исследования. Исходя из концепции главной цели режимного нормирования электропотребления, информация, сформированная на основе множества Θ_v для низших уровней иерархии, может быть сформирована на основе информации ЛПП рассматриваемого уровня газа в ПХГ.

Таким образом, разработана модель режимного нормирования, отличающаяся от известных впервые введенными понятиями lm -норма и R -лимит ограничения электропотребления, на основе которых построен научно обоснованный математический аппарат ограничения электропотребления в условиях ресурсных ограничений.

Обеспечение устойчивого электропотребления и сохранение технологических процессов на объектах региона в изолированном режиме функционирования энергосистемы осуществляется на пяти этапах модели: импорте, обработки и верификации данных, мониторинга электропотребления, формировании критерия режимного нормирования, расчете показателя качества ограничения электропотребления и формировании управляющего воздействия.

Реализация методики режимного нормирования электропотребления объектов регионального электротехнического комплекса на основе векторного рангового анализа

Вышеизложенная модель реализована в виде МАО программно-аппаратного комплекса мониторинга электропотребления РЭК АО «Янтарьэнерго», который разработан в рамках заказной научно-исследовательской работы «Монитор» (договор от 23 декабря 2011 г.) и является существенным его дополнением.

МАО выполнено в виде автоматизированного рабочего места (АРМ), разработанного на языке C# [9, 10]. На рис. 3 представлен его внешний вид.

Для проверки работоспособности МАО режимного нормирования было проведено нагрузочное тестирование по стандарту ISO 9126 и проверены следующие факторы: функциональность, надёжность, производительность, безопасность. Тестирование проводилось на стенде в качестве которого являлся ноутбук со следующими характеристиками: CPU Intel(R) Core(TM) i7-7820HQ, RAM 16,0 GB, Realtek USB GbE Family Controller, HDD SSD 512Gb. В качестве критерия качества было принято минимальное требование к МАО режимного нормирования – обработка не менее 30 запросов в секунду от автоматизированных систем контроля и учёта электроэнергии.

Тест нагрузочного тестирования при проверке функциональности МАО режимного нормирования заключался в отправке многочисленных запросов методом «POST» с целью получения данных за короткий промежуток времени на открытый интерфейс устройства режимного ограничения (УРО), позволяющего ограничивать электроприёмники потребителя. По результатам теста установлено, что при максимальном количестве запросов к УРО (140 за 35 сек), время ответа не увеличивалось и составило не более 0,5 сек.

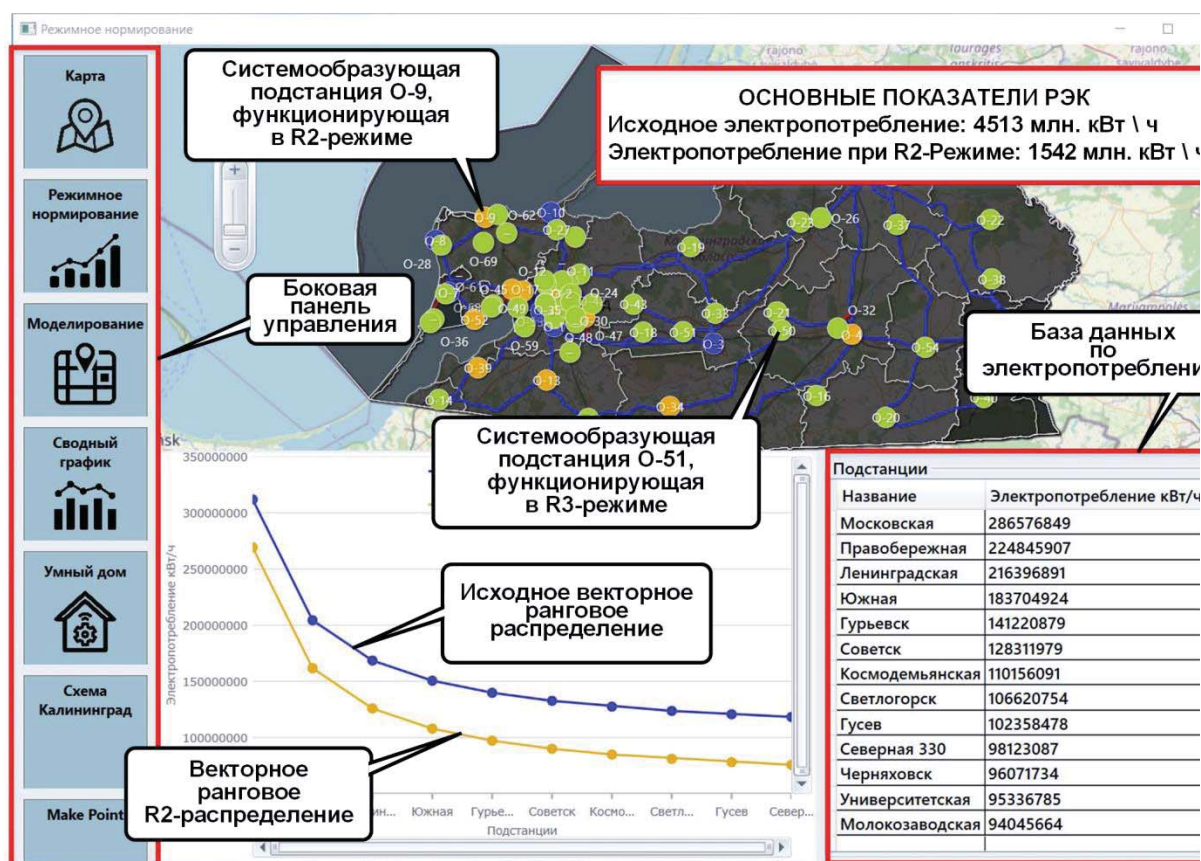


Рис. 3. Внешний вид автоматизированного рабочего места процедуры режимного нормирования

Нагрузочное тестирование с целью проверки МАО режимного нормирования на надежность заключалось в проверке его на устойчивость к отказам, а также способности поддерживать заданный уровень работоспособности при отказах и нарушениях правил взаимодействия с окружением.

Тест показал, что при реализации 30000 запросов на получение данных об электропотреблении за 35 сек загрузка процессора составляет 1,5 % от его общей мощности.

Нагрузочное тестирование для расчетов производительности МАО режимного нормирования, под которым понимается временная эффективность – его способность решать задачи по получению данных об измерениях и обрабатывать их за отведенное время. Тест заключался в увеличении числа обработанных запросов в одну секунду времени. При выполнении 31 запроса к УРО коэффициент ошибок равный 0 процентов. Данный результат свидетельствует о выполнении заданной производительности МАО режимного нормирования.

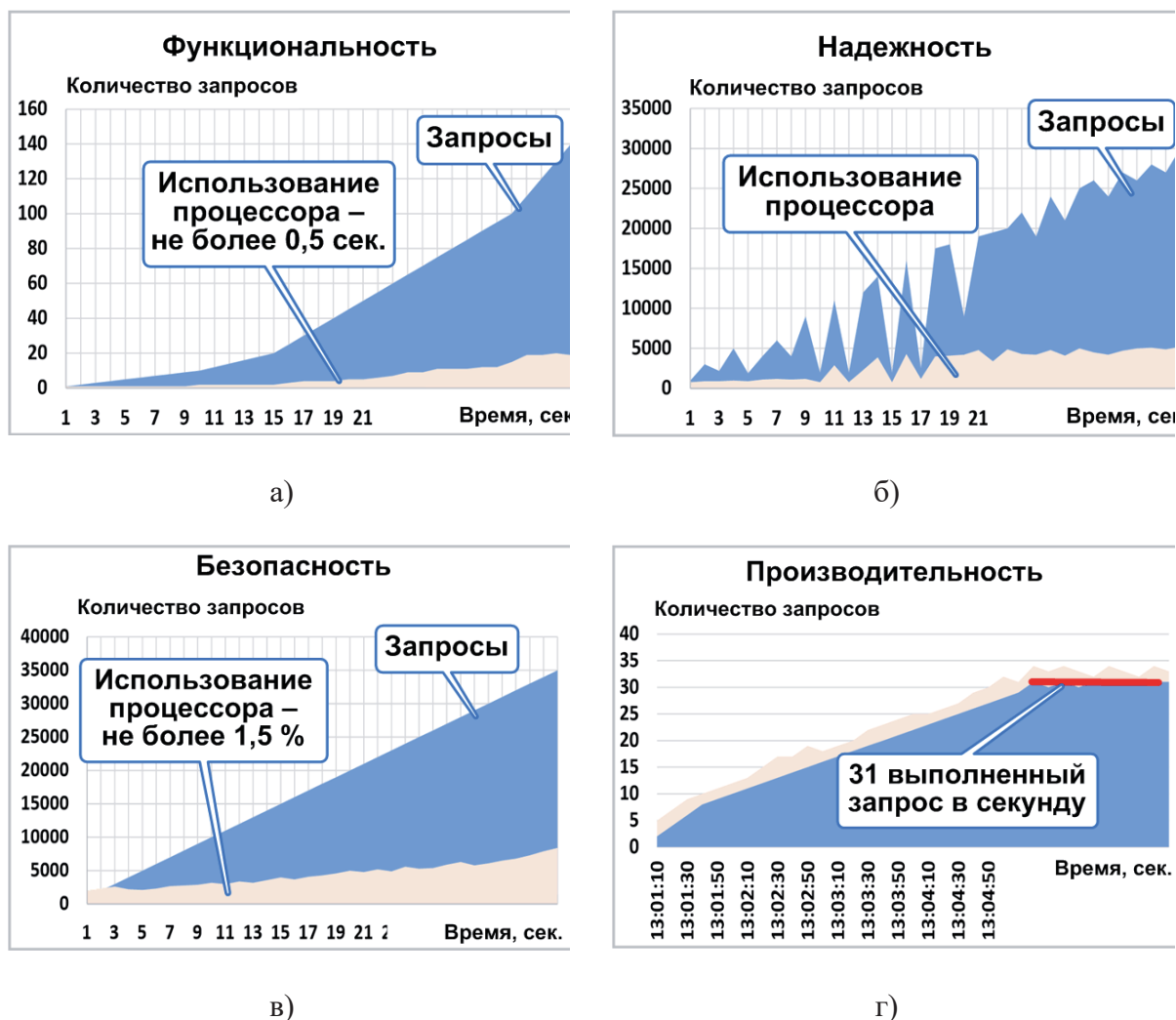


Рис. 4. Результаты тестирования математического и алгоритмического обеспечения режимного нормирования:

- а) результаты теста нагрузочного тестирования при проверке функциональности MAO;
- б) результаты теста нагрузочного тестирования при проверке надёжности MAO;
- в) результаты теста нагрузочного тестирования при проверке безопасности MAO;
- г) результаты теста нагрузочного тестирования при проверке производительности MAO.

Тестирование MAO на безопасность или устойчивость к «DDOS-атакам» заключалось в отправке многочисленных запросов методом «POST», содержащих большое количество беспорядочных данных, на открытый интерфейс программы, который используется для получения данных по измерениям от УРО. В результате проведенного теста MAO режимного нормирования способно выдержать до 35000 запросов без существенных затрат процессора. Использование процессора составляет 1,5 % от общей мощности.

Таким образом, по результатам проведенных нагрузочных тестов на функциональность, надёжность, производительность, безопасность можно сделать вывод о том, что MAO режимного нормирования отвечает предъявленным требованиям.

Заключение (выводы и рекомендации)

Вопросы надёжного и устойчивого электроснабжения объектов энергосистемы имеют важное значение для энергобезопасности регионов. Предполагая, что в любой электрической цепи, реализуется единый процесс производства, передачи и потребления электроэнергии, следует обратить внимание на обеспечения необходимого режима функционирования электросети региона. С этой целью в рамках модели режимного нормирования электропотребления впервые разработано МАО режимного нормирования электропотребления объектов РЭК, которое является основой современных информационно-аналитических комплексов управления электропотреблением.

Кроме того, сформулированы рекомендации по применению МАО на объектах электроэнергетических организаций и предприятий:

- для электросетевых организаций рассмотреть возможность использования МАО режимного нормирования, с целью планового снижения электрической мощности потребителей РЭК без полного отключения линий электропередач;
- для региональных диспетчерских управлений системного оператора ЕЭС России рассмотреть возможность использования МАО с целью прогнозирования максимума электрической нагрузки в центрах питания;
- для генерирующих организаций рассмотреть возможность использования МАО с целью мониторинга количества энергоресурсов в условиях изолированной энергосистемы.

Работа по разработке МАО режимного нормирования электропотребления объектов РЭК выполнена в рамках программы мероприятий «Приоритет-2036» Балтийского федерального университета имени И. Канта – проект № 970-Л-25 «Разработка экспериментального прототипа информационно-аналитического комплекса, реализующего режимное нормирование электропотребления объектов Калининградской области».

Литература

1. **Кудрин, Б.И.** Введение в технетику / Б.И. Кудрин. Томск: ТГУ, 1993. 552 с.
2. Гнатюк, В.И. Закон оптимального построения техноценозов. Монография. 3-е изд., перераб. и доп./ В.И. Гнатюк. Калининград: Техноценоз, 2019. URL: <http://gnatukvi.ru/ind.html> (дата обращения: 20.03.2023).
3. **Кивчун О.Р.** Векторный ранговый анализ [Трактат] / О.Р. Кивчун. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [КИЦ «Техноценоз»], [2019]. – Режим доступа: <http://gnatukvi.ru/vran.pdf>, свободный.
4. **Гнатюк В.И.** Реализация стратегии снижения электропотребления объектов припортового электротехнического комплекса на основе векторного рангового анализа / В.И. Гнатюк, О.Р. Кивчун, Д.В. Луценко, С.А. Цырук // Морские интеллектуальные технологии. М.: МОРИНТЕХ. 2019. № 4 (46), т. 4. С. 139-145.
5. **Луценко Д.В.** Методика мониторинга электропотребления электротехнического комплекса Калининградской области / Д.В. Луценко, В.И. Гнатюк, О.Р. Кивчун, В.Н. Васильев // Промышленная энергетика. 2015. № 3. С. 26-35.
6. **Гнатюк В.И.** Режимное нормирование электропотребления при эксплуатации объектов регионального электротехнического комплекса / В.И. Гнатюк, О.Р. Кивчун, Д.В. Луценко, Д.Г. Морозов // Морские интеллектуальные технологии. М.: МОРИНТЕХ. 2018. № 4 (42), т. 4. С. 116-120.
7. **Gnatyuk V.I.** Digital platform for management of the regional power grid consumption / V.I. Gnatyuk, O.R. Kivchun, D.V. Lutsenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 689(1). – 012022.
8. **Gnatyuk V.** Management Software Power Consumption During Operation Objects of Technocenological Type / V. Gnatyuk, O. Kivchun, A. Kovalev, D. Morozov // Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. P. 149-157.