

УДК 620.9

Л. Г. Коваль¹, В. Е. Кривоносов², М. В. Бачинский³, Е. Ю. Балалаева²,Д. Н. Барановский¹

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА РАБОТУ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1 – Винницкий национальный технический университет, г. Винница

2 – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

3 – Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, г. Тернополь

Анотация. Достоверность поставленного диагноза хвороби залежить не тільки від справності діагностичного обладнання, але й параметрів мережі живлення. Сучасні діагностичні апарати є складними електромеханічними пристроями, що містять електричні елементи, механічні вузли, електронні та мікропроцесорні блоки, що працюють на низьких та високих напругах. Приведені норми та граничні значення показників якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення. Проведений аналіз причин відхилень параметрів ПКЕ та їх впливу на якість роботи та безвідповідальність споживачів. Розробка методів зниження додаткових витрат і підвищення надійності роботи МО є актуальною задачею, рішення якої дозволить медичному персоналу проводити обстеження хворого з мінімальними витратами, при високій надійності роботи медичного обладнання. До 14% причин виникнення аварій медичного обладнання пов'язані з аварійними, технологічними, профілактичними та іншими відключеннями в мережній мережі. Особливо чутливими пристроями до провалів напруги є РКТ. Установка блоків безперебійного живлення не вирішує проблему захисту РКТ від провалів і несанкціонованих відключень.

Ключові слова: медичне обладнання, якість електроенергії, норми якості електричної енергії.

Аннотация. Достоверность поставленного диагноза болезни зависит не только от исправности диагностического оборудования, но и параметров питающей сети. Современные диагностические аппараты являются сложными электромеханическими устройствами, содержащими электрические элементы, механические узлы, электронные и микропроцессорные блоки, работающие на низковольтном и высоковольтном напряжениях. В таблицах приведены нормы и предельные значения показателей качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Проведенный анализ причин отклонений параметров ПКЭ и их влияния на качество работы и безаварийности электропотребителей. Разработка методов снижения дополнительных затрат и повышения надежности работы МО является актуальной задачей, решение которой позволит медицинскому персоналу проводить обследование больного с минимальными затратами в регламентные сроки, при заданной надежности работы медоборудования.

До 14 % причин возникновения аварий и неработоспособности медоборудования связаны с аварийными, технологическими, профилактическими и другими отключениями в питающей сети. Особенно чувствительными устройствами к провалам напряжения являются РКТ. Установка блоков бесперебойного питания не решает защиту РКТ от провалов и несанкционированных отключений, требующих разработки специальных средств защиты.

Ключевые слова: медицинское оборудование, качество электроэнергии, нормы качества электрической энергии.

Abstract. The reliability of the diagnosis of the disease depends not only on the quality of diagnostic equipment, but also on the parameters of the supply network. Modern diagnostic devices are complex electromechanical devices containing electrical elements, mechanical units, electronic and microprocessor blocks, operating on low volt and high voltage voltages. The tables show the norms and limit values of the quality indicators of electric energy in general power supply systems. An analysis of the reasons for the deviations of the parameters of the SCE and their impact on the quality of work and the failure of electric consumers. The development of methods for reducing the additional costs and improving the reliability of the work of the Ministry of Defense is an urgent task, the solution of which will allow medical personnel to carry out a patient examination with minimal costs in the regular timeframe, with a given reliability of medical equipment.

Up to 14% of the causes of accidents and inaccessibility of medical equipment are associated with emergency, technological, pro-fatal and other trips in the supply network. Especially sensitive devices for voltage failures are RCTs. The installation of uninterruptible power supply units does not solve the protection of the RCT from failures and unauthorized interruptions requiring the development of special protective equipment.

Key words: medical equipment, quality of electric power, norms of quality of electric energy.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2018-43-3-10-17>.

Введение

К современным диагностическим аппаратам относятся ультразвуковые (УЗИ), рентгеновские компьютерные томографы (РКТ), магнитно-резонансные томографы (МРТ), литотрипторы и другое медицинское оборудование. Достоверность поставленного диагноза болезни зависит не только от исправности диагностического оборудования, но и параметров питающей сети. Современные диагностические аппараты являются сложными электромеханическими устройствами, содержащими электрические элементы, механические узлы, электронные и микропроцессорные блоки, работающие на низковольтном и высоковольтном напряжениях, имеющие мощность от 3 кВт до 90 кВт и выше. Устанавливаются они, как правило, в закрытых лабораториях, получающих электропитание по отдельным линиям от одно или двух комплектных трансформаторных подстанций (КТП) напряжением 6/0,4 кВ. К шинам КТП, питающих диагностическое и терапевтическое оборудование, подключены корпуса медицинского учреждения, жилые дома, магазины, кафе, и др., как правило, имеющие однофазную нагрузку и суточный график потребления активной мощности с ярко выраженными максимумами и минимумами. Неравномерный график

Л. Г. Коваль, В. Е. Кривоносов, М. В. Бачинский, Е. Ю. Балалаева, Д. Н. Барановский, 2018

потребления мощности в течение суток и года, нелинейные значения внутренних сопротивлений электроприемников и неравномерность распределения мощностей электропотребителей по фазам, приводит к изменению показателей качества электричества (ПКЭ) питающей сети, а именно – к его ухудшению.

Изложение основного материала

ПКЭ характеризуют не только надежность системы электроснабжения, но и долгосрочность и безаварийность работы медицинского оборудования (МО). Согласно ГОСТ 13109 – 97 ПКЭ для четырехпроводной сети трехфазного тока нормируются допустимыми значениями отклонениями напряжения, несимметрией напряжений, отклонения частоты, несинусоидальностью формы кривой напряжения, частотой и длительностью провалов напряжения и значением смещения нейтрали [1].

В таблицах 1 – 6 приведены нормы и предельные значения показателей качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [1]. Проведенный анализ причин отклонений параметров ПКЭ и их влияния на качество работы и безаварийность электропотребителей позволили установить следующее.

Таблица 1 – Нормы отклонения напряжения

Параметр	Норм. знач.	Предельное знач.
Установившееся отклонение напряжения	±5%	±10%

Причина: суточные, сезонные, технологические изменения нагрузки.

Влияние:

- недонапряжение - ухудшение пуска, увеличение токов, нарушение изоляции; перегрузка регулируемых выпрямителей, преобразователей и стабилизаторов;

- перенапряжение - перерасход электроэнергии; повышение реактивной мощности, выпрямителей с фазовым регулированием, пробой регулируемых выпрямителей, преобразователей и стабилизаторов.

Ответственность: энергоснабжающая организация.

Таблица 2 – Нормы колебания напряжения

Параметр	Предельн.знач.	В помещении с лампами накаливания, где требуется значительное зрительное напряжение
Размах изменения напряжения, при $FdU=0,1/\text{мин}$	10%	0,75%
$FdU=1,0/\text{мин}$	3,8%	2,6%
$FdU=10/\text{мин}$	1,9%	1,4%
$FdU=100/\text{мин}$	1,0%	0,71%
$FdU=1000/\text{мин}$	0,4%	0,28%
Доза фликера кратковременная	1,38	1,0
Доза фликера длительная	1,38	1,0

Причина: электроприемники с быстропеременными режимами работы.

Влияние: увеличение потерь в сети; утомление зрения, снижение производительности, травматизм; снижение срока службы электронной аппаратуры; выход из строя конденсаторных батарей; вибрации аппаратуры; возможны отпадания контакторов.

Ответственность: потребитель с переменной нагрузкой.

Таблиця 3 – Номы несинусоидальности кривой напряжения

Параметр	Норм. знач.	Предельн. знач.
Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения в сети 0,3кВ	8%	12%
Коэффициент n-й гармонической составляющей в трехфазной сети 0,38кВ, при n=2	2%	3%
n=3*	2,5%	3,75%
n=4	1%	1,5%
n=5	6%	9%
n=6	0,5%	0,75%
n=7	5%	7,5%
n=8	0,5%	0,75%
n=9*	0,75%	1,025%
* в однофазной сети - в 2 раза больше		

Причина: силовое оборудование с тиристорным управлением, люминесцентные лампы, сварочные установки, преобразователи частоты, импульсные преобразователи напряжения.

Влияние: Рост потерь в электрических машинах, вибрации; нарушение работы автоматики защиты; увеличение погрешностей измерительной аппаратуры; отключение чувствительных ЭПУ.

Ответственность: потребитель с нелинейной нагрузкой.

Таблиця 4 – Нормы несимметрии напряжений трехфазной системы

Параметр	Норм. знач.	Предельн. знач.
Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности	2%	4%
Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности	2%	4%

Причина: использование однофазных или несимметричных электроприемников.

Влияние: дополнительный нагрев соединений; увеличение суммарных потерь; перегрев проводников нейтрали, возможен пожар; увеличение сопротивлений заземлителей; увеличение пульсаций выпрямленных напряжений; нарушение управления тиристорных преобразователей; некачественная компенсация реактивной мощности конденсаторными установками, сокращения срока службы изоляции по причине дополнительного теплового износа.

Ответственность: потребитель с несимметричной нагрузкой.

Таблиця 5 – Нормы отклонение частоты

Параметр	Норм. знач.	Предельн. знач.
Отклонение частоты	$\pm 0,2$ Гц	$\pm 0,4$ Гц

Причина: снижение генерируемых мощностей в сети, перегрузка генераторов.

Влияние снижения частоты: снижение производительности и срока службы электрических машин, увеличение пульсаций, искажения телевизионного изображения.

Ответственность: энергоснабжающая организация.

Таблиця 6 – Переходные помехи

Параметр	Предельн. знач.
Длительность провала напряжения	30 секунд
Импульсное напряжение грозное во внутренней проводке зданий для сети 380В	6кВ
Импульсное напряжение коммутационное	4,5кВ

Причина: электромагнитные переходные процессы при коротких замыканиях, ударах молнии, коммутации электрооборудования, обрыв нулевого провода.

Влияние: отключение оборудования при провалах, выход из строя при ухудшающихся условиях работы; пробой и выход из строя оборудования, возможно поражение током персонала на не защищенных установках.

Ответственность: энергоснабжающая организация.

Как показывает практика эксплуатации импортного диагностического и терапевтического медицинского оборудования, оно чувствительно к качеству электроснабжения Украинских энергетических сетей. Отклонения ПКЭ от величин, нормируемых ГОСТ 13109-97, приводит к экономическому ущербу из-за увеличения потерь активной мощности, снижения срока эксплуатации оборудования, снижения производительности оборудования и увеличения времени обследования больного [2].

В работах [4, 5] приведен сравнительный анализ ПКЭ и качества работы технологического промышленного оборудования. Однако в известных работах вопрос влияния ПКЭ на работу МО не достаточно изучен и при этом не проведен анализ методов снижения дополнительных приведенных затрат при эксплуатации МО.

Для количественной оценки качества работы МО при отклонениях ПКЭ от нормируемых будем использовать укрупненные приведенные материальные затраты по сравнению с режимом номинального напряжения, определяемые выражением [3]:

$$\Delta Z = \Delta Z_{\Delta Q} + \Delta Z_{\Delta P} + \Delta Y_{\text{стр. изол}} + \Delta Y_{\text{произ}} + \Delta Y_{\text{прос.обор.}} \quad (1)$$

где – $\Delta Z_{\Delta Q}$ приведенные затраты в линии электропередачи, трансформатора, связанные с потерями активной энергии и обусловленные увеличением потребленной реактивной энергии;

$\Delta Z_{\Delta P}$ – приведенные затраты активных потерь, связанные с приращением потребления активной мощности при отклонениях и несимметрии напряжений;

$\Delta Y_{\text{стр. изол}}$ – ущерб, связанный с тепловым сокращением срока службы изоляции электрооборудования;

$\Delta Y_{\text{произ}}$ – ущерб, связанный с увеличением времени обследования;

$\Delta Y_{\text{прос.обор.}}$ – ущерб, связанный с простоем оборудования и его ремонтом.

$\Delta Z_{\Delta Q}$ – приведенные затраты, связанные с увеличением потребленной реактивной энергии при наличии отклонения напряжения, и соответственно, с ростом потерь активной энергии в линии электропередачи за счет увеличения реактивной составляющей тока.

Потребителями реактивной мощности МО являются согласующие трансформаторы, электродвигатели, катушки индуктивности, создающие магнитные поля и др. Относительная величина дополнительных активных потерь в линии электропередачи, длина которой определяется от клемм подключения МО до точки балансового раздела, определяется выражением [5]:

$$\Delta P_{\text{к.л.}} = 1 + \frac{2I_{\text{рн}}\Delta I_{\text{р}} + \Delta I_{\text{р}}^2}{I_{\text{н}}^2} \quad (2)$$

где – $\Delta I_{\text{р}}$ приращение реактивной составляющей тока,

$I_{\text{н}}$ – номинальные значения линейного тока при номинальном значении напряжения.

$I_{\text{рн}}$ – номинальное значение реактивное составляющей

Согласно [5], при допустимых пределах отклонений напряжения изменение напряжения на 1% влечет за собой изменение потребления реактивной мощности на 3%, а относительная величина дополнительных активных потерь в кабельной линии, без учета малых второго порядка, определяется выражением:

$$\Delta P_{к.л.} = 1 + \frac{3\Delta U}{\sin \alpha} \quad (3)$$

где – ΔU – относительная величина отклонения линейного напряжения,
 α – фазовый угол, характеризующий потребление реактивной мощности.

Тогда приведенные затраты, связанные с увеличением потребленной реактивной энергии и потерями активной энергии в линии электропередачи «Клеммы МО – точка балансового раздела» будут равны:

$$Z_{\Delta Q} = \sum \Delta P_{к.л.} \beta \tau \quad (4)$$

β – стоимость 1 кВт часа электроэнергии.

τ – время работы МО.

Из выражения (3) следует, что при отсутствии реактивной составляющей потребляемой мощности, активные потери минимальны и зависят только от потребленной активной мощности и параметров линии электропередачи. С ростом реактивной составляющей потребляемой мощности и отклонений напряжения величина активных потерь в кабельной линии возрастает $Z_{\Delta Q}$ – приведенные затраты активных потерь, связанные с приращением потребления активной мощности при отклонениях и несимметрии напряжений. Согласно [5,6,8], представим систему уравнений фазовых напряжений с учетом коэффициентов кратности величин фазного напряжения относительно номинального значения с. о.:

$$\begin{aligned} \dot{U}_a &= D \times |U_H|; \\ \dot{U}_b &= M \times |U_H| \times a^2 \times e^{j f_m}; \\ \dot{U}_c &= N \times |U_H| \times a \times e^{j f_n}, \end{aligned} \quad (5)$$

где – f_m, f_n – дополнительные фазовые углы сдвига этих напряжений при условии, что угол фазы А равен нулю, значения коэффициентов равны:

$$D = \frac{U_a}{U_H}, M = \frac{U_b}{U_H}, N = \frac{U_c}{U_H},$$

Тогда взаимосвязь коэффициентов несимметрии и отклонений напряжений можно определить выражением:

$$k_{2U} = \sqrt{1 - \frac{k_2}{9(1 + \Delta U)}}. \quad (6)$$

Соответственно отклонение напряжения определяется:

$$\Delta U = \sqrt{\frac{k_2}{9(1 - k_{2U}^2)}} - 1, \quad (7)$$

где:

$$k_2 = 3 \left[MD(\cos f_m + \sqrt{3} \sin f_m) + ND(\cos f_n - \sqrt{3} \sin f_n) + MN(\cos(f_m - f_n) - \sqrt{3} \sin(f_m - f_n)) \right]$$

Приняв, с достаточной точностью для инженерных расчетов ΔU – не более 5 %, рассчитаем токи прямой и обратной последовательностей:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= (1 + \Delta U) U_H y_1 e^{j(f_1 + f_{y1})}; \\ \dot{I}_2 &= (1 + \Delta U) k_{2U} U_H y_2 e^{j(f_2 + f_{y2})}, \end{aligned} \quad (8)$$

где y_1, y_2 – проводимости прямой и обратной последовательности.

Линейные токи определяются выражением;

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{I}}_a &= \dot{\mathbf{I}}_1 + \dot{\mathbf{I}}_2; \\ \dot{\mathbf{I}}_b &= a^2 \dot{\mathbf{I}}_1 + a \dot{\mathbf{I}}_2; \\ \dot{\mathbf{I}}_c &= a \dot{\mathbf{I}}_1 + a^2 \dot{\mathbf{I}}_2.\end{aligned}\quad (9)$$

Мощность, потребляемая каждой фазой, равна:

$$\mathbf{P}_{\text{фаз}} = \mathbf{P}_n (1 \pm \Delta U_i)^2 \left[1 + k_{2U}^2 k_n^2 + 2k_{2U} k_n \cos(f_1 - f_2) \right], \quad (10)$$

где \mathbf{P}_n – мощность фазы при номинальных значениях напряжения и нагрузки; ΔU_i – отклонение напряжения в фазе; k_n – кратность величины тока, протекающего в фазе к номинальному значению тока.

Согласно выражению (9) мощность, выделяемая в наиболее загруженной фазе будет максимальной, если углы напряжения прямой и обратной последовательностей равны и коэффициент отклонения напряжения имеет наибольшую величину.

Общая относительная активная мощность для сети с изолированной нейтралью определяется как

$$\Delta \mathbf{P}_{\Delta U, k_{2U}} = (1 \pm \Delta U_a)^2 \left[1 + k_{2U}^2 k_n^2 a \right] + (1 \pm \Delta U_b)^2 \left[1 + k_{2U}^2 k_n^2 \right] + (1 \pm \Delta U_c)^2 \left[1 + k_{2U}^2 k_n^2 c \right] \quad (11)$$

При отклонении напряжений в допустимых пределах, потери активной мощности в нулевом проводе составляют 0.03% от общих потерь, и ими можно пренебречь.

Тогда приведенные затраты активных потерь, связанные с приращением потребления активной мощности при отклонениях и несимметрии напряжений будут равны:

$$\mathbf{Z}_{\Delta p} = \sum \mathbf{P}_n \left[(1 \pm \Delta U_a)^2 \left[1 + k_{2U}^2 k_n^2 a \right] + (1 \pm \Delta U_b)^2 \left[1 + k_{2U}^2 k_n^2 \right] + (1 \pm \Delta U_c)^2 \left[1 + k_{2U}^2 k_n^2 c \right] \right] \beta \tau \quad (12)$$

где β – стоимость 1 кВт часа электроэнергии.

При изменении частоты питающей сети в пределах $\mathbf{f} = \pm 0,4 \Gamma \text{ц}$, величина реактивной составляющей изменяется не более 0,01%, что соизмеримо с отклонениями параметров реактивной составляющей сопротивления от паспортных данных, разброс которых может составлять до 2%.

$\Delta \mathbf{Z}_{\text{изол}}$ – затраты, связанные с тепловым сокращением срока службы изоляции электрооборудования. Как известно [7,9,10], основной причиной ускоренного старения изоляции является ее тепловые, общие и локальные перегревы. Известно, что при превышении температуры изоляции на 15°C выше допустимого значения, срок службы изоляции снижается в $e = 2,72$ раз, и имеет вид

$$\mathbf{T} = \mathbf{T}_n \times e^{-\frac{\Delta \Theta}{15}}, \quad (13)$$

где $\Delta \Theta$ – разность температур между установившимся значением температуры и допустимым значением для соответствующего класса изоляции. Суммарный относительный использованный ресурс \mathbf{T}^* при отклонении параметров ПКЭ от нормативных значений определяется выражением [9, 10]:

$$\mathbf{T}^* = \sum \mathbf{T}_i^* = \sum \left(\frac{t_i}{\mathbf{T}_n} \times e^{\left(\frac{\Delta \Theta_{\text{нес}}}{\Delta \Theta} \right)} \right). \quad (14)$$

где t_i – время работы изоляции при превышении температуры из-за наличия отклонения параметров ПКЭ от нормативных значений,

$\Delta \Theta_{\text{нес}}$ – температура самой загруженной фазы определяется выражением [7]:

$$\Delta \Theta_{\text{нес}} = \Delta \Theta_n \left[(1 + \Delta U)^2 (1 + k_{2U}^2 + 2k \cos(f_1 - f_2)) \right] \quad (15)$$

Остаточный срок службы изоляции будет равен:

$$\mathbf{T}_{\text{ост}}^* = \mathbf{T}_n - \mathbf{T}^*. \quad (16)$$

$\Delta \mathbf{Z}_{\text{увел.врем.обсл.}}$ – затраты, связанные с увеличением времени обследования больного на МО, вызванного отклонением параметров ПКЭ. Проведенные исследования влияния отклонения напряжения на качество

полученных изображений при обследовании больных на РКТ и МРТ, показали, что при снижении на клеммах МО уровня напряжения на 8% качество изображения ухудшается на (20-25) %, при этом возрастает вероятностная ошибка в постановке диагноза. Для сохранения качества изображения, при пониженном напряжении, необходимо увеличить время обследования больного. Нормативное время обследования больного на МРТ и РКТ составляет в среднем 30 минут при номинальном напряжении сети и возрастает до 50 минут при снижении значения напряжения на 8%.

Зависимость производительности медоборудования от уровня отклонения напряжения подчиняется квадратичному закону и имеет вид:

$$P_{\Delta U} = P_{U_n} + k\Delta U^2, \quad (18)$$

где – k коэффициент характеризующий конструктивные параметры и мощность МО, для МРТ типа Hitachi AIRIS Vento2007 г. выпуска, мощностью излучения 0,3 Тесла, $k = 3125$.

Временной ущерб при уменьшении производительности МО за счет снижения напряжения определяется выражением:

$$\Delta U_{\text{произ}} = C_{\text{нор. час}} \left(\frac{1}{P_n} - \frac{1}{P_{\Delta U}} \right) \quad (19)$$

где: $C_{\text{нор. час}}$ – стоимость обследования больного;

P_n – время обследования больного при номинальном значении напряжении на клеммах МО;

$P_{\Delta U}$ – время обследования больного при снижении уровня напряжения на клеммах МО.

Аварии, коммутационные переключения и неполадки в питающей сети могут быть причиной возникновения внутренней поломки МО и его простоя. Статистические данные причин отключения, простоя и прекращения исследования больных на ультразвуковой, рентгеновской и магниторезонансной томографической аппаратуре приведены в табл. 7. Данные получены от научно-производственного предприятия «НВП Инфотехмед» г. Тернополя и ряда медицинских учреждений г. Мариуполя

Таблица 7 – Статистические данные поломок и аварий медоборудования

№/№	Вид повреждения	Количество выхода из строя, %	Причина повреждения
1	Отсутствие напряжения питания	3-5	Повреждение силового и коммутационного оборудования, плановые и аварийные переключения в сети
2	Отсутствие тока в одной из фаз питания	5-7	Неполнофазный режим питающей сети, обрыв токоведущего соединения, ослабление контакта токоведущего соединения
3	Аварийное отключение и поломка инвертора	3-4	Провал напряжения в питающей сети длительностью менее 01 с.
4	Внутренние поломки и аварии	80-84	Не связанные с питающей сетью

Выводы

Разработка методов снижения дополнительных затрат и повышения надежности работы МО является актуальной задачей, решение которой позволит медицинскому персоналу проводить обследование больного с минимальными затратами в регламентные сроки, при заданной надежности работы медоборудования.

Данные, приведенные в табл. 7, показывают, что до 14 % причин возникновения аварий и неработоспособности медоборудования связаны с аварийными, технологическими, профилактическими и другими отключениями в питающей сети. Особенно чувствительными устройствами к провалам напряжения являются РКТ. Установка блоков бесперебойного питания не решает защиту РКТ от провалов и несанкционированных отключений, требующих разработки специальных средств защиты.

Список литературы

1. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения, ГОСТ 13109-97, Дата введения 1999-01-01.
2. Жежеленко И. В., Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 252 с.

3. Жежеленко И. В., Показатели качества электроэнергии на промышленных предприятиях. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 168 с.
4. Сыромятников И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / Под ред. М. Л. Мамиконянца.- М.: Энергоатомиздат, 1984.- 240с.
5. Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л., Горпинич А. В. Влияние качества электроэнергии на надёжность асинхронных двигателей // Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро). – 2004. – № 1. – С. 15 – 21.
6. Василенко С. В., Кривоносов В. Е. «Управлением ресурсом работы асинхронного двигателя в условиях несимметрии питающей сети // Василенко В. В., Кривоносов В. Е. Научный вестник ЛГМА, выпуск №2 (10Е) –Краматорск: ДГМА, 2012.- С 14-24.
- 7.Кривоносов В.Е. Управлением сроком службы изоляции по скоростным характеристикам нагрева / Кривоносов В.Е., Василенко С.В.// Електротехніка и енергетика; сб. науч., тр. выпуск №11.- Донецк: ДонНГУ.2011.-С.205-210.
8. Пинчук О. Г. Оценка токов и температур асинхронных двигателей мощностью до 400 кВт при различных характеристиках несимметрии сети: методические подходы // Вестник национального технического университета "ХПИ": сб. науч. тр.: темат. вып. / "Харьковский политехнический ин-т", нац. техн. ун-т. - Х.: НТУ "ХПИ", 2008. – Вып. 7: Проблемы совершенствования электрических машин и аппаратов. - С. 89-98.
9. Закладний О. О. Оцінка залишкового ресурсу асинхронного електропривода // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво»: Збірник наукових праць. – Київ: НТУУ «КПІ»: ЗАТ «Техновибух», 2010, – Вип. 19. С. 137-146.
10. Кривоносов В. Е., Василенко С. В. Моделирование тепловых режимов работы асинхронных двигателей // Зб. наук. пр. VI Міжнар. наук. конф. “Ефективність і якість електропостачання промислових підприємств”. – Маріуполь, 2008. – С. 311 – 314.
- Стаття надійшла: 04.02.2018.

Сведения об авторах

Коваль Леонід Григорович – к. т. н., доцент, заступник завідувача кафедри БМІ з наукової роботи.
Кривоносов Валерій Єгорович – доцент.
Бачинський Михайло Володимирович – к. т. н., доцент.
Балалаєва Олена Юрійвна – к. т. н., ст. викл, Приазовського державного технічного університету, м. Маріуполь
Барановський Дмитро Миколайович – аспірант.

Л. Г. Коваль¹, В. Є. Кривоносов², М. В. Бачинський³, О. Ю. Балалаєва²,
 Д. М. Барановський¹

ВПЛИВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА РОБОТУ ДІАГНОСТИЧНОГО МЕДИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

1 – Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

2 – Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь

3 – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль

L. G. Koval¹, V. E. Krivonosov², M. V. Bachinsky³, E. Yu. Balalaeva²,

D. M. Baranovskyi¹

INFLUENCE OF QUALITY OF ELECTRICITY ON THE WORK OF DIAGNOSTIC MEDICAL EQUIPMENT

1 – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

2 – Pryazovskyi State Technical University, Mariupol

3 – Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil