

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Объект авторского права
УДК 620.9: 614.2(64)

АИТ БАХАЖУ МОХАМЕД
(Ait Bahajou Mohamed)

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ КРУПНЫХ БОЛЬНИЧНЫХ
КОМПЛЕКСОВ В УСЛОВИЯХ МАРОККО**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.14.01 – энергетические системы
и комплексы

Минск, 2024

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете.

Научный
руководитель

РУСАН Викентий Иванович,
доктор технических наук, профессор

Официальные
оппоненты:

КОРОТКЕВИЧ Михаил Андреевич,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электрические системы» Белорусского национального технического университета

ГАРКУША Карина Эдуардовна,
кандидат технических наук, доцент, декан факультета довузовской подготовки и профориентации молодежи Белорусского государственного аграрного технического университета

Оппонирующая
организация

Республиканское научно-производственное
унитарное предприятие «Институт энергетики
НАН Беларуси»

Защита состоится 6 марта 2024 г. в 14⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.01 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, корп. 2, ауд. 201, телефон ученого секретаря 8 (017) 293-92-16, e-mail: pte@bntu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан 6 февраля 2024 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
кандидат технических наук, доцент



А. А. Бобич

ВВЕДЕНИЕ

Королевство Марокко – государство в Северной Африке, отделенное от Европы Гибралтарским проливом, занимающее площадь 710 тыс. км², с численностью населения около 30 млн человек. По государственному устройству Марокко – конституционная монархия. Марокко – аграрная страна, имеющая ряд достаточно развитых отраслей промышленности (горнодобывающая, химическая, переработка фосфатов, нефтеперерабатывающая, пищевая, текстильная и некоторые другие). Экономика Марокко характеризуется внешней направленностью, с целью которой в стране заключено несколько соглашений о свободной торговле с рядом государств. Национальное производство энергоносителей для развития экономики обеспечивает только 4 % потребностей страны, в связи с чем большая часть электроэнергии импортируется из других стран. При недостаточности углеводородных ресурсов и в значительной степени зависимости от импорта энергоносителей планируется большую часть своих потребностей обеспечить за счет солнечной энергии и энергии ветра. В связи с этим принята новая энергетическая стратегия, согласно которой к 2025 г. поставлена задача снижения потребления энергии на 12–15 % и обеспечения ее производства на 40 % за счет возобновляемых источников энергии.

Проблема энергоэффективного энергообеспечения является весьма актуальной для больничных учреждений Марокко, которые являются крупными потребителями электрической энергии. Ее удельное потребление составляет от 330 до 345 кВт·ч/м² в год. При этом электрическая энергия сегодня является практически единственным видом энергии в больницах Марокко. В основном электроэнергия в больницах потребляется биомедицинским и стерилизационным оборудованием, станциями обработки воздуха и кондиционирования, используется на нужды отопления и горячего водоснабжения, освещения, кухни, компьютерного и информационного обеспечения.

Повышение энергоэффективности больничных учреждений Марокко позволит обеспечить более высокий уровень медицинского обслуживания населения страны и его благосостояние. Все это напрямую входит в предмет исследований представленной работы и обосновывает ее актуальность.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете (БНТУ) в соответствии с планом научно-исследовательских ра-

бот кафедры «Электроснабжение», утвержденным научно-техническим советом БНТУ. Тема диссертации одобрена Советом энергетического факультета БНТУ (протокол № 1 от 23.09.2010) и утверждена приказом ректора БНТУ от 13.12.2010 № 5593 и соответствует задачам, определенным Директивой Президента Республики Беларусь от 14.06.2007 № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства» и директивой Президента Республики Беларусь от 26.01.2016 «О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства»; указами Президента Республики Беларусь от 18.05.2015 № 209 «Об использовании возобновляемых источников энергии»; и от 24.09.2019 № 357 «О возобновляемых источниках энергии» и соответствует Перечню приоритетных направлений научных исследований (утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 19.04. 2010 № 585) по разделу 1 «Энергообеспечение, энергосбережение, энергоэффективность, энергоэффективные технологии» (п. 1.1. Энергетическая безопасность, надежность энергоснабжения, прогнозирование развития производства и потребления энергии и п. 1.5. Использование возобновляемых источников энергии, вторичных энергоресурсов и местных видов топлива), а также задачам стратегии Марокканской энергии (инвестиционная хартия – закон от 8.10.1995 № 18-95; закон от 11.02. 2010 № 13-09 по возобновляемым источникам энергии; закон № 57-09 создания марокканского агентства по солнечной энергии «Мейсен» и закономерностей развития солнечных проектов.

Цель и задачи исследования

Цель исследований: разработать научно-методологическое обеспечение повышения энергоэффективности крупных больничных комплексов в условиях королевства Марокко.

Для достижения указанной цели в диссертации были поставлены и решены следующие задачи исследования:

1. Проанализировать состояние экономики и энергетики Королевства Марокко и оценить энергоэффективность обеспечения крупных больничных комплексов Марокко.

2. Обосновать и разработать методологию исследования эффективности электропотребления больничных учреждений Марокко на основе кластерного анализа, разработать энергетический паспорт зданий и методику энергоаудита больничных учреждений.

3. Разработать принципы и направления эффективного обеспечения больничных учреждений в контексте развития возобновляемой энергетики Марокко.

4. Разработать и внедрить методы и средства повышения энергетической эффективности больничных учреждений Марокко.

Объект исследования: электроэнергетическая система крупных больничных комплексов Королевства Марокко.

Предмет исследования: энергоэффективность системы энергообеспечения и электропотребления крупных больничных комплексов в условиях Королевства Марокко.

Научная новизна

Впервые для больничных учреждений Королевства Марокко разработана методика исследования эффективности энергопотребления с применением кластерного анализа, позволяющая оперативно оценивать состояние энергопотребления больничных учреждений, выявлять критически значимых потребителей с определением технических решений по снижению энергопотребления, внедрение которых снижает энергопотребление больничных учреждений на 30–50 %.

Впервые для больничных учреждений Королевства Марокко разработана методика составления энергетического паспорта, учитывающая условия местности, позволяющая определять баланс энергопотребления и оценивать показатели эффективности использования энергетических ресурсов, что способствует наведению порядка в учете их расхода и повышать эффективность их использования.

Впервые для больничных учреждений Королевства Марокко разработана методика определения структуры и состава интегративных систем энергообеспечения, учитывающая метеорологические условия местности нахождения медучреждений, характеристики энергетического баланса, режимные характеристики энергетических нагрузок, стоимость электроэнергии, получаемой из энергосистемы страны, удельная стоимость капиталовложений энергоисточника, продолжительность и интенсивность солнечной радиации, позволяющая на основе технико-экономического обоснования осуществлять выбор оптимального варианта энергообеспечения больничных учреждений.

Разработана новая конструкция генератора получения охлажденной воды, использующего потенциал холода систем кислородообеспечения путем дополнения схемы установки дросселирования теплообменным аппаратом типа «жидкость – крион», применение которого позволяет ускорить процесс генерации газообразного кислорода и снизить потребление энергии в системе энергообеспечения больничных комплексов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика исследования эффективности энергопотребления на основе кластерного анализа, позволяющая оперативно оценивать состояние энергопотребления больничных учреждений Королевства Марокко,

выявлять критически значимых потребителей с определением технических решений по снижению энергопотребления, внедрение которых снижает энергопотребление больничных учреждений на 30–50 %.

2. Методика составления энергетического паспорта, учитывающая условия местности, позволяющая определять баланс энергопотребления и оценивать показатели эффективности использования энергетических ресурсов, что способствует повышению эффективности их использования.

3. Методика определения структуры и состава интегративных систем энергообеспечения, учитывающая метеорологические условия местности нахождения медучреждений, характеристики энергетического баланса, режимные характеристики энергетических нагрузок, стоимость электроэнергии, получаемой из энергосистемы страны, удельная стоимость капиталовложений энергоисточника, продолжительность и интенсивность солнечной радиации, позволяющая на основе технико-экономического обоснования осуществлять выбор оптимального варианта энергообеспечения больничных учреждений Королевства Марокко.

4. Новая конструкция генератора получения охлажденной воды, использующего потенциал холода систем кислородообеспечения путем дополнения схемы установки дросселирования теплообменным аппаратом типа «жидкость – крион».

Личный вклад соискателя ученой степени

Основные научные и практические результаты диссертации, положения, выносимые на защиту, получены автором лично в процессе обобщения и обработки экспериментальных и теоретических данных, представленных в работе.

Соискатель принимал участие в написании научных статей в соавторстве, планировании, реализации, аналитической обработке материалов проведенных исследований, формулировке основных положений и выводов, осуществлении внедрения и технико-экономической оценке эффективности разработок.

Апробация результатов диссертации и информация об их использовании

Основные результаты работы обсуждались на международных научно-технических конференциях (МНТК): XIV, XV МНТК «Наука – образованию, производству, экономике» (Минск, БНТУ, 2016, 2017 г.).

Многие результаты диссертационной работы уже используются в больничных учреждениях Марокко. К таким относятся такие, например, как методика проведения энергетических обследований (энергоаудита), генератор холодной воды, ряд энергосберегающих мероприятий и др.

Опубликованность результатов диссертации

Основные положения диссертации опубликованы в 9 основных работах, в том числе 7 статьях в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК Республики Беларусь, 2 публикаций в научно-технических журналах и материалах научно-практических конференций. Общий объем опубликованных материалов – 4,2 авторских листов (из них 4,1 авторских листа в соавторстве).

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников, списка публикаций соискателя и приложений. Полный объем диссертации 100 страниц. Работа содержит 79 страницы машинописного текста, 11 рисунков на 11 страницах и 12 таблиц на 6 страницах. Список использованных источников в количестве 92 наименований на 6 страницах, из них 21 на иностранных языках, 12 авторских работ на 2 страницах и 5 приложений на 12 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первой главе приводятся краткие сведения о Королевстве Марокко и экономике страны, которая характеризуется внешней направленностью. Анализ энергетики Марокко показал, что королевство импортирует большую часть потребляемой энергии, в том числе и в виде необходимых для ее производства нефтепродуктов и угля. В Марокко национальное производство энергоносителей обеспечивает только 4 % потребностей страны, при этом для производства более 95 % электроэнергии используется импортное углеводородное топливо.

Одними из основных потребителей электроэнергии являются больничные учреждения, энергоэффективность которых крайне недостаточная.

В целом медицинские учреждения Марокко являются крупными потребителями электрической энергии, для которых характерны непрерывность потребления, жесткие требования к состоянию среды в помещениях, высокая энергоемкость оборудования. Удельное энергопотребление в больницах

составляет от 330 до 345 кВт·ч/м² в год, что в 2–3 раза выше, чем в северных странах (Дания, Норвегия и др.). Причем электрическая энергия сегодня является практически единственным видом энергии в больницах Марокко. В основном электроэнергия в больницах потребляется биомедицинским и стерилизационным оборудованием, на нужды отопления и горячего водоснабжения, станций обработки воздуха и кондиционирования, освещения, кухни, компьютерного и информационного обеспечения. В таблице 1 представлено соотношение между этими видами потребления для крупной больницы Марокко.

Таблица 1 – Потребление электроэнергии в больнице Марокко

№ п/п	Потребитель	Месячное потребление, МВт·ч	Доля потребления
1	Биомедицинское оборудование	100,629	30,50
2	Освещение	68,625	20,80
3	Кондиционирование/отопление	63,003	19,09
4	Информационное, компьютерное оборудование	5,279	1,60
5	Горячая вода для санитарных нужд	2,639	0,80
6	Нагреватели	3,975	1,21
7	Жилые помещения медперсонала	25,735	7,50
8	Элитные услуги	33,653	10,20
9	Прочее	21,775	6,60
10	Итого	329,930	100

Как показал энергетический аудит, более 70 % электропотребления приходится на биомедицинское оборудование, освещение и кондиционирование/отопление. Замена устаревшего оборудования и оптимизация его состава, согласно расчетам, позволят снизить потребление электрической энергии не менее чем на 390 МВт·ч в год и уменьшить счета больницы за электроэнергию более чем на 10 %.

В связи с изложенным выше сформулированы основные задачи исследования, целью которых является повышение энергоэффективности больничных учреждений на основе системного подхода и технико-экономических обоснований различных энергосберегающих мероприятий.

Во второй главе представлена методология исследования электропотребления БУМ, основной составляющей которой является методика проведения энергетических исследований БУМ в Королевстве Марокко.

Энергетическая политика и стратегия в области энергоэффективности БУМ должны разрабатываться на основе системного подхода с учетом совокупности существенных внешних и внутренних факторов. На рисунке 1 приведена схема, отображающая совокупность этих факторов, которые необходимо учитывать при разработке, внедрении и поддержании энергетического менеджмента и системы управления электроэнергией больницы.



Рисунок 1 – Совокупность факторов, подлежащих анализу при внедрении и поддержании систем энергетического менеджмента и управления использованием электроэнергии в больничном учреждении

К ограничительным факторам относятся, например, природно-климатические условия, экономическая ситуация и инвестиционный климат, виды первичной энергии и т. п. Среди факторов, на которые можно воздействовать в той или иной степени, – виды потребляемой энергии, энергетические

характеристики здания, выбор поставщика электроэнергии и вида контракта с ним, состав и режимы эксплуатации основного лечебного и вспомогательного оборудования и др.

Для вновь строящихся больниц существенным является координация между проектировщиками, архитекторами, техническими и медицинскими экспертами для обеспечения наилучших энергетических характеристик зданий при удовлетворении требований норм и стандартов к лечебным и операционным помещениям.

В соответствии с Государственным контрактом с агентством энергетических обследований с участием автора разработана «Методика проведения энергетических обследований (энергоаудита) больничных учреждений», которая издана тиражом 200 экземпляров и направлена во все регионы Марокко.

Энергетическое обследование больничного учреждения выполняется в такой последовательности:

1. Предварительный контакт с руководителем. Ознакомление с основными потребителями энергоресурсов, общим построением системы энергоснабжения. Заключение общего договора на последующую деятельность.

2. Сбор документальной информации об организации.

3. Инструментальное обследование систем энергоснабжения.

4. Обработка результатов обследования и их анализ.

5. Разработка мероприятий по энергосбережению.

6. Разработка программы по энергосбережению.

7. Разработка энергетического паспорта больниц.

Основными результатами энергетического обследования являются:

– энергетический паспорт больниц;

– программа по энергосбережению.

На основе методики измерений составляются графики измерения нагрузок во времени $I(t)$, $P(t)$, $Q(t)$. В процессе энергоаудита необходима запись как индивидуальных, так и групповых графиков нагрузки.

Основными характеристиками работы электроприемников являются: коэффициент загрузки K_3 , коэффициент включения K_B и $\text{tg}\varphi$. Эти характеристики определяются по выражениям:

$$K_3 = P_{\text{св.в}} / P_{\text{ном}}; \quad (1)$$

$$K_B = t_B / t_{\text{ц}}; \quad (2)$$

$$\text{tg}\varphi = Q_{\text{св.в}} / P_{\text{св.в}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{св.в}}$, $Q_{\text{св.в}}$ – средняя за время включения активная и реактивная нагрузки;

t_B – время включения электроприемника;

$t_{\text{ц}}$ – то же цикла работы электроприемника.

Групповые графики нагрузки должны записываться как минимум двое суток: одни сутки – рабочий день и одни сутки – выходной день. Если в течение недели ритм работы обследуемого объекта меняется, то необходима недельная запись графиков нагрузки. По групповым графикам определяются следующие характеристики:

- 1) суточный максимум активной и реактивной нагрузки (P_M и Q_M);
- 2) коэффициент мощности в период максимума нагрузки

$$\operatorname{tg}\varphi_M = Q_M / P_M; \quad (4)$$

- 3) суточный расход активной и реактивной энергии ($W_{\text{сут}}$, $V_{\text{сут}}$);
- 4) средневзвешенный за сутки коэффициент реактивной мощности

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{сут}} = W_{\text{сут}} / V_{\text{сут}}; \quad (5)$$

- 5) средние за сутки активная и реактивная мощности ($P_{\text{ср.сут}}$, $Q_{\text{ср.сут}}$):

$$P_{\text{ср.сут}} = W_{\text{сут}} / 24; \quad (6)$$

$$Q_{\text{ср.сут}} = V_{\text{сут}} / 24. \quad (7)$$

Проведенные исследования показали, что одной из самых энергоемких групп учреждений является лечебный сектор, который состоит из 143 учреждений. Данные по всей совокупности учреждений были взяты из информационной базы Министерство здравоохранения Королевства Марокко в 2011 г. В качестве основных показателей, характеризующих каждое конкретное учреждение или их группу, для целей работы приняты запланированный и фактический объем потребления электрической энергии.

Все 143 лечебных учреждения подразделяются на семь характерных групп (научные центры, линейные больницы и т. д.). Суммарные данные по группам по запланированному и фактическому электропотреблению за три года имеющейся статистики представлены в таблице 2. Установлено, что по каждой группе учреждений наблюдается определенный перерасход электроэнергии относительно плановых значений, что в сумме дает до 10–12 % перерасхода электроэнергии за год по всему министерству.

Таблица 2 – Суммарное электропотребление по группам БУМ (млн кВт·ч за 2011–2015 гг.

№ п/п	Группа больничных учреждений	Количество, шт.	Количество коек	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
1	Генеральная и специализированная университетская больница (HGU-HSU) (ГСУБ)	20	6935	104,5	100,4	119,6	130,6	133,2
2	Генеральная и специализированная провинциальная больница (HGP-HSP) (ГСПБ)	75	10893	71,9	73,6	76,3	82,9	82,6
3	Генеральная и специализированная областная больница (HGR-HSR) (ГО РОБ)	25	8179	24,2	24,6	22,0	23,7	24,1
4	Местная больница (HL) (МБ)	23	1739	7,7	8,7	7,9	8,5	8,4
Суммарное электропотребление		143	27746	208,3	207,3	225,8	245,7	248,3

Для обоснованного решения проблемы снижения энергопотребления необходимо найти формализованные подходы к классификации БУМ, основанные на современных информационных технологиях и математических методах.

Теоретической основой подобной классификации могут служить методы кластерного анализа, задачей которого является разбиение множества объектов (в нашем случае БУМ) на подмножества или кластеры. В результате такого анализа на основании предварительно заданных переменных формируются группы объектов. Члены одной группы (подмножества или кластера) должны обладать близкими значениями переменных, а члены разных групп – различными. В качестве удельных показателей мы использовали значения удельного электропотребления.

Теоретические принципы кластерного анализа состоят в следующем. Пусть задана совокупность объектов (лечебных учреждений), описываемых l признаками (в нашем исследовании $l = 4$). В пространстве описания каждый объект представляется l -мерным вектором или точкой, координатой которой является значение соответствующих признаков. Исходную выборку необходимо разбить на однородные в некотором смысле классы (кластеры), причем априорная информация о числе групп и характере распределения объектов внутри каждой группы отсутствует.

При этом должен соблюдаться критерий оптимальности разбиения, который представляет собой некоторый функционал, выражающий уровни необходимости различных разбиений. Функционал в данном случае можно назвать целевой функцией. В общем случае следует рассматривать значение целевой функции в сочетании с желаемым числом групп.

Анализ планового и фактического электропотребления по семи группам учреждений Минздрава за три года показал превышения на 10–12 %.

Анализируя распределение учреждений по значениям удельных показателей графически в разных осях, определены группы учреждений, значительно отличающиеся от остальных по своим характеристикам. Первой задачей, решаемой при автоматизированной классификации, должна быть задача выделения наиболее значимых признаков и определения размерности признакового пространства. Это решается путем анализа матрицы коэффициентов корреляции различных признаков. При выделении кластеров во множестве объектов надо иметь в виду, что большинство реальных классов «размыто» по своей природе в том смысле, что переход от принадлежности к непринадлежности для этих классов скорее постепенен, чем скачкообразен. Для объекта и класса вопрос принадлежности часто состоит не в том, принадлежит или не принадлежит, а точнее, с какой вероятностью данный объект принадлежит данному классу.

После выделения признакового пространства необходимо ввести понятие функции расстояния (метрики) между исследуемыми учреждениями в этом пространстве. В общем случае к метрике предъявляются следующие требования. Пусть $l(x_i, x_j)$ есть функция расстояния между объектами x_i и x_j . Тогда:

- 1) расстояние объекта до самого себя равно нулю, т. е.

$$l(x_i, x_j) = 0 \rightarrow i = j; \quad (8)$$

- 2) расстояние от объекта x_i до объекта x_j равно расстоянию от x_j до x_i , т. е.

$$l(x_i, x_j) = l(x_j, x_i); \quad (9)$$

- 3) расстояние между двумя объектами, измеренное по прямой, короче расстояния, измеренного по любой другой линии (неравенство треугольника):

$$l(x_i, x_j) < l(x_i, x_k) + l(x_k, x_j). \quad (10)$$

Выбор конкретного вида метрики (или меры близости) является узловым моментом исследования, от которого решающим образом зависит окончательное разбиение на классы. При решении вопроса о выборе метрики следует исходить из физической и статистической природы объектов и из содержания решаемой задачи.

Наиболее часто используемое в задачах кластер-анализа метрики Евклидово расстояние:

$$l_a(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^l (x_i^{(k)} - x_j^{(k)})^2}. \quad (11)$$

Исходными данными в нашем случае являются значения удельного электропотребления по основным показателям работы лечебных учреждений Марокко. Генеральная совокупность составила 143 лечебных учреждения. На основе проведенного анализа разработана классификация БУМ по четырем группам и определено их суммарное электропотребление за 2011–2015 гг. (таблица 2).

Для каждой группы с учетом количества койко-дней и числа пациентов определены удельные показатели электропотребления (таблица 3).

Таблица 3 – Удельное электропотребление по группам БУМ (кВт·ч) за 2011–2015 гг.

№ п/п	Группы БУМ	2011 г.		2012 г.		2013 г.		2014 г.		2015 г.	
		койко-день	пациент	койко-день	пациент	койко-день	пациент	койко-день	пациент	койко-день	пациент
1	ГСУБ	99,23	719,32	83,94	587,76	94,95	664,82	90,16	605,03	87,59	649,6
2	ГСПБ	104,53	237,81	74,83	231,03	76,80	234,75	66,79	170,12	57,81	178,25
3	ГСРОБ	41,24	159,51	40,0	145,81	30,29	111,00	26,0	95,63	26,77	102,1
4	МБ	159,66	155,0	106,33	153,91	72,43	132,80	57,95	93,9	54,64	77,48
5	Средние значения по БУМ	87,65	321,09	71,98	290,13	73,09	296,01	64,97	255,86	62,04	271,37

Эти данные характеризуют динамику электропотребления как по группам, так и в целом по БУМ. Полученные результаты могут быть использованы для нормирования, контроля расхода и прогнозирования электропотребления БУМ на перспективу, а также для разработки энергоэффективных мероприятий по снижению электропотребления.

Согласно нормативно-правовым актам, потребители ТЭР обязаны иметь энергетический паспорт установленного образца.

Энергетический паспорт потребителя топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) представляет собой единый документ, состоящий из расчетно-пояснительной записки и типовых табличных форм. Как было отмечено выше, при разработке энергетического паспорта используют данные по полному предыдущему (базовому) году работы предприятия и неполному текущему году. Поэтому все табличные данные паспорта содержат сведения за базовый и текущий годы. Типовые формы энергетического паспорта потребителя ТЭР в общем случае включают:

- титульный лист энергетического паспорта потребителя ТЭР;
- общие сведения о потребителе ТЭР;
- сведения об общем потреблении энергоносителей;
- сведения о фактических и расчетно-нормативных приходах и расходах электроэнергии с учетом нормативных потерь;
- технические и энергетические характеристики об источниках энергии;
- расчетно-нормативное потребление тепловой энергии по подразделениям и направлениям: технология, отопление, вентиляция, горячее водоснабжение;
- балансы потребления тепловой энергии;
- сведения об использовании ВЭР, альтернативных топлив и возобновляемых источников энергии;
- сведения о показателях эффективности использования ТЭР, содержащие информацию об удельных расходах энергии;
- сведения об энергосберегающих мероприятиях, содержащие информацию об энергоэффективных решениях по каждому виду ТЭР.

Содержание паспорта должно периодически обновляться в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами, как правило, один раз в пять лет и храниться на предприятии, в территориальном органе Государственного энергетического надзора и в организации, проводившей энергоаудит и заполнившей энергетический паспорт.

На основе изложенных положений разработан энергетический паспорт «Ибн Сина Рабат», а также типовые организационные и технические мероприятия по энергосбережению. (приведены в Приложениях 1–3 диссертации).

В **третьей главе** рассмотрены вопросы энергоэффективного обеспечения БУМ в контексте развития возобновляемой энергетики.

Изучен передовой опыт возобновляемой энергетики в мире и обоснованы перспективы ее развития в Марокко.

Возобновляемая энергия признана важной составляющей энергетики в XXI в., а ее эффективное использование – одно из направлений устойчивого энергообеспечения различных стран мира. Основное преимущество ВИЭ –

неисчерпаемость и экологическая чистота. В диссертации изложены задачи энергетической стратегии ЕС и мира до 2030 г.

В Марокко в настоящее время в результате использования энергии солнца, ветра и гидроэлектростанций производится 15 % выработанной в стране электроэнергии, к 2020 г. планируется довести этот показатель до 42 %, а к 2030 г. – до 52 %.

Основными критериями эффективности при решении поставленных задач являются ресурсная, экономическая, энергетическая и социальная значимости.

На основе оценки этих критериев определяется интегральная значимость для каждого объекта возобновляемой энергетики. Путем сопоставления интегральных оценок выбираются первоочередные объекты для финансирования и перспективные направления развития возобновляемой энергетики. Предложены методологические принципы и критерии оценки технико-экономической эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую.

Климатические условия Марокко, расположенного в субтропическом поясе, благоприятствуют развитию солнечной энергетики: в стране 300 дней солнечные.

В настоящее время в мире практическое применение нашли два метода преобразования солнечной энергии в электрическую: термодинамический и фотоэлектрический.

При термодинамическом способе с помощью зеркал концентрируют солнечную энергию на устройство, в котором рабочая жидкость нагревается до температуры, достаточной для получения электроэнергии на базе термодинамического цикла.

Фотоэлектрические системы – это солнечные батареи, скомпонованные из полупроводников, в которых фотоны солнечного спектра продвигают электроны и обеспечивают при этом разность электрических потенциалов вдоль запирающей зоны полупроводников.

Фотоэлектрическое преобразование энергии имеет достоинства: отсутствие движущихся частей, продолжительность работы может достигать 100 лет и более; обслуживание фотоэлектрических установок не требует высокой квалификации; они могут работать на базе как прямой, так и рассеянной солнечной радиации.

В этой главе также описаны методы расчета солнечных фотоэлектрических станций (СЭС), в том числе расчет параметров солнечной электростанции и ее мощность с регулятором и резервным дизель-электрическим генератором, а также расчет сетевого инвертора и требуемого комплекта последовательных цепей фотоэлектрических солнечных модулей. Здесь приводится метод расчета параметров солнечной электростанции.

Годовое потребление электрической энергии, вырабатываемой солнечной электростанцией:

$$E_{\text{эл}} = \frac{P_{\text{пик}}}{P_{\text{с пик}}} \frac{\eta}{\eta_{\text{эт}}} E_{\text{сол}}, \quad (12)$$

где $P_{\text{пик}}$ – пиковая мощность солнечной электростанции;

$P_{\text{с пик}}$ – пиковая мощность солнечной радиации при стандартных условиях;

η – эквивалентная среднегодовая эффективность преобразования солнечной энергии;

$\eta_{\text{эт}}$ – КПД эталонного фотоэлектрического модуля;

$E_{\text{сол}}$ – среднегодовая суммарная энергетическая освещенность в плоскости солнечного модуля.

Принимая, что количество пиковых солнце-часов

$$T_{\text{сол}} = E_{\text{сол}} / P_{\text{с пик}} \frac{\eta}{\eta_{\text{эт}}} = K,$$

получим

$$E_{\text{эл}} = K_{\text{р}} T_{\text{сол}} P_{\text{пик}}. \quad (13)$$

Для солнечной электростанции, присоединенной к энергосистеме, значения $K_{\text{р}} = 0,7-6,9$, для автономной электростанции $K_{\text{р}} = 0,5-0,7$.

Максимальные значения $K_{\text{р}}$ соответствуют работе солнечной электростанции в условиях среднегодовых отрицательных температур (например, в горной местности) и больших значениях энергетической освещенности E .

Напряжение солнечной электростанции определяется мощностью нагрузки и инвертора, КПД инвертора возрастает при увеличении входного напряжения.

В таблице 4 приведены рекомендации по выбору напряжения солнечного модуля или фотоэлектрической системы из скоммутированных солнечных модулей.

Таблица 4 – Выбор напряжения модуля СЭС

Мощность нагрузки, Вт	Напряжение, В
0–10	2–12
10–2000	12
1000–4000	24
4000–10000	28
10000–100000	60–120
20000–1000000	160–660

Количество солнечных модулей, соединенных последовательно:

$$N_{\text{посл}} = \frac{U_{\text{ном.м}}}{U_{\text{ном.м}}}. \quad (14)$$

Количество солнечных модулей, соединенных параллельно:

$$N_{\text{парал}} = \frac{P_{\text{пик}}}{P_{\text{пик.м}} N_{\text{посл}}}, \quad (15)$$

где $P_{\text{пик.м}}$, $U_{\text{ном.м}}$ – пиковая мощность и номинальное напряжение модуля.

Установлено, что более эффективными по форме являются солнечные батареи в виде круга.

Четвертая глава посвящена разработке методов и средств повышения энергоэффективности БУМ.

Энергетические аудиты крупных больничных комплексов Марокко (КБМ) показали, что на их освещение расходуется от 30 до 50 % потребляемой электроэнергии, что значительно превышает аналогичные показатели промышленных предприятий развитых стран. Между тем существенной экономии электроэнергии можно было бы добиться за счет изменения подходов к повышению энергоэффективности осветительных систем. Эффективной следует считать такую систему освещения, которая создает высококачественное освещение и сохраняет свои характеристики на протяжении длительного времени работы при наименьших капитальных и эксплуатационных затратах, в том числе при минимальном электропотреблении.

Экономия электрической энергии в результате реализации энергосберегающих мероприятий может быть достигнута за счет уменьшения установленной мощности освещения или времени наработки освещения за год, в том числе путем: оптимизации использования естественного освещения; применения новых эффективных светильников или модернизации существующих; использования новых эффективных источников света (ламп) и соответствующей пускорегулирующей аппаратуры в существующих светильниках; правильного выбора мощности ламп и рационального размещения светильников; организации управления освещением и его автоматизации; рациональной организации эксплуатации осветительных установок и др.

В последние годы во многих странах успешно внедряются новые источники света – светодиоды, которые получили широкое применение в больнице «Ибн Сина». Одним из примеров эффективного решения проблемы

больничного освещения являются светильники, разработанные в Республике Беларусь для учреждений здравоохранения серии ЛБО12 (ТУ 00214296.018–98).

Также эффективным способ экономии электроэнергии в осветительных установках – использование систем управления освещением. Они поддерживают требуемые (нормируемые) уровни освещенности в процессе эксплуатации осветительных установок (ОУ) в соответствии с заданной программой, исключая перерасход электроэнергии.

Экономия электроэнергии от внедрения автоматического управления можно определить по выражению

$$W_{ГЭАвт} = (K_{Э.а} - 1) W_{Г.О}, \quad (16)$$

где $W_{ГЭАвт}$ – коэффициент эффективности автоматического управления, который зависит от сложности систем управления (таблица 5);

$W_{Г.О}$ – годовое потребление электроэнергии данной системой освещения.

Таблица 5 – Коэффициент эффективности автоматизации управления освещением

№ п/п	Уровень сложности системы автоматического управления освещением	$K_{Э.а}$
1	Контроль уровня освещенности и автоматическое включение и отключение системы освещения при критическом значении E	1,1–1,15
2	Зонное управление освещением (включение и отключение освещения дискретно, в зависимости от зонного распределения естественной освещенности)	1,2–1,25
3	Плавное управление мощностью и световым потоком светильников в зависимости от распределения естественной освещенности	1,3–1,4

Особенно перспективным представляется автоматическое управление системами освещения открытых территорий (СООТ), затраты на электроэнергию которых оцениваются до 30 % от всех затрат на освещение. Эффективное дистанционное управление режимами работы СООТ основано на применении GSM/GPRS технологий и позволяет оперативно получать информацию о текущем состоянии оборудования и режиме его работы. Структурная схема управления СООТ представлена на рисунке 2.

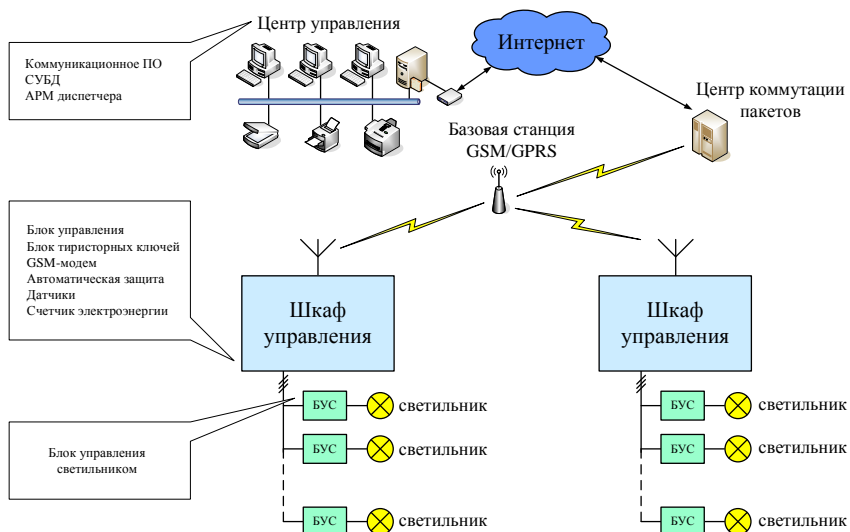


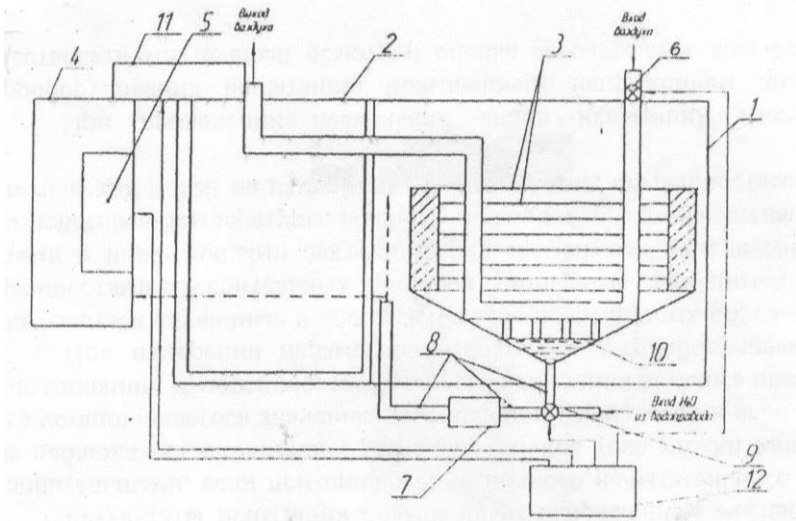
Рисунок 2 – Структурная схема системы управления СООТ

Основные функции энергоэффективной системы управления СООТ, обеспечивающие ее конкурентные преимущества, следующие: адресное управление светильниками, позволяющее выполнять включение, отключение, регулировку светового потока по астрономическому времени, географической координате, местоположению объектов и требованиям к режимам их освещения; автоматическая диагностика системы освещения, в основу которой положена авторская технология локализации неисправных ламп и мест обрывов линии; передача сигналов управления светильникам по сети электроснабжения с использованием модуляции основной гармоники напряжения сети (авторская технология); централизованный коммерческий учет электроэнергии, сигнализация аварийных режимов и несанкционированного вмешательства.

В БУМ широко используется кислород в медицинских, лабораторных и других целях. Потребление кислорода в больницах Марокко огромно. Так, например, в больнице Авицена ежегодное потребление жидкого кислорода составляет около 400 т, а в больнице «Ибн Сина» – более 500 т.

Для обработки 1 кг O_2 затрачивается около 0,8 кВт·ч электроэнергии (около 1500 кВт·ч в день), в связи с чем возникает проблема энергосбережения. Одним из высокотехнологичных способов решения этой проблемы является использование рекуперативных теплообменников. Эта технология использована в разработанной комплексной энергосберегающей системе

производства и использования холодной воды, составной частью которой является генератор холодной воды (рисунок 3).



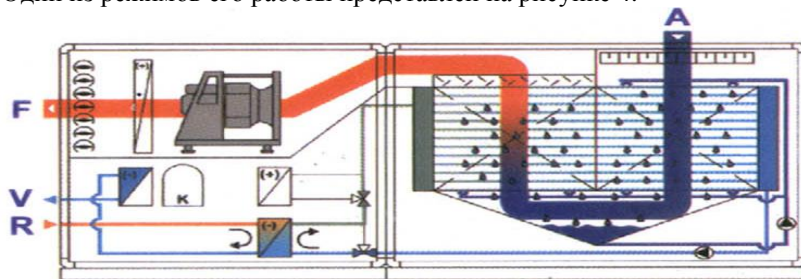
1 – закрытая ригельная установка; 2 – теплообменник с двойными стенками; 3 – пластинчатый теплообменник; 4 – холодильная установка; 5 – компрессор; 6 – вентиль воздуха; 7 – насос; 8 – трубопроводы; 9 – вентиль воды; 10 – поддон; 11 – система орошения; 12 – электронный контроллер

Рисунок 3 – Структурная схема генератора холодной воды

Структурно генератор холодной воды состоит из градирни, включающей теплообменник с двойными стенками 2 и пластинчатый теплообменник 3 холодильной установки 4 с компрессором 5. Подача воздуха в закрытую ригельную установку 1 регулируется вентилем воздуха 6. Подпитка водой из водопровода в закрытой испарительной установке 1 производится насосом 7 посредством размещенного на трубопроводе вентиля воды 9, соединенного с поддоном 10 пластинчатого теплообменника 3, в который воздух поступает через вентиль 6. Работой всех функциональных устройств, блоков и контролем их параметров руководит электронный контроллер 12. Система орошения 11 функционально связывает закрытую испарительную установку 1 с холодильной установкой 4.

Благодаря новейшей Scroll-системе «винтового» компрессора холодильной машины, а также применению высокоэффективных испарителей с низкой температурой конденсации хладагента в закрытой «испарительной градирне» удастся достичь наивысшей мощности генератора холода.

Один из режимов его работы представлен на рисунке 4.



А – наружный воздух; F – выброс; V – подающая; R – обратная

Рисунок 4 – Технологический режим работы

Технико-экономические преимущества разработанного генератора холодной воды состоят в следующем:

- 1) температурный диапазон охлаждаемой воды из-за дополнительного использования холодильной машины возрастает в среднем в два раза;
- 2) производительность генератора холодной воды повышается более чем в два раза в результате использования в нем холодильной машины;
- 3) надежность работы генератора холодной воды повышается более чем в полтора раза вследствие упрощения его конструкции;
- 4) промышленное освоение предлагаемого генератора холодной воды осуществлено на предприятиях машиностроительной отрасли;
- 5) внедрение генератора холодной воды в больнице «Авиценна» обеспечило экономию электрической энергии около 35 тыс. кВт·ч год.

На основе проведенных исследований разработаны энергосберегающие мероприятия для БУМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. В ходе литературного обзора по теме диссертации и анализа балансов энергопотребления предприятий Королевства Марокко выявлено, что одними из крупнейших потребителей электроэнергии являются больничные учреждения, удельное энергопотребление которых достигает $330\text{--}345 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год, что в значительной мере превышает показатели аналогичных предприятий в

развитых странах. Так как более 95 % электроэнергии в Королевстве Марокко производится с использованием импортируемого углеводородного топлива, актуальным является разработка методологии исследования энергопотребления больничных учреждений Марокко с целью повышения их энергоэффективности путем внедрения организационно-технических мероприятий [1; 2; 5; 8].

2. Научно обоснована и разработана методология исследования эффективности энергопотребления для больничных учреждений применительно к условиям Королевства Марокко, позволяющая на основе применения кластерного анализа, оперативно оценивать состояние энергопотребления больничных учреждений и выявлять критически значимых потребителей с определением технических решений по снижению энергопотребления, внедрение которых позволяет снизить энергопотребление больничных учреждений на 30–50 %. Разработанная методология, апробирована путем выполнения энергетических аудитов и составления энергетических паспортов для ряда больничных учреждений [2; 3; 4; 7; 8; 11].

3. Установлено что, несмотря на высокую интенсивность солнечной радиации на территории Марокко, невозможно обеспечить качественное энергоснабжение больничных учреждений за счет только нетрадиционных источников энергии. Оптимальным вариантом является применение интегративных систем в составе собственного когенерационного источника на традиционных видах топлива, совместно с солнечной электростанцией, выбор мощностей энергогенерирующего оборудования которых следует производить с учетом метеорологических условий местности нахождения медучреждений. Разработаны методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию применения состава оборудования интегративных систем энергоснабжения больничных учреждений, применительно к условиям Королевства Марокко, в зависимости от совокупности ряда факторов: стоимости электроэнергии, получаемой из энергосистемы страны, удельной стоимости капиталовложений энергоисточника, продолжительности и интенсивности солнечной радиации [6; 9; 10].

4. В ходе проведенных исследований также установлено, что значительное энергопотребление больничных учреждений в условиях Королевства Марокко связано с получением холодной воды. С целью снижения этих затрат была разработана новая конструкция генератора получения охлажденной воды, использующего потенциал холода систем кислородообеспечения, путем дополнения схемы установки дросселирования теплообменным аппаратом типа «жидкость – крион», применение которого позволяет ускорить процесс генерации газообразного кислорода и снизить потребление энергии в системе энергообеспечения больничных комплексов. Схема генератора холодной воды защищена свидетельством на полезную модель № 11888.


Экономия электроэнергии за счет внедрения генератора холодной воды для больницы «Авицена» г. Рабат составила 35 млн кВт·ч в год [4; 7; 12].

5. Полученные соискателем результаты исследования позволили разработать руководящий документ Министерства здравоохранения Королевства Марокко «Контроль потребления электроэнергии и качества электроэнергии в медицинских учреждениях», применение которого на практике позволяет оперативно проводить энергетическое обследование и формировать комплекс технических решений для повышения эффективности энергообеспечения больничных учреждений и обеспечения высокого уровня медицинского обслуживания населения страны.

Рекомендации по практическому использованию результатов диссертации

Реализация рекомендуемых методик и энергосберегающих мероприятий в условиях Королевства Марокко позволяет снизить удельное энергопотребление больничных учреждений в 1,5–2,0 раза [6; 8; 12].

Результаты диссертационной работы используются на учебной базе Госпиталя Ибн Сина города Рабат (акт использования).



СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в рецензируемых журналах и в научных изданиях, входящих в перечень ВАК Республики Беларусь

1. Аит Бахажу, М. К вопросу управления использованием электроэнергии в больничных учреждениях Марокко / М. Аит Бахажу, Т. Г. Поспелова // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2012. – № 2. – С. 23–28.

2. Русан, В. И. Энергетика и проблемы повышения энергоэффективности больничных учреждений Марокко / В. И. Русан, М. Аит Бахажу // Энергетическая стратегия. – 2015. – № 2. – С. 62–66.

3. Русан, В. И. Повышение энергоэффективности электрического освещения больничных комплексов Марокко / В. И. Русан, М. Аит Бахажу // Энергетическая стратегия. – 2015. – № 3. – С. 48–51.

4. Русан, В. И. Энергоэффективное управление электрическим освещением зданий и открытых территорий / В. И. Русан, М. Аит Бахажу // Энергетика и ТЭК. – 2015. – № 7–8. – С. 42–46.

5. Русан, В. И. Повышение энергоэффективности больничных комплексов : опыт Марокко / В. И. Русан, М. Аит Бахажу // Энергетика и ТЭК. – 2016. – № 2. – С. 48–49.

6. Русан, В. И. Возобновляемая энергетика : мировой опыт и ее развитие в Марокко / В. И. Русан, М. Аит Бахажу // Энергетическая стратегия. – 2016. – № 3. – С. 54–57.

7. Русан, В. И. Кластерный анализ и снижение электропотребления в больничных учреждениях Марокко / В. И. Русан, М. Аит Бахажу // Энергетика и ТЭК. – 2016. – № 12. – С. 43–44.

Тезисы докладов в сборниках материалов научных конференций и др.

8. Русан, В. И. Повышение энергоэффективности больничных учреждений Марокко / В. И. Русан, М. Аит Бахажу // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК : материалы 65-й МНТК, Минск, 26–27 ноября 2015 г. / БНТУ. – Минск, 2015. – С. 80.

9. Русан, В. И. Состояние и перспективы развития возобновляемой энергетики в Марокко / В. И. Русан, М. Аит Бахажу // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 15-й МНТК : в 4 т. / БНТУ. – Минск, 2017. – Т. 1. – С. 89.

10. Аит Бахажу, М. Методика проведения энергетических обследований (энергоаудита) больничных учреждений Марокко : дис. ... канд. техн. наук : 05.14.01 / М. Аит Бахажу. – Минск, 2014. – 100 л.

11. Ait Bahajou, M. La maîtrise de la consommation électrique et la qualité de la puissance électrique au milieu des établissements de la santé / étude de cas: Hôpital Ibn Sina – Rabat-Maroc, 2011. – 93 p.

12. Генератор холодной воды : пат. № 11888 Респ. Беларусь, МПК F 28 С 1/100 / В. А. Сычик, В. И. Русан, М. Аит Бахажу. – Опубл. 28.02.2019.

РЭЗІЮМЭ
Аіт Бахажу Махамед

**Энергаэфектыўнасць буйных бальнічных комплексаў
ва ўмовах Марока**

Ключавыя словы: бальнічныя комплексы, энергаэфектыўнасць, энергасберажэнне, энергетычная бяспека, энергетычны аўдыт, метадалогія, кластерны аналіз, энергетычны пашпарт, аднаўляльная энергетыка, сонечная электрастанцыя, метады і сродкі павышэння энерга-эфектыўнасці

Мэта працы: распрацоўка навукова-метадалагічнага забеспячэння павышэння энергаэфектыўнасці буйных бальнічных комплексаў ва умовах Каралеўства Марока.

Метады даследавання: метадалогія даследавання і кластарны аналіз электраспажывання буйных бальнічных комплексаў Марока, крытэрыі тэхніка-эканамічнай эфектыўнасці развіцця аднаўляльнай энергетыкі ў Марока, метадалагічныя прынцыпы тэхніка-эканамічнага абгрунтавання энергасберагальных мерапрыемстваў в БУМ.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: упершыню распрацаваны метадалогія і кластарны аналіз электраспажывання буйных бальнічных устаноў ва умовах Марока. Абгрунтаваны і распрацаваны энергетычны паспарт БУМ, які адлюстроўвае баланс энергаспажывання і змяшчае паказчыкі выкарыстання энергетычных рэсурсаў, што спрыяе навадзенню парадку ва ўліку іх выдатку і эфектыўнасці выкарыстання. На аснове вывучэння перадавога вопыту аднаўляльнай энергетыкі ў свеце навукова абгрунтаваны накірункі і спосабы энергаэфектыўнага забеспячэння БУМ у контэксце развіцця аднаўляльнай энергетыкі ў Марока. Для забеспячэння высокай энергаэфектыўнасці і якасці медыцынскіх тэхналагічных працэсаў быў распрацаваны і ўкаранёны новы генератар халоднай вады, выкарыстанне якога, напрыклад, для бальніцы Авіцэна дазваляе эканоміць каля 35 тыс. кВт·ч электраэнергіі ў год. Прапанаваны шэраг энергасберагальных мерапрыемстваў для БУМ, якія дазваляюць забяспечыць іх высокую тэхніка-эканамічную эфектыўнасць.

Рэкамендацыі па выкарыстанню: метады і вынікі даследавання могуць быць выкарыстаны для распрацоўкі практычных рэкамендацый па павышэнню энергетычнай эфектыўнасці бальнічных устаноў і комплексаў.

Вобласць выкарыстання: бальнічныя ўстановы і комплексы, а таксама іншыя галіны народнай гаспадаркі.

РЕЗЮМЕ

Аит Бахажу Мохамед

Энергоэффективность крупных больничных комплексов в условиях Марокко

Ключевые слова: больничные комплексы, энергоэффективность, энергосбережение, энергетическая безопасность, энергетический аудит, методология, кластерный анализ, энергетический паспорт, возобновляемая энергетика, солнечная электрическая станция, методы и средства повышения энергоэффективности

Цель работы: разработка научно-методологического обеспечения повышения энергоэффективности крупных больничных комплексов в условиях Королевства Марокко.

Методы исследования: методология исследования и кластерный анализ электропотребления крупных больничных комплексов Марокко, критерии технико-экономической эффективности развития возобновляемой энергетики в Марокко, методологические принципы технико-экономического обоснования энергосберегающих мероприятий в БУМ.

Полученные результаты и их новизна: Впервые разработаны методология и кластерный анализ электропотребления крупных больничных учреждений в условиях Марокко. Обоснован и разработан энергетический паспорт БУМ, отражающий баланс энергопотребления и содержащий показатели использования энергетических ресурсов, что способствует наведению порядка в учете их расхода и эффективности использования. На основе изучения передового опыта возобновляемой энергетики в мире научно обоснованы направления и способы энергоэффективного обеспечения БУМ в контексте развития возобновляемой энергетики в Марокко. Для обеспечения высокой энергоэффективности и качества медицинских технологических процессов разработан и внедрен новый генератор холодной воды, использование которого, например, для больницы «Авиценна» позволяет сэкономить около 35 тыс. кВт·ч электроэнергии в год. Предложен ряд энергосберегающих мероприятий для БУМ, позволяющих обеспечить их высокую технико-экономическую эффективность.

Рекомендации по использованию: методы и результаты исследования могут быть использованы для разработки практических рекомендаций по повышению энергетической эффективности больничных учреждений и комплексов.

Область использования: больничные учреждения и комплексы, а также другие отрасли народного хозяйства.

ABSTRACT
Ait Bahajou Mohamed

Energy Efficiency of Large Hospital Complexes in Morocco

Keywords: hospital complexes, energy efficiency, energy saving, security of energy supply, energy audit, methodology, cluster analysis, energy performance certificate, renewable energy, photovoltaic power station, methods and means of improving energy efficiency

Aim of the work: development of scientific and methodological support for improving the energy efficiency of large hospital complexes in the Kingdom of Morocco.

Research methods: research methodology and cluster analysis of energy consumption in large hospital complexes in Morocco, criteria for the technical and economic efficiency of renewable energy development in Morocco, methodological principles for the feasibility study of energy-saving measures in the hospitals in Morocco.

Results obtained and their novelty: A methodology and cluster analysis of energy consumption in large hospitals in Morocco are developed for the first time. The energy performance certificate of the hospitals in Morocco is substantiated and developed, which reflects the balance of energy consumption and contains indicators of the use of energy resources, which helps to restore order in accounting for their consumption and efficiency of their use. Based on the study of the best practices of renewable energy in the world, the directions and methods are scientifically justified for energy-efficient maintenance of the hospitals in Morocco in the context of the development of renewable energy in the country. To ensure high energy efficiency and quality of medical technological processes, a new cold water generator is developed and implemented, which, for example, for Avicenna Hospital saves about 35,000 kW/h of electricity per year. A number of energy-saving measures are proposed for the hospitals in Morocco to ensure their high technical and economic efficiency.

Recommendations for use: research methods and results can be used to develop practical recommendations for improving the energy efficiency of hospitals and hospital complexes.

Field of application: hospitals and hospital complexes, as well as other branches of the national economy.

Научное издание

АИТ БАХАЖУ МОХАМЕД
(Ait Bahajou Mohamed)

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ КРУПНЫХ БОЛЬНИЧНЫХ
КОМПЛЕКСОВ В УСЛОВИЯХ МАРОККО**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.14.01 – энергетические системы
и комплексы

Подписано в печать 02.02.2024. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Цифровая печать.
Усл. печ. л. 1,57. Уч.-изд. л. 1,41. Тираж 60. Заказ 68.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск.