

БУРГАСКИ СВОБОДЕН УНИВЕРСИТЕТ
ЦЕНТЪР ПО ИНФОРМАТИКА И ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ

Силвия Лецковска

Камен Сейменлийски

СЪЗДАВАНЕ НА ИНТЕГРИРАНА
ИНТЕЛИГЕНТНА ЛАБОРАТОРНА БАЗА ЗА
ПРОИЗВОДСТВО И МЕНИДЖМЪНТ НА
ВЪЗОБНОВЯЕМА ЕНЕРГИЯ
(научна студия)

Бургас, 2020 г.

АНОТАЦИЯ

В настоящата научна студия са разгледани въпроси, свързани с изграждането на т.н. умна структура в университетите, чийто основни компоненти са ИТ инфраструктурата и интелигентните инженерни системи. Акцентувано е на особеностите и предимствата на IoT архитектурата и на положителното въздействие на Интернет на нещата в образователния процес. Като пример за използване на IoT е разгледан създадения лабораторен тренировъчен комплекс за добив на възобновяема енергия с използване на фотоволтаични централи в БСУ. За определяне на ефективността на работа на централите е проектирано специално устройство на база развойна среда ARDUINO за оценка на степента на замърсяването на стъклената повърхност на фотоволтаичните панели. Реализирана е система за измерване на температурата на панелите и за съхраняване на измерените стойности за дълъг период от време на сървъра на специално изградената метеорологична станция на БСУ. Създаден е алгоритъм за визуализация на данните от метеорологичната станция, както и за визуализация на спестените вредни емисии. Разработена е методика за термовизионна диагностика на фотоволтаичните панели. Изтъкнати са предимствата на създадения комплекс за мониторинг на учебна фотоволтаична система при провеждането на съвременен образователен процес за подготовката на специалисти с инженерно образование в областта на възобновяемата енергетика.

Ключови думи: IoT, ARDUINO, възобновяема енергия, визуализация, термография.

ABSTRACT

The current scientific studies address issues related to the construction of the so-called smart structure in universities, the main components of which are IT infrastructure and intelligent engineering systems. The features and advantages of IoT architecture and the positive impact of the Internet of things in the educational process are emphasized. As an example of using IoT, we consider the created laboratory training complex for the production of renewable energy using photovoltaic plants at the BSU. To determine the efficiency of the plants, a special device based on the ARDUINO development environment was designed to evaluate the degree of contamination of the glass surface of the photovoltaic panels. A system for measuring the temperature of the panels and storing the measured values for a long period of time on the server of the specially built meteorological station of the BSU is implemented. An algorithm for visualization of the data from the weather station, as well as for the visualization of the saved harmful emissions was created. A methodology for thermal imaging diagnostics of photovoltaic panels has been developed. The advantages of the created complex for monitoring of the photovoltaic training system in carrying out a modern educational process for the preparation of specialists with engineering education in the field of renewable energy are highlighted.

Keywords: IoT, ARDUINO, renewable energy, visualization, thermography.

1. IoT В УНИВЕРСИТЕТИТЕ

XXI век е векът, в който информационните технологии станаха неотменна част от живота на човека. Днес с увереност може да се констатира факта на съществуване на ново цифрово (мрежово) поколение, за което мобилния телефон, компютъра и Интернет са толкова естествени елементи от ежедневието, колкото природата и обществото. За развитието на съвременното образование вече не е достатъчно влиянието на човешкия фактор. Необходимо е да се промени самата образователна среда, трябва качествено да се измени самото съдържание на образованието, неговите методи, инструменти и среда, необходим е всеобщ преход към SMART образование.

SMART обществото поставя пред университетите нова задача: подготовка на кадри, притежаващи креативност, мислещи и работещи в един нов свят. За това е необходимо да се вземат под внимание новите практически умения: работата с електронни устройства, комуникацията в социалните мрежи, подбирането на полезна информация, създаването на лична база данни. Всичко това изисква промяна на същността на учебния процес.

Висшето учебно заведение като обект на внедряване на интелигентни технологии има редица особености:

- Висшето училище трябва да е инкубатор на иновации – да разработва и внедрява нови технологии, да има висок научен потенциал за разработка и внедряване на smart технологии;
- В условия на неблагоприятна демографска обстановка, нестабилна икономическа ситуация и конкуренция на пазара на образователните услуги висшето училище трябва да има висока мотивация за повишаване на ефективността при работата си;
- Висшето училище е организация, която има възможности да планира повишаването на ефективността на дейностите, които изпълнява;
- Информационните ресурси на едно висше училище се увеличават със сравнително високи темпове и се използват от голям брой студенти, преподаватели, сътрудници, както и от външни потребители. Изисква се надеждна работа на информационните системи и ефективни решения по съхранение на информацията, достъпа и безопасността. Основа за такива решения могат да бъдат умните технологии;

На база на тези особености всеки един университет има необходимите и достатъчни условия за успешно внедряване на умните технологии. Определено има възможност да се дефинира системата «Умен университет», като се определят основните изисквания към нея и се класифицират умните дейности в университета.

Интелигентната инфраструктура на един университет включва също два основни компонента: ИТ инфраструктура и интелигентни инженерни системи.

Интелигентните инженерни системи включват системи за електроснабдяване, водоснабдяване, климатизация, противопожарни системи, осветление, контрол на достъпа и системи за видео наблюдение.

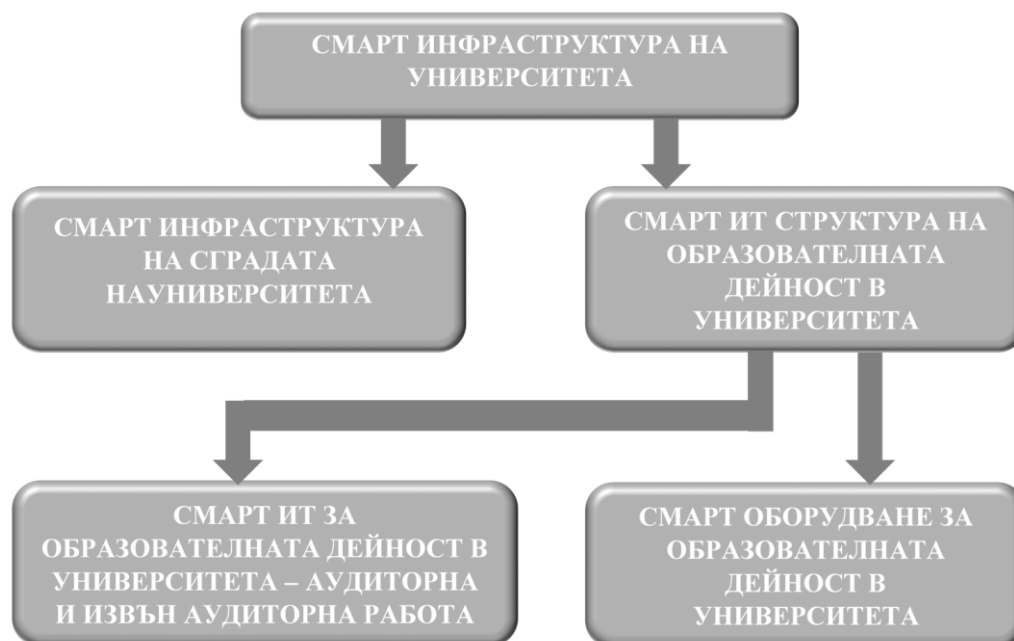
Те работят с директно използване на комуникационни и информационни технологии. Основната задача при внедряването на тези системи е да се осигури надеждна работа на оборудването. Това се постига чрез дистанционно управление на системите.

За предаване на информация между компонентите на системата могат да се използват различни видове връзки. Поради по - ниските разходи и достъпност, технологията Ethernet/Internet е най - популярна. В такива мрежи, различни електронни сензори, измервателни устройства и други устройства могат да бъдат интегрирани с модеми. Алтернатива са само оптичните кабели и безжичните мрежи.

Част от предложените системи като елементи на интелигентна инфраструктура са изградени в Бургаския свободен университет. Предстои модернизирание на инфраструктурата с допълнителни елементи. Идеята е да се постигне пълна синхронизация в работата на всички университетски системи, използващи интернет услуга.

«Умният университет» трябва да осигури надеждна връзка между студентите, преподавателите и сътрудниците, като използва най - новите технологии с цел повишаване на качеството на мобилните технологии, облачните технологии и технологиите за виртуализация, да се базира на системите, работещи на основа на Интернет на нещата (Internet of Things).

Преходът към такава инфраструктура в университета е многоаспектен, свързан с административната и образователната дейност. Във висшите училища вече се използват умни услуги, например в системите за достъп до учебен корпус и общежитие, за осветление, за климатизация. За това са необходими интерфейси за включването на тези системи в мрежата на IoT.



Фиг. 1.

В тази посока развитието на технологиите променя и учебната зала през последните години. Интернет на нещата променя характера на образователните процеси. С помощта на сензорни технологии, RFID, облачни изчисления, големи анализи на данни и платформи за електронно обучение, визията за интелигентна и интерактивна учебна стая с интелигентни устройства, които са свързани с интернет и

могат да бъдат контролирани и проследявани чрез нея, вече е реалност. С други думи, интелигентните технологии и интернет свързаността са променили методологията на преподаване и учене в университетите..

При създаването на интелигентни ИТ-услуги за образователната дейност е целесъобразно да се разделят ИТ-услугите за извън аудиторна и аудиторна заетост (Фиг. 1). За първите се изисква достъп чрез смарт телефон, а вторите са достъпни в учебните зали на висшето училище и използват устройства с учебно предназначение. Необходимо е при осигуряване на учебния процес да се използва и виртуална реалност, използваща най – новите цифрови устройства.

Необходимо е да бъдат определени:

- Видовете умни услуги и умни устройства с учебно предназначение за включването им в мрежата на IoT, такива като: интерактивните дъски; таблети в лабораториите; устройствата за допълнителна реалност (AV) - смартфони, таблети, умни очи със сензорен панел, камера и LED-дисплей и виртуална реалност (VR - VIRTUAL REALITY) - смартфони, таблети, камери. Особено важни са технологиите AR (AUGMENTED REALITY - добавена реалност) и VR за инженерните специалности при провеждането на практически и лабораторни занятия във виртуалното пространство. VR представлява компютърно генериран стереоскопичен 3D виртуален свят, включително с 3D звук. VR светове са затворена среда, която няма пряка връзка с реалния свят. Най - общо AR представлява среда, която комбинира виртуална реалност и елементи от реалния свят. Например, потребител може да носи прозрачни очила, през които да вижда както реалния свят, така и изображения, генерирани от компютър и проектирани върху картината на околния свят;
- Характеристиките на мобилния портал на вуза, мобилните приложения за достъп към умните услуги с извън аудиторно и учебно предназначение.

Интернет на нещата вече е реалност в университетския живот. Студентите посещават университета с няколко устройства, а Интернет на нещата им позволява да решават възложените им задачи, като осигуряват достъп до подходящи материали под формата на текстове и видеоклипове, и с помощта на колеги и лектори, без ограничение на местоположението.

Обединяването на хората, пространството, в което те работят, и системата за управление на университета могат да се видят и в следните области: интернет обектите (терморегулатори за отопление и вода, системи за заключване на вратите, сензори за замърсяване, за пожар и др.) трябва да имат контролиран достъп; увеличаването на броя на свързаните обекти не трябва да добавя монитори или клавиатури, а да търси такива сайтове и услуги, които са полезни за потребителите и могат да бъдат контролирани с глас, жестове или по друг подходящ начин.

Асортиментът от интелигентни уеб-базирани устройства в учебните заведения включва електронни книги и таблети; сензори за присъствие в коридори, входове, класни стаи и превозни средства в университетски сгради; всички видове слушалки; роботи; видео сензори; светлини, брави и др. Данните от тези устройства могат да се използват за проследяване (като присъствие на занятия на обучаемите) или за по - усъвършенстван мониторинг (например, за да се разбере кои са най - използваните модели за учене от страна на обучаемите – с използване на електронни книги или на адаптивни системи за обучение).

Данните могат да се използват за контрол на всички области на осигурени оптимални условия на комфорт при минимални разходи. Въздушният поток, качеството на въздуха, температурата, влажността и осветлението могат да бъдат постоянно оптимизирани във всяко пространство, което може да се използва за учене. Може да се контролира както изкуствената, така и естествената светлина.

Качеството на въздуха може да бъде оптимизирано, както и нивото на шума. Чрез следене на нивото на звука в стаята, лекторите могат да бъдат предупредени, ако техният глас стане труден за разбиране.

Здравето и безопасността на обучаемите могат да бъдат подобрени чрез видео наблюдение на дим, огън и опасен шум (например шум от огнестрелно оръжие). Участието на студентите може да бъде наблюдавано до степен, отвъд простото записване на случващото се в учебната зала. Колективното ангажиране на студентите може да бъде проследено чрез измерване на промените в температурата, въглеродния диоксид или звуците на говорене.

Данните и информацията за състоянието на екраните в студентските стаи или за личните устройства, от типа на смартфони и лаптопи, могат да бъдат представени в подходяща форма. Модулните табла и софтуерът за контрол на точката могат лесно да конфигурират сензори и изпълнителни механизми, за да създадат високо оптимизирани индивидуални системи за управление.

IoT устройствата могат да свързват експерименти и интернет инструменти за контрол и наблюдение от всяко място. IoT оптимизира учебната среда в учебната зала. Студентите могат да бъдат индивидуално проследявани чрез фитнес ленти, които измерват честотата на пулса, телесната температура и нивата на кислорода, а специални ленти могат да регистрират и типа на мозъчните вълни.

Новите устройства и приложения за Интернет на нещата ще променят условията в университетите. Ще бъде възможно да се проследи учебния процес и съдържанието на курса, което ще даде възможност да се предостави ново съдържание или да се предложи допълнително обучение в различни форми, включително видео, текст, експерименти или дори виртуални обиколки.

IoT води до нови нива на свързаност и подходи за обучение, особено в областта на науката, технологията, инженерството и математиката. С използването на интернет на нещата в образованието студентите имат активна роля, имат достъп до курсове или лабораторни упражнения по всяко време, от всяко място, където могат да се регистрират. Освен това те могат да избират как да генерират, получават, манипулират или показват информация, както и да оценяват своите резултати.

Използвайки IoT архитектурата, студентите имат възможност да взаимодействат с набор от физически обекти в околната среда и с предложени към тях приложения. Всеки от използваните обекти е свързан с един (или повече) виртуални обекти, които предоставят информация, която позволява на студента да се запознае с тяхната работа и с това, как да ги използва.

Затова студентите могат да манипулират обекти (виртуални в компютърна симулация или физически с истинска хардуерна система), за да увеличат разбирането си за даден курс на обучение.

Най - големите ползи, които интернет на нещата ще даде на висшето образование, е подобреното, висококачествено отдалечено присъствие. Студентите, които не могат физически да посещават учебната зала, ще могат да "виждат", "чуват" и

дори "миришат" това, което е в залата, ще могат да участват в процеса на обучение чрез роботизирани устройства за дистанционно управление.

Традиционното инженерното образование изисква студентите да посещават редовни курсове и да провеждат лабораторни експерименти в университетите. Ето защо доскоро онлайн преподаването на инженерни дисциплини беше най - трудно, тъй като са необходими оборудвани лаборатории. Въпреки това, дори да се даде възможност за онлайн предаване на традиционното съдържание на курса, това все още е само информация. С развитието на Интернет на нещата, осигурявайки виртуално пространство, където се представят обектите, качеството на онлайн курсовете ще стане по - добро.

Все повече и повече интелигентни устройства (таблети, електронни книги, интелигентни табла, таблици, интерактивни бели дъски, камери, 3D принтери, студентски карти и др.) присъстват в учебните зали заедно със съответния софтуер и приложения. Тъй като тези устройства се контролират от интернет, Интернет на нещата помага за създаването на интелигентна виртуална среда за обучение. Така предаването на знания сега е навсякъде и по всяко време. Но производството на тези устройства изисква енергия и ресурси. Количеството на електронните отпадъци и емисиите също се увеличава.

Може би най - добрият отговор на тези предизвикателства е прилагането на повече енергийни и ресурсно ефективни, здравословни и екологични технологии, или на така наречените „зелени технологии“.

Интелигентните технологии, използвани за отопление, вентилация и климатизация, електрическо осветление, температурни сензори, проследяване на присъствието или „безжични” врати спестяват ценно време на преподавателите и им помагат да отделят повече време за организиране и представяне на учебния материал. По този начин те могат да използват по - фиктивни методи на обучение чрез адаптиране на съдържанието към нуждите на студентите и продължаване на преподаването извън учебната зала, като предлагат по - атрактивни начини за предаване и предоставяне на информация и успешно прилагане на методи на оценяване на студентите чрез онлайн инструменти за оценка.

По отношение на административното управление IoT позволява по - голяма ефективност и следователно, по - ниски разходи за управлението на съоръженията. Чрез дистанционното наблюдение на отоплението, вентилацията, климатизацията, осветлението и почти всичко, което изразходва енергия и ресурси, институциите могат да оптимизират контрола.

Трафикът може да бъде улеснен чрез дистанционен мониторинг и анализ. Местоположението на автобусните спирки, както и графикът за различен обществен транспорт могат да се видят в Google Maps и университетските паркинги могат да се управляват с приложения за смартфони.

Интелигентното обучение изисква използването на най - новите технологии и интернет. Само с негова помощ студентите ще могат да придобият необходимата професионална квалификация, адаптирана към курсове с постоянно актуализирано съдържание.

Обучението в интелигентни университети също следва да се провежда по отношение на оптимизиране на разходите за изграждане на необходимите материални и технически съоръжения на лабораториите и средата за обучение, както и постигане на по - високо качество на обучението.

Това образование ще бъде независимо от времето и местоположението, мобилно, непрекъснато, с лесен достъп до информация. То ще осигури автономия на студентите и преподавателите, както и способността да се избират индивидуални параметри за всеки студент, като основни познания, опит; физиологично и психическо състояние. За да се реализира идеята за интелигентен университет е необходимо да се промени техническата архитектура и внедряването на интелигентни устройства в учебния процес.

Това ще създаде възможности за високоскоростно актуализиране на учебното съдържание чрез използването на различни устройства. За да се получи качествено висше образование, е необходимо младите хора да се адаптират към решаването на широк кръг задачи.

SMART образованието позволява тези задачи да бъдат решени в условията на непрекъснато променящ се свят. Това дава възможност за формиране на научния и творческия потенциал на специалистите.

Всички тези примери за Интернет на нещата могат в крайна сметка да подобрят учебния процес за студентите и преподавателите, като предлагат по - добра ангажираност и сътрудничество.

Развитието на Интернет на нещата вече показва положително въздействие върху образованието, тъй като традиционната учебна зала става интелигентна и интерактивна. Интернет технологията обаче се нуждае от развитие. За това могат да помогнат изследователи, преподаватели и студенти. Те могат да създават устройства, приложения, системи и услуги в Интернет на нещата. Това ще изисква обучение в различни дисциплини.

Студентите могат да изграждат IoT устройства и услуги с задълбочена стратегия за отбрана, като добавят хардуер, фърмуер (базово програмно осигуряване), софтуер и услуги. Студентите ще могат да контролират дистанционно лабораторното оборудване, да си сътрудничат онлайн и да играят активна роля в придобиването на знания. От друга страна, преподавателят ще има възможности да предостави нови начини на преподаване, подкрепа и насоки.

Висшето инженерно образование трябва да изгради лидерите на бъдещата икономика. Студентите получават технически умения за иновации, могат да създават приложения за IoT и устройства, които говорят с други локални устройства, като тези например в един умен дом, мрежова комуникация с централизирани системи за управление (например системи за управление на сгради) и приложения в облак.

Използването на нови методи на преподаване и обучение ще подобри качеството на образованието; ще осигури дълготрайни знания и умения, свързани с решаването на реални проблеми.

От техническа гледна точка, зелените информационни и комуникационни технологии могат да се разглеждат като многостранна концепция, включваща интернет на нещата.

„Озеленяването” на тези технологии и свързаните с тях ресурси се нарича „зелена“ компютърна технология.

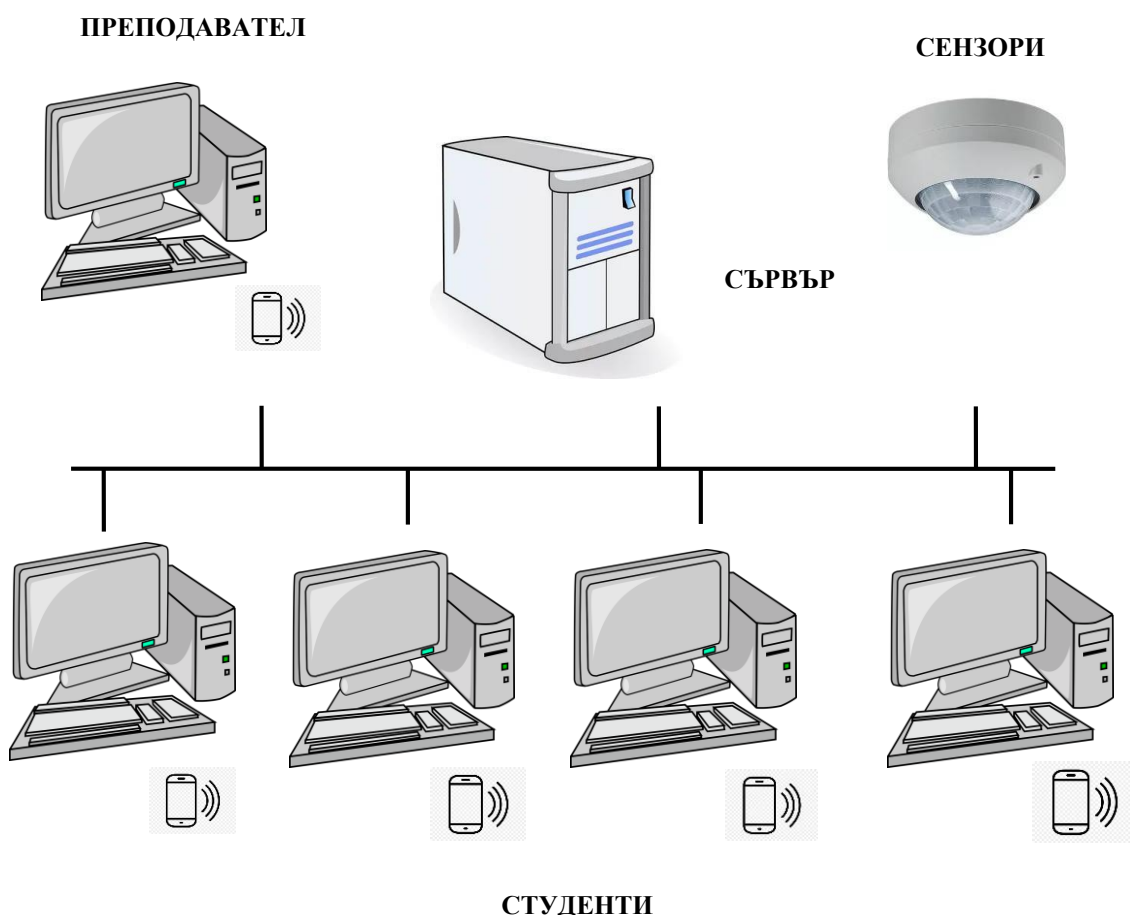
Това означава използването на енергийно ефективно оборудване (компютри, сървъри, принтери и други периферни устройства).

Един от начините за постигане на тази ефективност е използването на възобновяеми енергийни източници. В сравнение с IoT, зеления IoT в образователните институции ще осигури устойчивост на ресурсите, ще подпомогне екологичното поведение на факултети, преподаватели, студенти и административен персонал.

2. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НА ДАННИ ОТ ЕНЕРГИЕН ЛАБОРАТОРЕН КОМПЛЕКС

Няма съмнение, че новото поколение студенти разполага с чудесно средство - използване на интернет на нещата, което представлява привлекателно образователно пространство и ги мотивира да продължат да го използват.

Чрез възможностите на интернет се привлича вниманието на студентите и преподавателите, нарушава се монотонността на класическото преподаване с изучаването на концепции или процеси за решаване на проблеми, при осигуряване и използване на практики в безопасна среда.



Фиг. 2. Структура на умна лаборатория.

За да се подготвят добри специалисти в областта на възобновяемите енергийни източници, от особено значение е изграждането на интелигентна лабораторна база. Използването на съвременно лабораторно оборудване осигурява добра връзка между теорията и практиката, предлагайки ценен практически опит за студентите.

Има много начини, с помощта на които знанията в областта на възобновяема енергия може да бъдат предоставени на студентите в университета. Важното е да се създаде интерес у студентите и да им се обясни значението на изучаването на тези курсове.

Необходимо е да се докаже с помощта на факти, цифри и практически примери, защо те трябва да познават възобновяемата енергия и последиците от това да не притежават достатъчно знания за нея. Освен това е важно предаването на знания и разбирането на основните принципи. Например, курсове по системи за възобновяема енергия могат да бъдат въведени в последната година от обучението им, така че да имат достатъчно основни знания за основата, за да схванат концепциите за възобновяема енергия.

Знанията, получени чрез лабораторни практики, могат да бъдат получени ефективно от подходящи ресурси, базирани в Интернет. Такива материали могат да бъдат много полезни за обучението, свързано с практически дейности по възобновяеми енергийни източници.

В областта на възобновяемата енергия създаването на модерни лаборатории в различни институти е факт, експериментите, свързани с добив на възобновяема енергия с използване на Интернет със сигурност ще подпомогнат постигането на качествено образование в областта на възобновяема енергия. Следователно, интернет може да играе много важна роля в един лабораторен тренировъчен комплекс (Фиг. 2).

Създаването на система за добив на зелена енергия е в едно учебно заведение е от голямо значение за провеждането на съвременен образователен процес в областта на енергийните технологии.

Идеята е студентите да получат необходимите знания и умения в областта на техниката и технологиите, използвани във възобновяемата енергетика. Важен момент обаче в тяхната подготовка е и възможността за оценка доколко използвана технология позволява намаляване на вредни емисии в атмосферата.

Лабораторното обучение по енергийни системи обикновено се извършва със симулационен софтуер или по – рядко, с определени хардуерни настройки. От друга страна, лабораторното обучение по силова електроника и електрически машини обикновено се извършва с практически упражнения с помощта на физически модел или реален хардуер.

За нуждите на практическото обучение на студентите в ЦИТН на БСУ са инсталирани две фотоволтаични централи.

Едната фотоволтаична централа е изградена от два стринга с по десет модула всеки, произведени по поликристална технология, като всеки модул има мощност 238 Wp. Другата фотоволтаична централа е изградена от един стринг с десет модула, произведени по монокристална технология, всеки модул има мощност 150 Wp.

Двете централи функционират с отделни инвертори, включени паралелно на вътрешната енергийна система на сградата на БСУ. Изградена е и система за мониторинг на производството на електроенергия от двете системи. Това дава възможност студентите да наблюдават и изследват ефективността на производството на

електрическата енергия, получена от различен тип фотоволтаични панели, при еднакви метеорологични условия. Изследванията могат да бъдат провеждани както в лабораторията, така и от всяка точка с достъп до интернет. Това дава възможност на студентите да провеждат и самостоятелни изследвания дистанционно при подготовката си извън университета.

Предвижда се изграждането на трета централа, която ще даде възможност да се изследва работата фотоволтаични панели, произведени по различни технологии, съдържащи дефекти. Така ще може да се установи как различните по тип дефекти влияят на характеристиките на панелите. Получените резултати ще могат да бъдат използвани при разработването на методики за дистанционно диагностиране на различни видове централи.

Инсталирана е и метеорологична станция (BFU-METEO) със следните сензори за измерване на параметрите на околната среда:

- Сензор за температурата, особено важен за наблюдение на работата на панелите, тъй като тяхната производителност е пряко свързана с работната им температура. С помощта на данните от този сензор може да се построят диаграми, които да дадат информация за това в кои периоди от годината се произвежда най - много електроенергия и по - важното – през кои периоди се произвежда най - малко.
- Тази информация дава възможност да се констатират проблеми в работата на централата, ако има такива, и да се търсят начини да се отстранят ефективно;
- Сензор за слънчева радиация, който позволява да се определи енергията, която могат да произведат фотоволтаичните панели при отчитане на получената радиация;
- Анемометър, който измерва скоростта на вятъра и спомага за оценка на функционалността на PV - централите при едновременното изследване на въздействието на другите фактори на околната среда.

2.1. Оценка на замърсяването на фотоволтаичните панели върху производителността на работа

Мощността на фотоволтаичните системи зависи от интензивността на слънчевата радиация. Равномерното осветяване на фотоволтаичните модули осигурява високата им ефективност. Основните фактори, влияещи на ефективността на работата на една фотоволтаична система са часовото време, климатични условия, смяната на деня в нощ, неравномерност на осветяване на панелите; повишаването на температурата; замърсяването. Повишаването на температурата на модулите се отразява негативно на способността за генериране на енергия.

Съществено влияние върху ефективността на фотоволтаичните панели оказват отложените върху тях прах и влага. В последните години тези фактори имат все по - съществено значение, тъй като има тенденция за инсталиране на фотоволтаични централи в трудно достъпни райони, каквито са например пустините.

Факторите, които са основно определящи за замърсяването на фотоволтаичните панели са влажността и температурата на въздуха. От значение обаче е и типа на повърхността на панелите.

Ако в близост да фотоволтаичните панели се осъществява селскостопанска дейност, има засилен автомобилен трафик или въздухът е замърсен по някаква причина, това допълнително влияе за отлагането на прах и замърсители върху тях.

Върху работата на фотоволтаичните панели съществено влияят физичните характеристики на частиците, които се отлагат върху тях - размер, геометрия, химичен състав. Установяването на характера на тази връзка е важно при разработването на ефективни техники за намаляване на замърсяването. От значение е също разпределението на частиците и плътността на отлагането им върху повърхността.

Разбира се, отчита се факта, че типът на отлаганията, както и различната природа на частиците, са свързани с конкретен географски регион.

По – фините прахови частици оказват по – негативно влияние върху производителността на фотоволтаичните панели (Фиг. 5).

Частиците се захващат и задържат на повърхността на панелите. Силата на привличането нараства пропорционално с намаляване на размера на частиците. Както са показали изследванията, дори скорост на вятъра от порядъка на 150 m/s не е достатъчна за отстраняването на плътно захванати частици, чийто размер е по - малък от 10 микрометра.

Намаляването на дебелината на праховото покритие не се влияе положително от дъждовете, допълнителна влага, сутрешните роси. Дъждовете могат да окажат негативно влияние, ако са краткотрайни. Капките от един слаб дъжд могат да са причина за допълнително натрупване на захванати от въздуха частици върху фотоволтаичните модули. След изсъхване се наблюдава образуване на големи области със замърсявания. Процесът на „циментиране“ на покритията е критичен процес в много региони на света, имащи високи нива на прах и влажност.

В атмосферата има неорганични и органични частици, които съдържат разтворими и неразтворими соли. Ако на повърхността на модула има водоразтворими прахови частици, при голяма влажност те формират разтвори във вид на капчици, които от своя страна също могат да задържат неразтворими частици. Така утаеният материал след изсъхване играе ролята на лепило, което закрепва неразтворимите частици към повърхността на панела.

Има различни методики за определяне на замърсяването върху повърхността на фотоволтаичните панели:

- *Пробно почистване.* При тази методика се сравнява генерираната електрическа енергия преди и след измиване на дадена група фотоволтаични модули. За предпочитане е да се избират фотоволтаични модули от средната част на дадена централа или отделни панели, които са разположени на различни места в нея. Изследва се волт-амперната характеристика на панелите, след което те се измиват и отново се снима V-A характеристика. За коректно изследване е необходимо климатичните условия да са сходни, както и избраното астрономическо време. След сравняването на резултатите се прави оценка доколко положително ще повлияе измиването на целия масив от панели по отношение на генерирането на електрическа енергия;
- *Сравнение на волт-амперните характеристики.* Сравнява се реална V-A характеристика с получена такава при въвеждане в експлоатация на фотоволтаичната централа. Това е сравнително достъпен метод. При въвеждане в експлоатация на една централа винаги се правят тестове, които

са особено важни от гледна точка на получаване на следващи оценки за работата на централата. За да са максимално точни и обективни данните, те трябва да може да се получат при същите условия, при които са получени базовите. Това е трудоемък процес и затова данните обикновено се фиксират за период от няколко дни, с цел да се получат средни стойности. Тези средни стойности се сравняват с базовите, получени при аналогични климатични условия. При използването на тази методика не се отчита процеса на стареене на модулите или повредите в някои от тях, както и загубите при преобразуване на електроенергията от постоянен в променлив ток и други фактори. Необходимо е да се отчита и грешката на измервателните прибори, поради тази грешка получените данни могат да имат отклонение в рамките на $\pm 2\%$;

- *Използване на пиранометри.* Пиранометрите измерват сумарния поток слънчева радиация, който пада върху дадена повърхност, за включването им се използва специален вход в инвертора. Пиранометърът се позиционира в посоката и под същия ъгъл, каквито има дадения фотоволтаичен модул. Данните, получени от пиранометъра, дават възможност да се прецени доколко ефективно се преобразува падащата слънчева радиация. Някои от пиранометрите имат вграден вентилатор и нагревател за поддържането на панела чист, за да може да се сравняват получените резултати. Вентилаторът не позволява събирането и натрупването на прах върху отчитащия датчик, а нагревателят гарантира работата на фотоволтаичния панел при отрицателни температури и снеговалежи.

Оценката на степента на замърсяване на фотоволтаичните панели е трудна задача, поради особеностите на околната среда. За такава оценка могат да бъдат използвани и емпирични методи. За целта може да се използва фотоволтаичен модул, работещ в условията на околна среда, сходна с тази, в която работи фотоволтаичната централа. Методът не е коректен, поради факта, че не се отчита коректно влиянието на няколко параметъра на околната среда, такива като реална слънчева радиация, влияние на температурата и вятъра.

Създаден е сравнително опростен модел за определяне на относителните загуби на преминаване на слънчевата радиация, причина за които е наличието на прах върху модулите. Моделът е разработен при следните допускания:

- Приема се, че частиците прах имат сферична форма и равномерно разпределение върху повърхността на панелите;
- Коефициентът на отражение на всяка сфера включва влиянието на огледалното и на дифузното отражение;
- Приема се, че сумарната радиация се състои от пряка и дифузна радиация. Приема се, че дифузната радиация е хомогенна във всички посоки и е постоянна през деня, а общата радиация, падаща върху чист модул може да се определи с помощта на израза:

$$G_{cc} = I_o \cos \theta + I_D$$

Където θ е ъгъл е на падане на пряката слънчева радиация върху модула. В този модел стойността на албедото се пренебрегва.

Загубите в радиация (HL), която фотоволтаичният модул няма да получи в резултат на наличие на прах, отложен върху повърхността му, може да се определят с помощта на зависимостта:

$$HL(\%) = \left(\frac{H_{cc} - H_{DC}}{H_{cc}} \right) \times 100$$

Където: HCC и HDC са дневната радиация, измерена на чиста и замърсена повърхност (Wh/m²).

При наличие на валежи има възможности да се получи добро почистване на замърсената повърхност на панела и тя да възстанови първоначалния си вид. Слаб дъжд може да почисти покривното стъкло на панела, което ще доведе до намаляване на ежедневните загуби под 5%. В продължителни периоди от време без дъжд обаче натрупаният прах може да доведе до дневни загуби над 20% и до значително намаляване на количеството получената електрическа енергия.

Разработен е теоретичен модел за отчитане на замърсяване на въздуха върху модулите. То може да се причини от червена почва, варовик и въглеродна пепел. Тъй като действието на праха се увеличава при влажно време, моделът отчита влиянието на влажността върху излъчването и на тока на късо съединение I_{SC} с уравнението:

$$\eta = \left(\frac{I_{scmax} V_{ocmax}}{A_c} \right)$$

Където: - A_c е ефективната област на модула;

- V_{oc} - напрежение при празен ход;

- η - ефективност на преобразуване.

За оценка на степента на замърсяването на стъклената повърхност на фотоволтаичните панели на фотоволтаичните централи на покрива на Бургаски свободен университет бе проектирано специално устройство на база развойна среда ARDUINO (Фиг. 3).

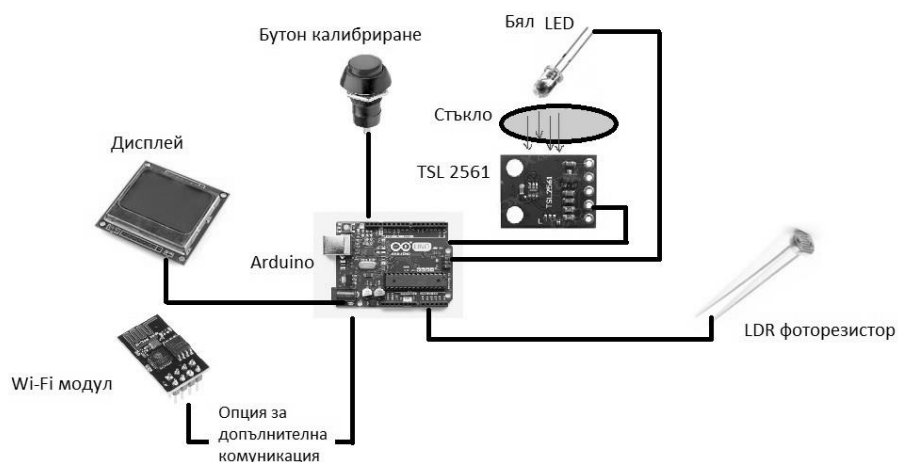
Избрана е за развойна среда платформата ARDUINO UNO, поради това че е лесно достъпна и икономически изгодна.

Програмният език е на база C++ и в каталога на фирмата производител има много примерни библиотеки за инициализация на допълнителните модули.

Изборът на модел UNO е на база необходимите за проектираното устройство аналогови и цифрови входове/изходи. Големината на EEPROM паметта е достатъчна за буферирането на направените измервания, необходими при калибровката и задаването на константата за чисто стъкло. Платката има вграден стабилизатор на напрежение, което я прави по - непретенциозна към входното напрежение.

Устройството има включен един, а не два измервателни сензора. По този начин се избягва нуждата от постоянно чистене на образеца, необходимо за получаване на еталонна стойност за сравнение. Устройството се нуждае само от еднократно почистване в началото на дадено изследване.

Измерената стойност на пропускливост на радиацията се запаметява с помощта на бутон в енергонезависимата EEPROM памет на устройството и тя автоматично се превръща еталон (константа) за следващи изследвания. Измерената стойност е в луксове, а изходящата разлика от сравнението с вече замърсения образец се изписва в проценти.



Фиг. 3. Устройство на база развойна среда ARDUINO.

За да се избегне проблема с липсата на постоянство на интензивността на слънчевата радиация се използва допълнителен светлинен източник. За целта е избран светодиода, чийто светлинни параметри могат да се приемат за константни за периода на едно продължително изследване, т.к. те реално имат минимално отклонение след хиляди часове работа. Използва се диод с малък ъгъл на осветяване от порядъка на 15 градуса, защото при такъв ъгъл ще се получи концентрация на по - голям светлинен поток върху по - малка повърхност.

Датчикът за осветеност TSL2561 е избран на база на следните характеристики: голямо бързодействие, висока чувствителност, възможност за измерване в инфрачервената област и във видимата област, възможност за настройка на чувствителността и скоростта на измерване чрез допълнителни команди в програмния код.

Arduino Uno устройството функционира, когато околната осветеност падне под определен праг. При провеждането на експериментите прагът на чувствителност бе настроен на 10 Lux.

Развойната среда, на чиято база е изградено устройството, предлага опция и за безжична комуникация през WI-Fi мрежа, като данните могат да се събират и обработват през дейта логер.

Комуникацията с устройството се осъществява през USB конектор и чрез съответният софтуер за програмиране, настройка и онлайн мониторинг. Софтуерът е безплатен и се предоставя от фирмата производител на развойната среда.

Устройството може да бъде захранвано по два начина: чрез USB порт, който се използва за препрограмиране и онлайн мониторинг в реално време и с помощта на отделно захранване през съответна букса.

При директното захранване през USB конектора захранващото напрежение по стандарт е 5 V, а през отделната захранваща букса може да е в диапазона DC от 7 V до 12 V.

При втория вариант е желателно да се използва трансформаторно захранване, а не импулсно, т.к. развойната дънна платка има вградена стабилизация на 5 V и при подаване на външно стабилизирано напрежение от импулсно захранване има възможност да се получат грешки в работата на устройството (Фиг. 4).



Фиг. 4. Захранващи букси на устройството.

При възможност да се инсталира почистващ робот с дистанционно управление, ще се елиминира необходимостта от човешка намеса за почистването на панелите, което от своя страна ще увеличи и честотата на почистване.

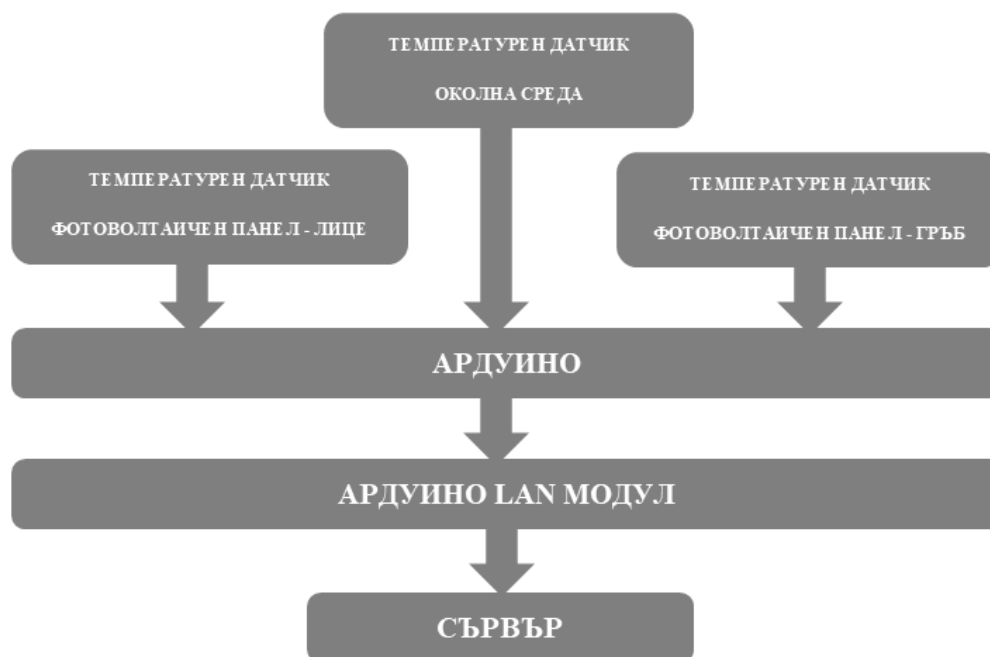
Роботът ще „разпознава“ четири степени – сухо, росене, валеж и силен валеж и ще се включва автоматично след дъжд за почистване;

2.2. Оценка на влияние на температурата на фотоволтаичните панели върху производителността им

Резултатите от проучване за влиянието на температурата на околната среда върху работата на фотоволтаична система са показали, че има силна връзка между мощността, произведена от системата и температурата на околната среда. Използването на фотоволтаична технология при преобразуването на слънчевата енергия в електричество не е благоприятно през периоди с много висока температура на околната среда, в сравнение с периодите с по - ниска такава.

Резултатите показват също, че фотоволтаичните панели трябва да бъдат инсталирани на място, където да получават повече въздушен поток, така че температурата им да остане ниска, а мощността - висока.

При изследване, проведено в Бургаския Свободен Университет през летния сезон в реални условия, фотоволтаичните панели имат температура, която е с 15÷30 °C по - висока от температурата на околната среда. Качествените модули в реални условия не трябва да се нагряват повече от 40÷45 °C, за да не губят мощност от прегряване.



Фиг. 5. Блок схема на модела на лабораторна установка за измерване и съхранение на данни от датчиците за температурата.

Не толкова качествените модули обаче прегряват. Средната номиналната работна температура на слънчевия елемент (NOCT) е около 48°C . Тя се измерва при интензивност на слънчевата радиация 800 W/m^2 и температура на въздуха 20°C . Колкото е по – ниска е стойността на NOCT, толкова по - добре работи модулет в реални условия. NOCT обаче не е условие за изпитване на модулите, това е само параметър.

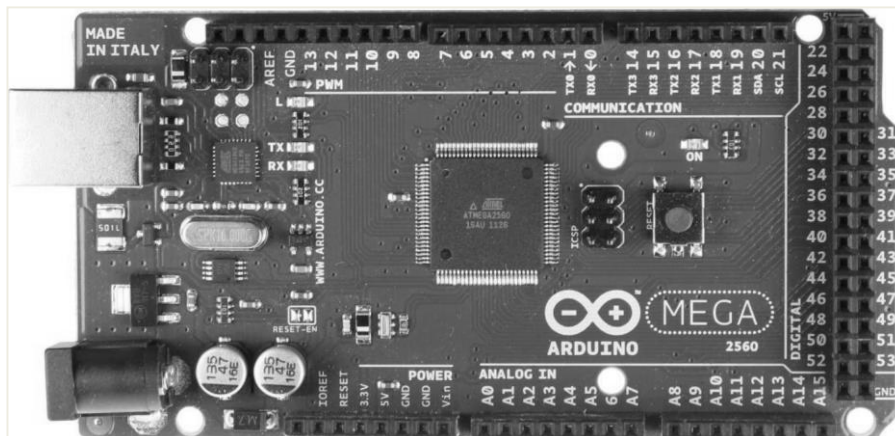
За да се получат коректни данни за температурата на фотоволтаичните панели е необходимо тя да бъде измервана в един по - дълъг период от време. Това наложи създаването на лабораторна установка за измерване и съхранение на данни от датчиците за температурата на фотоволтаичните панели, която да допълни вече изградената система Fronius и с която ще може да се изследва влиянието на температурата на модулите върху добива на електрическа енергия.

За целта на изследването се използва развойна платка Ардуино за събиране на информация от датчиците и изпращането ѝ към сървъра с базата от данни.

Датчиците измерват стойностите на температурата на околната среда, на лицевата част на панела и на гръба на панела (фиг. 5).

Платките Ардуино включват сериен комуникационен интерфейс, а при някои модели и USB, за зареждане на програми.

С оглед програмирането на микроконтролерите Ардуино платформата предоставя интегрирана среда за разработка (IDE), основана на проекта Processing, който поддържа програмните езици C и C++.

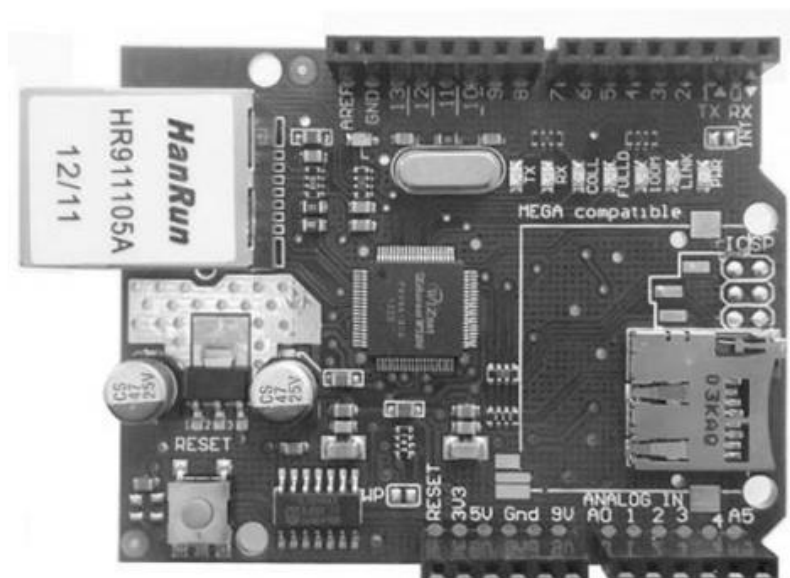


Фиг. 6. Платка Ардуино Мега 2560.

За конкретната разработка бе използвана платка Ардуино Мега 2560 (фиг. 6), поради наличието на голям брой входове и изходи, което благоприятства бъдещо добавяне на датчици.

Платката има 54 цифрови входове/изходи, 16 аналогови входа, 4 UARTs (хардуерни серийни портове), 16 MHz кристален осцилатор, USB връзка, и бутон за нулиране.

Работното напрежение е 5 V. Захранва се от входно напрежение в границите на 6÷20 V DC, има флаш памет от 256 KB, от които 8 KB се използват от буутлоудъра.



Фиг. 7. Lan – модул за свързване с Интернет.

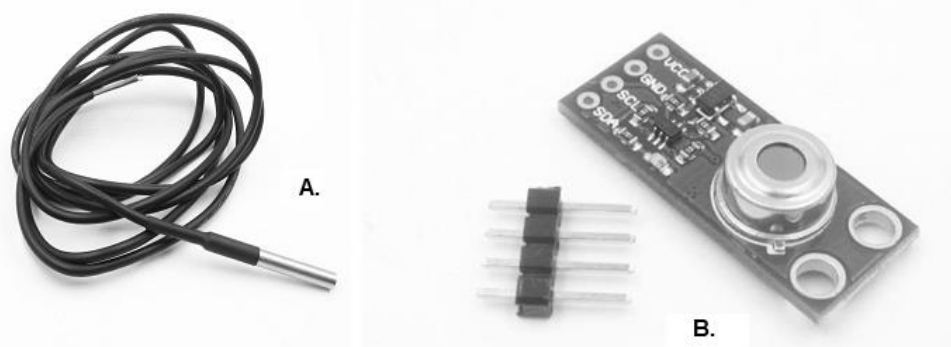
На Фиг. 7 е показан лан модулът, който позволява на Ардуино да се свърже с интернет, като по този начин ще може да предава данните, събирани от датчиците, на сървъра. Използва се микрочип WIZNET.

Модулът работи с комуникационни протоколи ARP, ICMP, IGMP, IPv4, PPPoE, TCP, UDP. Работната му температура е в границите от -40°C до 85°C , а захранващото напрежение - 3.3 V DC.

За целта на изследването бяха използвани следните датчици:

- Температурна сензорна сонда DS18B20 (Фиг. 8). Тя използва сензора DALLAS DS18B20, чийто интерфейс улеснява комуникацията с устройствата. Той може да преобразува температурата в 12-битово число за 750 ms. Освен това може да измерва температури от -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$. Термосондата не изисква никакво външно захранване, тъй като черпи енергия от линията за данни. Главата ѝ е неръждаема стомана, което я прави подходяща за работа в неблагоприятни метеорологични условия (дъжд, влага, сняг).
- Инфрочервен безконтактен измервателен термометър MLX90614 ВВА. Термометърът е фабрично калибриран с цифров изход PWM (широчинно-импулсна модулация) и SMBus. Като стандарт, 10-битовата PWM е конфигурирана да предава непрекъснато измерената температура в диапазона от -20 до $+120^{\circ}\text{C}$, с разделителна способност от $0,14^{\circ}\text{C}$. По подразбиране е SMBus интерфейс. Устройството всъщност се състои от два модула. Първият е термодвойка, измерваща околната температура, а вторият - инфрочервен сензор, измерващ температурата на обекта, срещу когото е насочен (Фиг. 8). Датчикът работи най-точно в границите от 0°C до 50°C .

Средата за програмиране на Ардуино - Arduino Integrated Development Environment, или Arduino Software (IDE), съдържа текстов редактор за писане на код, област за съобщения, текстова конзола, лента с бутони за общи функции и серия от менюта. Той се свързва с хардуера Arduino посредством USB, за да качва програми и да комуникира с тях.

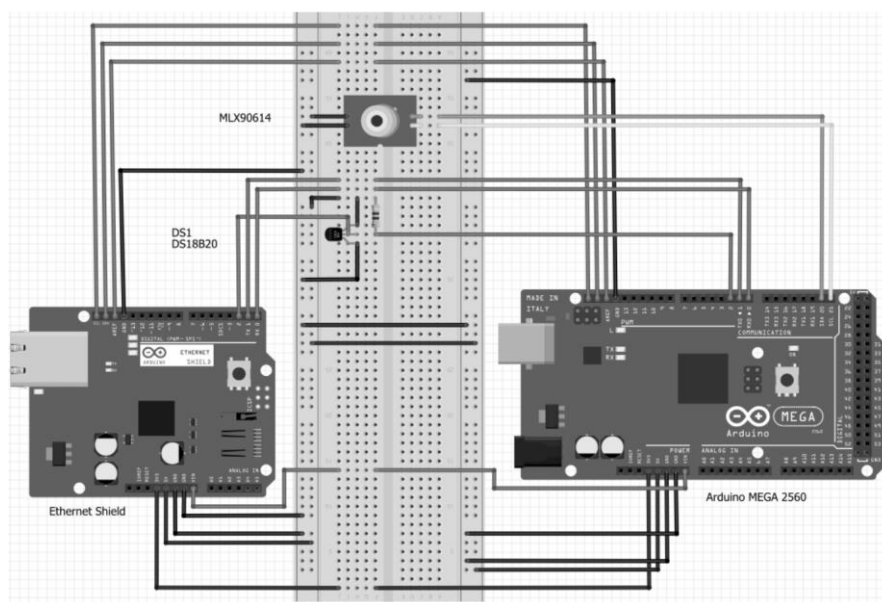


Фиг. 8. Термосонда DS18B20 и сензор MLX90614.

В настоящото изследване се използва MySQL бази от данни. Structured Query Language (SQL) е универсален компютърен език за създаване, модифициране и управление на данни в релационни бази данни. SQL е преди всичко информационно-логически език, предназначен за описание, извличане и модификация на съхранявани данни.

В конзолата за команди на MySQL сървъра се изпълнява следната последователност:

- Команда за създаване на база данни с име weather;
- Команда за създаване на таблица с име ambient_temp, съдържаща три колони: колона пореден номер, колона точно време на сървъра и колона стойност на околната температура, измерена от Ардуино;
- Аналогични са командите за създаване на другите две таблици за температурата на лицевата част на панела и температурата, измерена на гърба на панела.



Фиг. 9. Прототипна схема.

За събиране на данните се използва вече съществуващ сървър Hewlett Packard ProLiant ML 370 Generation 5, намиращ се в лаборатория на Бургаския Свободен Университет. Върху него е инсталирана виртуална система или хипервайзор.

Това е програма, която позволява няколко операционни системи (ОС) да споделят един физически компютър. Така машината е дефинирана като копие на физическа машина чрез софтуер, който има собствен набор от виртуален хардуер, на който да се заредят операционна система и приложения.

Чрез виртуализацията на всяка виртуална машина се предоставя виртуален хардуер, в зависимост от прилежащия физически хардуер на хостващия сървър. Когато се създава виртуална машина, по подразбиране ѝ се дава набор от виртуален хардуер. Може след това да се модифицира виртуалната машина като се добавя или премахва допълнителен виртуален хардуер, като се редактира нейната конфигурация.

Начинът на свързване на елементите с модула и Ардуино е показан на фиг. 9. Термосондата DS18B20 се свързва посредством три жила - Vdd, GND и DATA. Между захранването и информационния пин има 4.7 К резистор.

Едножичната шина изисква сигналът за управление да бъде с високо ниво, така че главното устройство да може да го извика, за да поиска данни, а подчиненото устройство може да бъде с ниско ниво, за да даде данните. Това позволява да има няколко еднопроводни устройства на един и същ "единен проводник". Термометърът MLX60914 комуникира с Ардуино платката посредством стандартна бас шина I2C. Четири извода – Vdd, GND, Clock и DATA, осигуряват на устройството да изпраща данни от двата си модула – инфрачервеният безконтактен термометър и термодвойката. Блок схемата на програмния код е показана на Фиг. 10.



Фиг. 10. Блок схема на програмния код.

Проектираната и реализирана система за измерване на температурата на фотоволтаичните панели дава възможност да се получават данни за температурата им в реално време, както и да се съхраняват данни за дълъг период от време на сървъра на метеорологичната станция на БСУ.

Системата отчита температурата от трите датчика. Всички цитирани опции се осъществяват с програмируема развойна платка тип Ардуино, която има допълнителни възможности за свързването към системата на друг тип датчици – за налягане, скорост на вятъра, влажност, слънчева радиация и други.

От събраните данни може да се направи извода, че има случаи при които при еднаква слънчева радиация, но при по - ниски температури може да се получи по - висока производителност. При значително увеличаване на температурата на панела над номиналната работна температура, дадена от производителя, се наблюдава понижаване

на количеството произведената енергия. Получените данни са за кратък период от време и измерени в сезон с най - ниско производство на електрическа енергия от слънчеви панели.

2.3. Визуализация на данните от метеорологичната система и производството на електроенергия

За да се създаде лаборатория за възобновяема енергия е необходимо данните от сървъра, да станат достъпни. За тази цел сървърът е монтиран в специална учебна лаборатория и е свързан с компютърната мрежа на университета.



Фиг. 11. Блок схема на системата за мониторинг.

На Фиг. 11 е показана системата за мониторинг и оценка на енергийния потенциал на слънчевата енергия за сградата на БСУ.

Данните от всички сензори (за температурата на околната среда, на панелите, за слънчевата радиация, за скоростта на вятъра) се записват с помощта на записващо устройство (datalogger).

В избран интервал от време те се изтеглят от сървъра (Фиг. 12), за да освободят пространството за запис на следващи данни, които постъпват от сензорите.

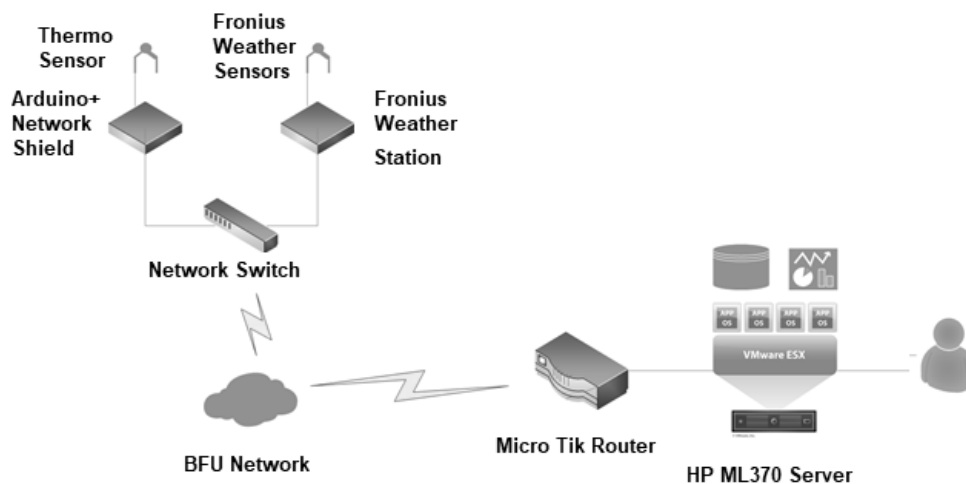
Основният инструмент за запис на данни е създадената специално за целта програма QMeteoLogger, която периодично чете състоянието на сензорите и записва данните в една или повече бази данни - Access и MySQL. Програмата показва прозорец, който визуализира въведените първични данни от метеосистемата.



Фиг. 12. Сървър за запис на данни от сензорите.

Като допълнителна опция има възможност програмата да изчислява спестените вредни емисии от парникови газове и ги въвежда в двете бази данни.

Използването на две бази данни има за цел да резервира съхраняването на информация в случай на проблем с една от тях.



Фиг. 13. Диаграма на оборудването.

Сървърът записва и обработва данни от сензорите. След като данните се съхранят и обработят, те се изпращат на Grafana, модерен, удобен и безплатен графичен софтуер.

Диаграмата на оборудването е показана на Фиг. 13.

Grafana Labs е водещият производител на софтуер за визуализация на серийно генерирани данни по време (time series data) под формата на графики и табла за визуализиране. Използва се и в други области, включително мониторинг на промишлени сензори, автоматизация на домове, време и контрол на процесите.

Grafana осигурява мощен и елегантен начин за създаване, изследване и споделяне на графики и визуализации.

Освен това разполага с множество предефинирани модули, чрез които данните се запазват във визуализацията софтуер, улеснявайки конфигурацията на софтуера и бързата интеграция със съществуващи системи.

Grafana поддържа много различни източници на данни за съхранение на серийно генерирани данни по време.

Може да се комбинират данни от няколко източника на данни в едно табло за управление, но всеки панел е свързан с конкретен източник на данни, който принадлежи на определена организация.

Потребител е име в Grafana. Потребителят може да принадлежи към една или повече организации и може да му бъдат присвоени различни нива на привилегии чрез роли.



Фиг. 14. Блок-схема на алгоритъм за визуализация на данни, постъпващи от Arduino.

За осъществяването на достъп до архивирани стойности в бази данни и извеждане на стойностите на параметрите от метеорологичната станция са създадени програмите *Meteo.Logger.AccessViewer* и *Meteo.Logger.MySQLViewer*.

Има възможност да се запишат данните в Access бази данни.

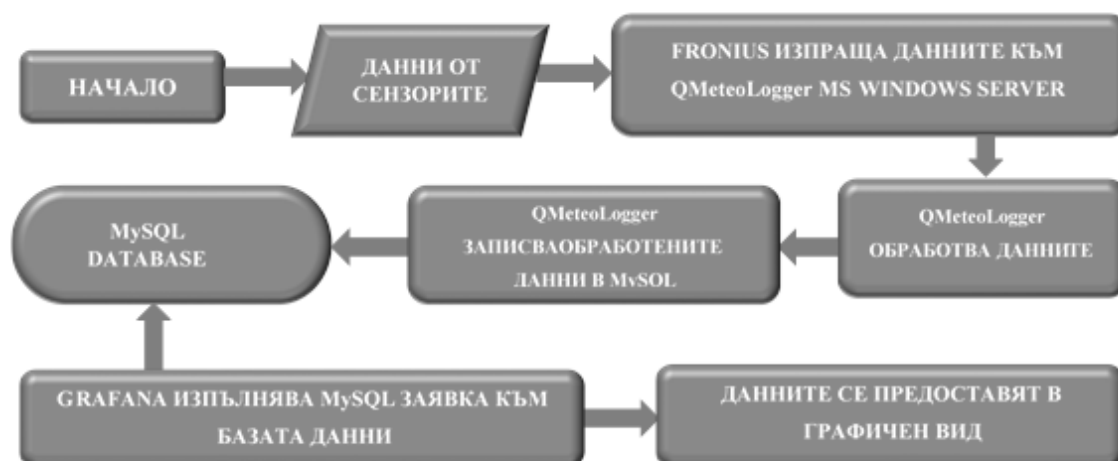
Добавена е връзка за архивиране на базата данни на Access. Разликата между *AccessViewer* и *MySQLViewer* е само в типа на базата данни, която те отварят.

Блок-схемата на създадения алгоритъм за визуализация на данни, постъпващи от Arduino е показана на Фиг. 14, а блок-схемата на алгоритъма за визуализация на данни, постъпващи от *Fronius Weather Station* – на Фиг. 15.

Ардуино записва измерената стойност в MySQL базата данни, следва заявка на Grafana към MySQL базата данни, а резултатът от заявката е графика за избрания времеви период.

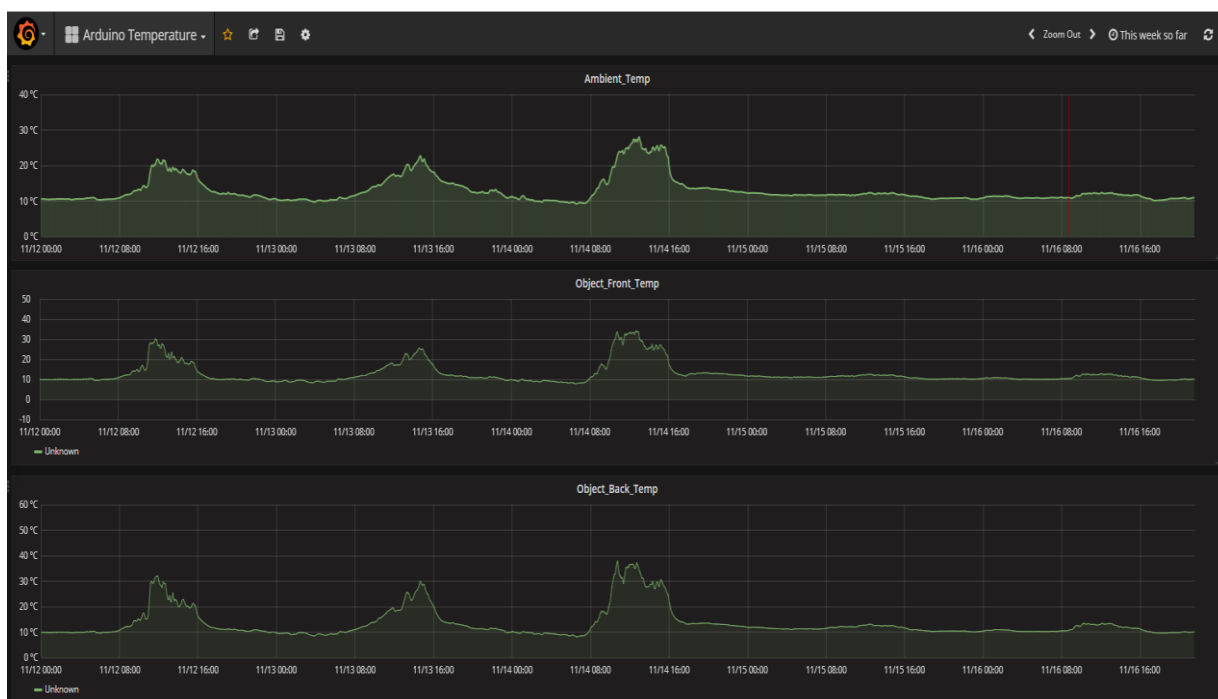
Използвания софтуер за графично представяне на събраните данни - Grafana, позволява генериране на интерактивни графики и съпоставяне на данни от различните източници.

Потребителят има възможност да използва предефинирани панели (dashboards) с графики, както и да създава нови според нуждите на текущия анализ.



Фиг. 15. Блок-схема на алгоритъм за визуализация на данни, постъпващи от Fronius Weather Station.

С разработването на текущата платформа за събиране, анализ и визуално представяне на данните се постига унификация на достъпа до данни, събрани от множество различни източници.



Фиг. 16. Графика на околната температура, температурата на лицевата и задна част на слънчев панел за времеви интервал от една седмица.

Използването на виртуализационен софтуер позволява намаляване на броя на хардуерните устройства (сървъри и периферия), съответно разходите по поддръжка и консумацията на електрическа енергия.

На Фиг. 16 са представени графично резултати от събраните данни за различни периоди от време.

Виртуализацията позволява върху един сървър да бъдат инсталирани няколко виртуални машини с различни операционни системи, изпълняващи различна роля по отношение събирането, съхранението, обработката и графичното представяне на данните.

Използваната платформа за виртуализация (VMware), предоставя високо ниво на сигурност, бърза конфигурация на нови виртуални машини, безпроблемно разпределяне на хардуерните ресурси и дава възможност за бърз и ефективен бекъп на цялата система.

Хардуерните ресурси на сървърната платформа, върху която е реализирана виртуализацията могат да бъдат увеличени почти двойно, което би предоставило възможност за реализация на бъдещи лабораторни проекти в Бургаски Свободен Университет.

Предимства на реализираната платформа са: използване на една сървърна платформа за реализиране на няколко виртуални машини; реализация на енергоефективно решение; скалируемост; високо ниво на сигурност на данните; възможност за събиране на данни от различни източници; съхранение на данните за практически неограничен период от време; динамично графично представяне на събраните данни; различни нива на потребителски достъп.

Бъдещото развитие може да представлява увеличаване на хардуерните ресурси на сървърната платформа.

2.4. Визуализация на данни за спестени вредни емисии

В началото на 2010 година вече са в сила редица международни спогодби, които задължават по - голяма част от държавите с национални индикативни цели за понижаване на емисиите парникови газове с конкретни стойности. Крайната цел на световните усилия срещу глобалното затопляне се измерва в постигането на определена концентрация на парникови газове в атмосферата и стабилизирането на тази пропорция за възможно по-дълъг период от време.

Шестте основни парникови газа, които с повишената си концентрация в атмосферния въздух ускоряват глобалното затопляне, дефинирани от Протоколът от Киото са: въглероден диоксид (CO₂), метан (CH₄), диазотен оксид (N₂O), хидрофлуоркарбони (HFCs), перфлуоркарбони (PFCs) и серен хексафлуорид (SF₆), както и серен диоксид (SO₂).

Междуправителственият комитет по изменение на климата (IPCC) създаде индекс, наречен “потенциал за глобално затопляне”, който дава възможност да се сравняват различните парникови газове на база различната им сила на въздействие върху интензивността на глобалното затопляне.

Масовото използване на възобновяеми източници в световен мащаб е един от начините за намаляване на последствията от проблема на глобалното затопляне.

Енергията, генерирана от ВЕИ с помощта на фотоволтаични панели се приема за екологично чиста. Всяка една сграда, която разполага със собствена фотоволтаична система, каквато е сградата на БСУ, може да бъде сертифицирана с бял сертификат. Този документ удостоверява намаляване на енергийна консумация. В повечето приложения белите сертификати са търгуеми. Във връзка с пряко свързаната концепция за „търговия с емисии” този сертификат трябва да гарантира, че общата цел за икономии на енергия е постигната.

Емисионните фактори са коефициенти, които определят количеството емисии за единица дейност. Примери за такива фактори са: количеството CO_2 , отделяно на MWh при консумация на петролни горива [$\text{t CO}_2/\text{MW}$ гориво], при консумация на електроенергия [$\text{t CO}_2/\text{MW}$ електроенергия] или при консумация на топлинна енергия [$\text{t CO}_2/\text{MW}$ топлина].

„Стандартните“ емисионни фактори, определени от IPCC (Междуправителствен панел по изменение на климата) покриват всички емисии на CO_2 , дължащи се на електропотребление - изгаряне на горива за производство на електроенергия, топлинна енергия, енергия за охлаждане. Те се базират на въглеродното съдържание на всеки тип гориво, на база на което се определят емисиите на парникови газове.

Въглеродният диоксид е най - важният парников газ (GHG - Greenhouse Gas, ПГ). Въздействието на топлинната енергия на всички ПГ се сравнява с въздействието на CO_2 и се обозначава като CO_2 еквивалент (CO_2 - екв.).

С цел определяне на спестените вредни емисии в резултат на работата на изградените две фотоволтаични централи се използва методика, включваща следните етапи:

- Определяне произведената електроенергия от всяка фотоволтаичната централа. Произведеното количество електроенергия се изчислява на база действителната производителност на фотоволтаичните модули.
- Изчисляване на количеството спестена крайна енергия. Използва се следния алгоритъм:

$$Q_{\text{save}} = Q_{\text{base}} - Q_{\text{PV}} + E_{\text{pv}} \text{ (kWh)}$$

Където:

- Q_{save} - количество спестена електроенергия за една година (kWh);
- Q_{base} – годишната консумираната електроенергия (kWh) за сградата на БСУ в случай, че не е въведена в експлоатация фотоволтаичната централа;
- E_{pv} – количество произведена електроенергия за една година от фотоволтаичната централа (kWh);
- Определяне на първичната енергия от следната зависимост:

$$Q_{\text{pr}} = Q_{\text{save}} \times e_i \text{ (kWh)}$$

Където:

- Q_{pr} - спестено количество първична енергия (kWh);

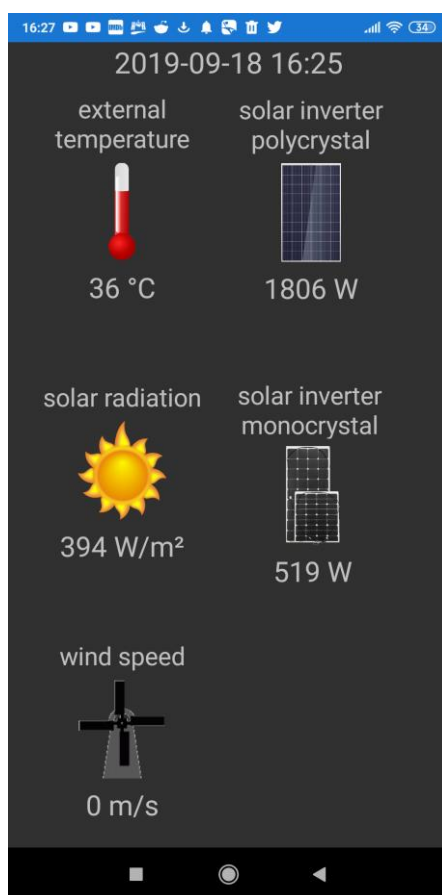
- Q_{save} - количеството спестена крайна енергия (kWh);
- e_i - коефициент, отчитащ загубите при добив, пренос и разпределение на i -я заменен енергиен ресурс (НАРЕДБА №18/12.11.2004 г. за енергийните характеристики на обектите, Приложение № 2, чл. 17, ал. 2, Еталонни стойности на коефициента, отчитащ загубите за добив/производство и пренос на енергийни ресурси и енергии).
- Изчисляване на количеството спестени емисии.

$$E = (Q_{pr} * f_i) / 1000 \text{ kg}$$

Където:

- E - количеството спестени емисии CO_2 в резултат от въвеждането в експлоатация на фотоволтаичната система в kg;
- Q_{pr} - спестено количество първична енергия (kWh);
- f_i - еталонна стойност на коефициента на екологичен еквивалент на енергоресурси и енергия ($g \text{ CO}_2/\text{kWh}$).

За да бъдат определени емисиите е необходима да бъдат получени коректни данни за произведената електроенергия от фотоволтаичната централа.



Фиг. 17. Визуализация на данни от сензорите.

За идентифициране и визуализиране на данните за спестените вредни емисии от парникови газове при производството на електроенергия с използваните възобновяеми източници са създадени уеб услуги за метеорологични данни.

Сървърният софтуер се записва в ServiceStack (C # софтуерен пакет) и се изпълнява на сървъра. Системата има възможност за изследване на зависимостта – замърсяване на панелите – ефективност на работа – спестени емисии.

Получените графики дават възможност за изучаване на работата на фотоволтаичната централа въз основа на информацията, получена от всички сензори (Фиг. 17).

Произведената от фотоволтаичната система електроенергия, получената слънчева радиация, температурата на панела, скоростта и влажността на вятъра дава възможности за осъществяването на максимален контрол върху процеса на производство на енергия. Това от своя страна е възможност за търсенето на решения при наличие на неизправности.

Лабораторията също се развива в посока проучване на интелигентното разпределение на електрическите потоци от различни източници.

Използването на един сървър, получаването на данни от различни източници, възможностите за тяхното съхранение и визуализиране е предимство на така създадената система.

Другото важно предназначение на такава система е, че тя е ориентирана в посока на осъществяването на съвременно практическо обучение на студентите.

Такъв тип обучение не означава само реализирането на мониторинг на получени данни, но и активно участие на студентите в самото създаване и модернизиране на системата и интегрирането в единен комплекс от интелигентни лаборатории на университета - лаборатории по облачните технологии, клъстерни системи, енергетика, лаборатории за управление и моделиране на системи и процеси с използването на Matlab.

2.5. Диагностика на фотоволтаични панели

Високото качество на слънчевите панели има основно значение за ефективната и продължителна работа на фотоволтаичните централи. Продължителната безотказна работа на панелите е необходимо условие за ефективното производство на електроенергия и доходността на инвестициите.

За да се гарантира безаварийната работа на панелите е необходимо да се създаде прост и надежден метод за оценка на качеството им след монтажа.

Използването на термовизионни камери за диагностика на фотоволтаичните панели е един оптимален метод, който има редица предимства.

Дефектите на модулите добре се откриват върху топлинното изображение и за разлика от другите методи термовизионните камери могат да бъдат използвани за контрол на монтирани вече панели по време на работа на фотоволтаичната централа.

С помощта на термовизионната камера дефекти или потенциални проблеми в панелите могат да бъдат откривани до момента на отказ на цялата система. Контролът трябва да се изпълни при достатъчно ниво на слънчевата радиация – не по - малко от

500 W/m². Това гарантира достатъчно добър топлинен контраст за точни термографски измервания.

По тази причина е целесъобразно да се извършва диагностика при минимална температура на околната среда, идеалните за това условия са слънчев зимен ден. Много е важен правилния избор на ъгъла на обхват на камерата спрямо повърхността на панела. Правилното позициониране на камерата позволява да се избегнат грешки и неправилни изводи при диагностиката на модулите. Препоръчва се ъгъл на обхвата (зелен сектор, 5÷60°).

Ако има достъп до задната страна на фотоволтаичните панели за предпочитане е там да се извърши термографското изследване. Такова изследване дава възможност да максималното намаляване на отраженията на стъклото на панелите от слънцето и облаците. Освен това, температурният контраст на задната страна е по - голям, поради това че слънчевия елемент се измерва непосредствено, а не през повърхността на стъклото.

Диагностиката на фотоволтаичните панели трябва да се извършва като правило в стандартни условия на експлоатация, т.е. под натоварване. От значение какви са модулите и какъв е типа неизправности. При наличие на късо съединение може да се осигури допълнителна информация за състоянието на панелите.

Ако отделни части от панела имат по – висока температура, те ще се идентифицират ясно на едно термографско изображение. В зависимост от формата и разположението си тези горещи участъци може да показват наличието на различен тип дефекти.

Ако целият модул има по – висока температура от тази, която има в нормално състояние, това може да е проблем, предизвикан от начина на свързването му.

Ако отделни клетки или поредица от клетки се проявяват като горещи точки или като "горещ рисунък", причините могат да бъдат бъде наличие на дефектни диоди, вътрешни къси съединения или наличие на вътрешни дефекти (пукнатини) в кристалите.

Един от най - често срещаните дефекти е наличието на точки с ток на късо съединение. Този дефект е свързан с локализирано повишаване на големината на тока.

Точките с ток на късо съединение могат да бъдат причинени от дефекти на материала на панела или да бъдат причинени от неправилна експлоатация. Точки с ток на късо съединение в слънчевите клетки са изследвани за първи път с инфрачервена термография през 1990 г. Панелите са наблюдавани от задната страна с инфрачервена камера.

Точките с ток на късо съединение в слънчевите клетки са регистрирани като зони с по – висока температура, поради увеличената стойност на електрическия ток и затова се наричат горещи точки.

Според някои изследователи една от причините за поява точки с ток на късо съединение е наличието са пукнатини и дупки в полупроводниковия слой. Обикновено има няколко вида точки с ток на късо съединение в днешните слънчеви клетки, причинени от дефекти в материала от типа на разрушения и примеси, или такива, получени в процеса на производството им.

Ниското съпротивление на точките с ток на късо съединение води до намаляване на напрежението. Соларната клетка с по -ниско съпротивление има по - ниска мощност.

Някои дефекти в материала на панела действат като центрове за рекомбинация, като въвеждат различни енергийни нива и по този начин намаляват живота на свободните токоносители и следователно намаляват ефективността на слънчевите клетки при работа.

Съвременните слънчеви фотоволтаични системи трябва да работят надеждно през целия период на експлоатация, който е зададен от производителя. Независимо от това, в тях много често се констатира наличието на дефекти и повреди, които оказват съществено върху работата им.

Даден дефект не предизвиква непременно загуба на мощност на фотоволтаичния модул, но определя част от него модул, която се различава от един идеален фотоволтаичен модул.

Разбира се, визуалното изследване е най - ефективния и бърз начин за откриване на повреди и дефекти във фотоволтаичните модули.

Международната електротехническа комисия (International Electrotechnical Commission – IEC) публикува стандарт IEC 61853 (БДС EN 61853-1:2011, който регламентира тестването в различните климатични и географски условия и включва тестове HTC, LIC, НТС, NOCT и STC. Има и PV-USA Test Condition (PTC), които не са част от този стандарт.

Визуалното тестване на нови модули става с помощта на стандартни тестове, съгласно БДС EN 61215-1:2017 (IEC 61215-1:2016) стандартите.

Визуалната проверка на фотоволтаичния модул се извършва преди и след като модула е бил подложен на екологични, електрически или механични стрес-тестове в лабораторни условия.

За оценяване на дизайна на модулите в предварителната фаза на производството, качеството на продукцията и продължителността на живота на модулите се използват т.н. стрес тестове. Най - често използваните стрес-тестове включват следните въздействия: въздействие на термични цикли, циклични обледенявания, ултравиолетово облъчване, механично натоварване, градушка, експозиция на открито и термичен стрес.

Когато се прави визуалната проверка на един фотоволтаичен модул е удачно той да бъде разделен на части, като всяка част от него се инспектира и резултатите се документират поотделно с описание на съответните дефекти.

Съгласно стандарта по време на визуалната инспекция осветеността трябва да е над 1000 лукса и се вземат предвид само тези дефекти, които се откриват с просто око. Визуалната проверка е мощно средство за идентифициране на причините за откази на фотоволтаични модули или за идентифициране на проблеми, които биха могли да доведат до негативни резултати при бъдещата им работа.

Визуалната проверка е много ефективна за идентифициране на горещи петна (маркировки на изгаряне), разслояване, капсулиране в жълто, образуване на мехури в задната част на листа, отказ на съединителна кутия и много други. Необходимо е също да се вземат под внимание и промени в естетическия вид на панелите, дори ако те функционират добре, защото тези промени могат да бъдат причина за поява на дефекти.

Основните видове повреди, които могат да получат фотоволтаичните модули са: при транспортиране(5%), отказ на кабелните разпределителни кутии (j-box and cables) –

(19%), счупване на стъклото (10%), дефектна клетъчна връзка (10%), оптични дефекти (20%), загуби в мощност (19%), разхлабена рамка (6%), деламинация (5%). Останалите типове повреди в рамките на 6% все още не са добре дефинирани.

Повредите на фотоволтаичните модули влошават мощността, която не се възстановява или се създават проблеми, свързани с безопасността на работа.

Замърсяването на модула или повреди, причинени от мълния, не се считат за повреди на фотоволтаичните модули. Получените дефекти, дължащи се на силно натоварване от сняг, се считат за отказ на модул, ако модулът е предвиден за тежко снежно натоварване.

Определянето (измерването) на I-V характеристиката на модула дава възможност да се определят: тока на късо съединение, напрежението на отворената верига и други параметри.

Типичните експериментални условия за измерване на I-V на модула включват естествен или изкуствен светлинен източник и тестова стойка за осветяване на тествания модул. Необходимо е да се осигури контрол на температурата на модула.

Важно е да се разработят също система за мониторинг и система за събиране на данни при измерване за получаването на U-V кривата или на тока в модула при наличие на външен товар или захранване.

При условия на естествена слънчева радиация може да се ползват прибори за измерване на I-V криви на модула. Тестването в реални условия обикновено не е в синхрон със стандартните условия на изпитване (STC, 1000 W/m², 25° C, AM 1.5G референтен спектър на БДС EN 60904-3:2016). Обикновено се използва сензор за слънчева радиация за оценка на глобалното облъчване.

Измененията на I-V кривата дават информация за повредите на фотоволтаичния модул. Ако има само измерена I-V крива без информация за специфичните електрически параметри на фотоволтаичния модул, могат да се оценят токът I_{sc} за дадена област от клетката, V_{oc} и факторът на запълване.

Освен това формата на I-V кривата също може да разкрие наличието на дефекти от типа на неактивни части от клетката, поради наличие на клетъчни разрушавания или други причини (дефекти в мрежата), късо съединение на байпас диод.

Ако има специфични данни за фотоволтаичния модул (от производителя) може те да се сравнят с получени измерени стойности, което ще даде добра представа за потенциални повреди и технически проблеми.

Ако има получена предишна I-V крива за даден фотоволтаичен модул, измерена със сравнимо оборудване и аналогични условия, може да се оцени I-V кривата за наличие на дефекти.

По - нисък ток на късо съединение I_{sc} от очакваната стойност може да бъде причинен от загубата на прозрачност, дължаща се на покафеняване или пожълтяване, корозия на стъклото, което намалява светлинното захващане на модула или от разслояването, водещо до оптично разединяване на слоевете. Формата на I-V кривата се променя по различен начин, ако дефектите са хомогенни или хетерогенни.

Серийното съпротивление в модула може да се увеличи чрез увеличаване на съпротивлението на междусистемните връзки, корозия в съединителната кутия или свързващи и пасващи връзки. Повредите, които понижават V_{oc}, са лоши клетъчни връзки, къси съединения от клетка към клетка или повреда на байпас диода.

Напрежението на отворения кръг на модула може да бъде намалено и от светлинно индуцираното разграждане (LID) на модулите на кристалния силиций или потенциално индуцирано разграждане (PID). Причините за поява на стъпаловидни участъци в кривата могат да бъдат дефект в байпас диода, повредени клетки или тежко несъответствие на PV клетките в модула.

Термографията или получаването на инфрачервено изображение като вид безразрушителен контрол, който осигурява бързо, двумерно разпределение на характеристиките на фотоволтаичните модули в реално време, може да се използва като безконтактен метод за диагностициране на някои топлинни и електрически повреди във фотоволтаичните модули. Измерванията могат да се извършват по време на нормална работа както за отделните модули, така и за големи PV системи.

Термографските измервания показват температурни разлики, предизвикани от външен ток или при облъчване със светлина на фотоволтаичния модул. При измервания на тъмно се подава външен ток (обикновено съпоставим с тока на късо съединение I_{sc}). За да се избегне термичното увреждане на тънкослойните модули, трябва да се гарантира, че I_{sc} на модулите не се надвишава с повече от 30%.

За по - прецизно откриване на дефекти се извършва термография при осветяване на фотоволтаичния модул. При това е необходимо да се сравняват температурното разпределение при късо съединение, отворена верига и при максимална мощност.

Термографията се осъществява най - вече с помощта на преносима инфрачервена камера. Дължината на вълната на използвания IR-детектор обикновено е между 8 и 14 μm . Осветените (открити) термографски измервания трябва да се извършват в слънчев безоблачен ден, при минимална интензивност на слънчевата радиация 700 W/m^2 .

В идеалния случай температурата на околната среда, както и скоростта на вятъра трябва да са ниски. Ъгълът на виждане трябва да бъде възможно най - близък до 90° , но не по - малък от 60° спрямо модулната стъклена равнина. Операторът трябва да е наясно с отраженията, получени от сгради, облаци и други обекти. За правилно измерване на температурата на панела, камерата трябва да бъде настроена на съобразно околната температура.

Измерванията от задната страна на панела са по - точни, отколкото тези от страна на стъклото. Когато осветлението е равномерно, температурите на клетките могат да се различават само с няколко градуса.

Ако модулът има дефекти, има вероятност температурните колебания да са много по - големи. Възможни са разлики в температурата от порядък на 10 K между горещите точки, в сравнение с нормалните работещи части в околността на измерването. Освен това трябва да отчита и наличието на температурен градиент в PV инсталацията, който се дължи на конвекция.

Ако се прилага импулсна термография с външен светлинен източник (един или повече едновременно действащи мощни светлинни източника), продължителността на импулсите не трябва да е по - голяма от няколко милисекунди, за да се избегне получаването на замъглени изображения. Ако има нехомогенно разпределение на топлинния капацитет на материала и топлинната проводимост, т.е. има разлики в термичната дифузия, това ще повлияе значително върху температурното разпределение.

Използването на импулсната термография дава възможност да се получат данни за вътрешната структура на PV модула – наличието на мехурчета в слоевете и на вътрешни електрически връзки, които не са видими през непрозрачния заден лист. Дълбочината на проникване на разсейването на топлината е обратно пропорционална на честотните стойности.

Недостатък на метода на импулсната термография е необходимостта от използването на скъпо струваща високоскоростна инфрачервена камера с висока разделителна способност. Такава технология се използва основно при инфрачервени системи, изпълнявани в ракетната техника.

На едната от фотоволтаичните централи, разположени на покрива на БСУ, се проведе диагностика с цел установяването на наличието на дефекти във фотоволтаичните модули и изследването на тяхното влияние върху ефективността на работата на централата.

Изследваната централата е оборудвана с трифазен инвертор с две MPP (massive parallel processing) следящи устройства. Към него са свързани два стринга с по десет фотоволтаични панела всеки. В единия стринг са свързани само със здрави, бездефектни фотоволтаични панели, а в другия има физически повреден панел. Функциите на инвертора позволяват да се установи на кой стринг е повредения панел.

Цялата мощност от панелите се преобразува от инвертора и се подава към трифазната мрежа с номинална стойност на напрежението 380 V. По този начин цялата мощност на панелите се отдава към мрежата.

За по - голяма ефективност инверторът е с два контролера MPPT (Maximum Power Point Tracking - следене на точката с максимална мощност). Чрез тази опция на инвертора може да се постигне по - голяма ефективност на панелите.

Изследванията бяха извършени в условия на интензивно натоварване на панелите продължение на три часа. След натоварването се проведе и диагностика с помощта на два типа термовизионни камери за получаване на термоизображения, които бяха записани и анализирани.

Извърши се и анализ на работата на различните фотоволтаични панели.

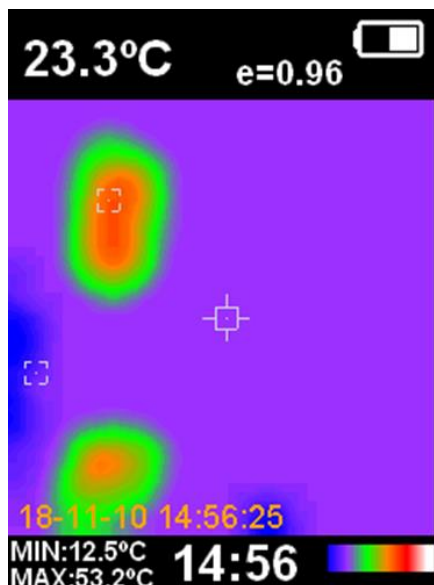
Измерването на всички фотоволтаични панели се проведе със специализиран уред за измерване на соларни системи HT-SOLAR I-V, който има сертифициран и калибриран сензор за измерване на слънчевата радиация в момента на измерването. Уредът има и датчици за измерване на температурата на околната среда и на панела.

Благодарение на пълния набор от сензори и калибрирани датчици уреда HT-SOLAR I-V дава много точно измерване на моментното състояние на фотоволтаичните панели.

Използвани бяха два модела термовизионни камери: FLIR ONE PRO Gen 3 и HT-02. Изследването се проведе в следната последователност:

- изследване на фотоволтаичните панели за откриване на повредени клетки или на лоши контакти по връзките на отделните клетки с термовизионна камера модел FLIR ONE PRO;
- изследване на фотоволтаичните панели за откриване на дефекти при използване на термография при различни разстояния на снимане с термовизионна камера модел HT-02 (Фиг. 18);

- изследване на фотоволтаичните панели за откриване на дефекти с помощта на електрически измервания.



Фиг. 18. Термично изображение, получено с помощта на НТ-02.

Получените данни от термовизионните камери и специализирания уред бяха записани и анализирани.

Резултатите от измерването на Стринг 1 модул 1-6 , Модел CPV 60P - 250Wr са показани на Фиг. 19.

Установиха се големи аномалии във волт-амперните характеристики, както и в характеристиките на мощността. Изхождайки от коефициента на запълване 51 единици от номинали 76, измерената мощност от 56 W не отговаря на нивата на слънчевата радиация.

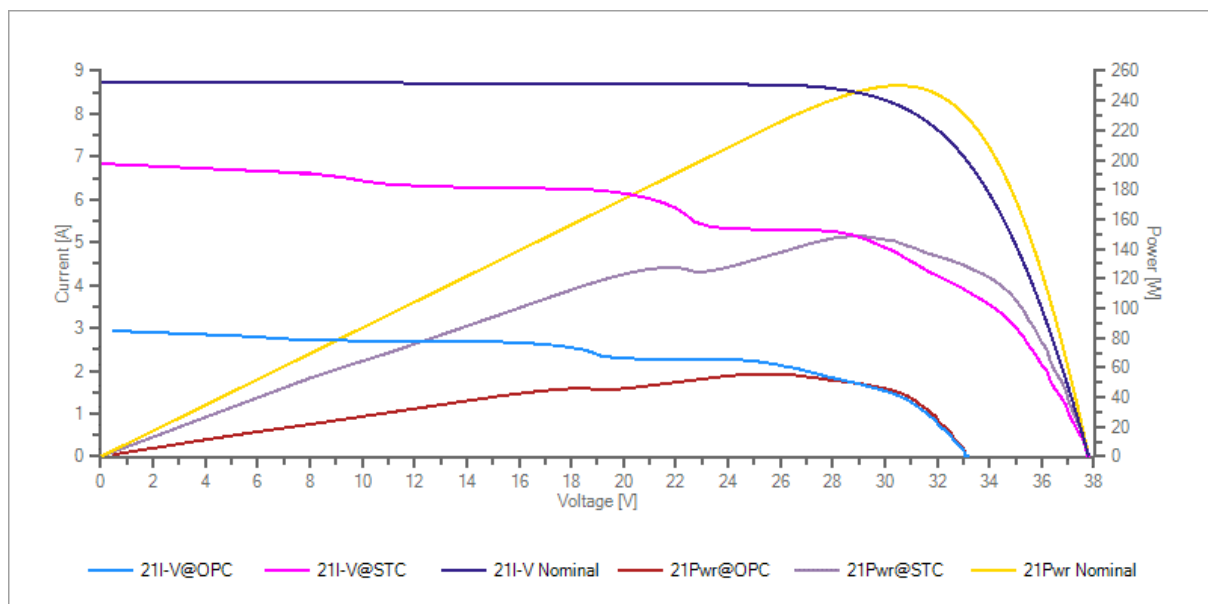
Това дава основание да се направи извод, че фотоволтаичния панел е с намалена ефективност - 49% от номиналната ефективност.

Получените експериментални резултати доказаха несъмнено добрите възможности, които има структурираната интегрирана интелигентна лабораторна база за изследване на експлоатационната надеждност на различни видове фотоволтаични панели в условията на реална работна среда.

При така създадените условия студентите имат възможност да участват в реални експерименти, без да присъстват физически в сградата на БСУ, от всяка точка с отдалечен достъп до интернет услуги.

Данните могат да бъдат съхранявани в облачна среда и на учебния сървър на лабораториите, могат да бъдат анализирани след време, след съхраняването им за даден период.

Анализът на тези данни дава възможности да се прогнозира резултати за ефективността и производството на изследваните обекти за бъдещи периоди, в различни работни режими.



Фиг. 19. Резултати от измерване на Стринг 1 модул 1-6 ,
Модел CPV 60P - 250 Wp.

12.2.2018 13:02	String	Module	Pmax	Voc	Vmpp	Impp	Isc	Irradiance	Temp.	FF	alpha	beta	tol+	tol-
CPV60P250	1	6	40.54%											
Measures@OPC	1	6	56	33,1 3	25,15	2,22	2,94	426	51	57	0,036	-0,330	3	1
Meas Avg@OPC	1	6	56	33,1 3	25,15	2,22	2,94	426	51	57	0,036	-0,330	3	1
STC	1	6	149	37,8 7	28,79	5,16	6,66	1000	25	59	0,036	-0,330	3	1
Nominal	1	6	250	37,8 0	30,50	8,20	8,75	1000	25	76	0,036	-0,330	3	1

Measures@OPC	Реално състояние на PV панела
Meas Avg@OPC	Средни стойности на OPC
STC	Стандарт за параметри на PV панели
Nominal	Номинални стойности зададени от производителя
Irradiance	Ниво на слънчева радиация
FF	Коефициент на запълване

Alpha	Температурен коефициент на ток на късо съединение
Beta	Температурен коефициент на напрежение при отворена верига
Pmax	Максимална мощност
Voc	Напрежение на отворена верига
Temp.	Температура на панела
Impp	Ток с максимална мощност
Isc	Ток на късо съединение
tol+	Толеранс на мощността на панела
tol-	Толеранс на мощността на панела

Заклучение

Използването на нови методи на преподаване и обучение ще подобри качеството на образованието и ще осигури дълготрайни знания и умения, свързани с решаването на реални проблеми.

Съвременните лаборатории включват два типа програмно-апаратни комплекси: лабораторна установка с отдалечен достъп (комплекс от дистанционни лаборатории) и програмно осигуряване, позволяващо моделиране на лабораторните изследвания (виртуални лаборатории).

Разработеният комплекс за мониторинг на учебна фотоволтаична система предоставя широки възможности на обучаемите да провеждат експерименти с необходимото оборудване и материали, да получават практически умения, да се запознават обстойно с компютърните модели и процесите на работа на фотоволтаичните централи, да изследват реални процеси и явления.

Литература

- [1].Abrosimova M. A., Zakharov A. V., The Peculiarities Of Developing Smart Infrastructure In A Higher Educational Institution, Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия экономика. № 4 (18), 2016.
- [2].Ike, C. U., The Effect of Temperature on the Performance of Solar System In Eastern Nigeria. A Photovoltaic - Department of Physics/Industrial Physics Nnamdi Azikiwe University, Awka, Nigeria; Research Inventy: International Journal Of Engineering And Science Vol.3, Issue 12(December 2013), PP 10-1.
- [3].J. Bauer, W. Kwapil, D. Lausch, M.C. Schubert, W. Warta, K. Bothe, O. Breitenstein, Comments on the paper “Detection and analysis of hot-spot formation in solar cells” published by M. Simon and E.L. Meyer in Solar Energy Materials & Solar Cells 94 (2010) 106–113, Solar Energy Materials and Solar Cells, 2012; 99:362–364.
- [4].G. Acciani, O. Falcone and S. Vergura, Analysis of the thermal heating of poly-Si and a-Si photovoltaic cell by means of Fem, International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Granada (Spain), March, 2010.
- [5].O. Breitenstein, J. P. Rakotoniana, M. Kaes, S. Seren, T. Pernau, G.Hahn, W. Warta, and J. Isenberg, Lock-in thermalgraphy- a universal tool for local analysis of solar cells, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 6-10 June 2005, Barcelona, Spain,PP: 590-593.
- [6].X. P. V. Maldague, Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing, Wiley, New York, 2001.
- [7].FLIR Systems Inc., Thermal imaging cameras: a fast and reliable tool for testing solar panels. Retrieved June, 2014 from<http://www.flir.com/cs/emea/en/view/?id=41872>.
- [8]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114001270>
- [9].Фахми Алкатири, Лидия Георгиева, Изследване влиянието на някои фактори върху изходната мощност на PV модул, аучни трудове на Русенски Университет - 2008, том 47, серия 3.1.
- [10]. http://www.ep.liu.se/ecp/057/vol11/039/ecp57vol11_039.pdf
<https://www.arduino.cc/en/main/arduinoBoardUno>
- [11]. Красимир Мартев, Константин Коев, Изследване температурата на фотоволтаични модули при най-голямо годишно електропроизводство, Научни трудове на Русенски Университет - 2013, том 52, серия 3.1.
- [12]. Масимо Банци, Ерика Калогеро, Дейвид Куартиелес, Джеф Грей, Том Игое, Дейвид Мелис и Кристиан Нолд, Запознанство с Ардуино, http://www.brc.soupvolov.com/materiali/zapoznanstvo_s_arduino_v2.pdf
- [13]. <https://www.arduino.cc/>
- [14]. <https://www.sparkfun.com/>
- [15]. <https://www.mysql.com/>
- [16]. <https://www.wikipedia.org/>
- [17]. <https://grafana.com/>
- [18]. <http://www.fronius.comare.com/>
- [19]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114001270>
- [20]. http://www.ep.liu.se/ecp/057/vol11/039/ecp57vol11_039.pdf
- [21]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211300021X>
- [22]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114007540>

- [23]. <https://blog.abundanceinvestment.com/2013/08/how-much-carbon-dioxide-do-solar-panels-save/>
- [24]. <http://www.kippzonen.com/Product/20/SOLYS2-Sun-Tracker#.WQdjctqGNEZ>
- [25]. <http://www.kippzonen.com/ProductGroup/4/Pyrgeometers>
- [26]. <http://www.kippzonen.com/ProductGroup/8/Pyrheliometers>
- [27]. <http://www.kippzonen.com/ProductGroup/11/UV-Radiometers>
- [28]. <https://www.arduino.cc/en/main/arduinoBoardUno>
- [29]. <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>
- [30]. <https://bg.wikipedia.org/>
- [31]. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/TSL2561.pdf>
- [32]. <https://learn.adafruit.com/tsl2561/use>
- [33]. <https://www.sparkfun.com/products/10168>
- [34]. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/graphic-lcd-hookup-guide>
- [35]. <https://diyhacking.com/arduino-ldr-sensor/>
- [36]. В. В. Кортаев, Г. С. Мельников, С. В. Михеев, В. М. Самков, Ю. И. Солдатов. Основы тепловидения – СПб: НИУ ИТМО, 2012 – 122 стр.
- [37]. О. Аль-Аомари, Ю. В. Ваньков, Е. Е. Костылева, Р. Н. Валиев, Методика Обработки Результатов Тепловизионных Обследований Высоковольтного Оборудования, Проблемы энергетики, 2015, № 11-12.
- [38]. Mirjana Maksimović, Green Internet of Things (G-IoT) at engineering education institution: the classroom of tomorrow Faculty of Electrical Engineering University of East Sarajevo East Sarajevo, Bosnia and INFOTEH-JAHORINA Vol. 16, March 2017.
- [39]. N. Cavus and D. Ibrahim, Is Blended Learning the Solution to Web-Based Distant Engineering Education, 7th International Educational Technology (IETC) Conference, Nicosia, Cyprus, 2007.
- [40]. S. Kogler, IoT in the classroom, <https://networkingexchangeblog.att.com/>
- [41]. Itai Asseo, Maggie Johnson, Bob Nilsson, Chalapathy Net, i TJ Costello, The internet of things: Riding the Wave in Higher Education, EDUCAUSE review, 2016, www.educause.edu
- [42]. Ali A. Kazem, Miqdam T. Chaichan, Hussein A. Kazem, Dust effect on photovoltaic utilization in Iraq: Review article, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 37(2014)734–749.
- [43]. Adel A. Hegazy, Effect of dust accumulation on solar transmittance through glass covers of plate-type collectors, Renewable Energy 22 (2001) 525–540.
- [44]. Syed A.M. Said, Husam M. Walwil, Fundamental studies on dust fouling effects on PV module performance, Solar Energy 107 (2014) 328–337.
- [45]. J. Zorrilla-Casanova, M. Piliouline¹, J. Carretero¹, P. Bernaola, P. Carpena, L. Mora-López, M. Sidrach-de-Cardona, Analysis of dust losses in photovoltaic modules, World Renewable Energy Congress, 2011, Sweden.
- [46]. Arash Sayyah, Mark N. Horenstein, Malay K. Mazumder, Energy yield loss caused by dust deposition on photovoltaic panels, Solar Energy 107 (2014) 576–604.
- [47]. M. R. Behiri, W. Abdelaziz, Hesham El-Batsh, Hegazy Rezk Enhancement Energy Saving and CO₂ Emissions Reducing through PV Systems, International Scientific Journal, Journal of Environmental Science, <http://environment.scientific-journal.com/>.
- [48]. R. Simionov, Totev K., Hrusafov H., IoT in advantage of the university, Yearbook of BFU, 2019, Volume XXXIX, ISSN: 1311-221-X 2018.

- [49]. P. V. Georgieva, Dolchinkov R., Fuzzy models for managing a micro grid PV system, 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2019, Proceedings.
- [50]. P. V. Georgieva, Parameters of GFSSAM, ACM International Conference Proceeding Series, 2018.
- [51]. Dolchinkov R., Teaching methods in computer design of technological systems, SEVILLE, SPAIN, 6TH International Conference Of Education, Research And Innovation, ISBN 978-84-616-3849-9, p. 5785-5795, 2013.
- [52]. Долчинков Р., Колева М., Иновации в обучението на магистри с помощта на UNIGRAPHICS NX, БСУ, Конференция на тема "Иновационни технологии за развитие на бизнеса в Югоизточен регион, ISBN 978-954-8468-97-8, стр. 51-68, 2014.
- [53]. Долчинков Р., "Образованието и иновациите в основата на конкурентната икономика или /мястото на университетите в създаването на иновации и конкурентноспособност/, Студия, 2014. Електронно списание „Компютърни науки и комуникации”, Том 3, № 4, БСУ, ISSN 1314-7846.
- [54]. Radoslav Simionov, Modern Methods For Engineering Solutions In Building Energy Systems, Yearbook of BFU, 2018, Volume XXXVIII, ISSN: 1311-221X.
- [55]. Eldar Zaerov, Using Perovskite In The Production Of Solar Energy, Yearbook of BFU, 2018, Volume XXXVIII, ISSN: 1311-221X.

СЪДЪРЖАНИЕ

1.	IoT в университетите.....	3
2.	Визуализация на данни от енергиен лабораторен комплекс.....	9
2.1.	Оценка на замърсяването на фотоволтаичните панели върху производителността на работа.....	11
2.2.	Оценка на влияние на температурата на фотоволтаичните панели върху производителността им.....	16
2.3.	Визуализация на данните от метеорологичната система и производството на електроенергия.....	22
2.4.	Визуализация на данни за спестени вредни емисии.....	26
2.5.	Диагностика на фотоволтаичните панели.....	29
	Заключение.....	37
	Литература.....	38