

## Виртуална сензорна система за мониторинг и детекция на критични режими на работа за превенция на аварии в производството

Миле Миланоски, Велимир Василев, Георги Петров

### VIRTUAL SENSOR SYSTEM FOR MONITORING AND DETECTION OF CRITICAL MODES FOR THE PREVENTION OF ACCIDENTS IN PRODUCTION

Mile Milanoski, Velimir Vasilev, Georgi Petrov

**Резюме:** Редица предприятия с нови и експериментални производства за преработка използват интеграция със SCADA системите, която обаче не винаги е пълна и завършена, това често е поради финансови или чисто технологични ограничения или непознаване на цялостния процес в момента на неговото въвеждане. Ето защо създаването на дублираща, еластична и скалируема мониторинг система за следене работните параметри на тежки машини и процеси съществено подпомага работата на персонала и справянето му със задачи свързани с планирането и отлагането на ремонтни дейности, доставка на резервни части, избягване на критични режими на работа водещи до внезапни катастрофални последици и непредвидено спиране на производството.

**Ключови думи:** виртуални сензорни системи, индустриална информатика, онлайн мониторинг на тежки производства, цифрови двойници.

**Abstract:** Many enterprises with new and experimental processing plants use SCADA systems to control machinery, but these systems are not always complete, this is often due to financial or purely technological constraints or ignorance of the overall process at the time of its introduction. That is why the creation of a duplicative, elastic and scalable monitoring system for monitoring the operating parameters of heavy machines and processes significantly supports the work of the staff and their handling of tasks related to the planning repair activities, delivery of spare parts, avoidance of critical work modes leading to sudden catastrophic consequences and unexpected production shutdowns.

**Keywords:** virtual sensor systems, industrial informatics, online monitoring of heavy production, digital twins.

#### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Настоящата публикация описва метода и дизайна използвани при проектирането и пускането в експлоатация на експериментална система за мониторинг и архивиране на работни параметри на високо оборотни радиално аксиални вентилатори (Фиг. 1) в Столично предприятие за третиране на отпадъци.

Вентилаторите работят в непрекъсваем производствен режим 24/7, като част от инсталация за биологично сушене на отпадъци. Входно/изходните параметри на системата се променят постоянно и са в зависимост както от електрическите работни параметри на електродвигателя - напрежение, ток, честота, консумирана мощност, ниво на хармоници в електрозахранването, така и от параметрите на турбината - налягане/вакуум, температура, вибрации и ниво на влага. В допълнение към тежкия режима на работа, проектното изпълнение на системата не задоволява изискванията на производителите на честотното управление за дължината на кабела между честотното управление и двигателя, което е

причина за протичане на паразитен ток между статора и ротора. Паразитния ток, не само влошава производителността на системата, но води до заваряване на лагерите, чести ремонти и непланирани спирания на производствения процес.

Трудностите, особено след ограниченията наложени от Ковид-19 и последващата деградация на веригите за доставка от Китай, в комбинация с наложените ограничения за доставка на тежко оборудване и материали от Русия, след началото на провеждане на специалната военна операция на територията на Украйна, „постави на колене“ редица производства и предприятия поради затруднения при доставка на резервни части, планиране и провеждане на ремонтни дейности.



Фиг. 1 Аксиален вентилатор в инсталация за сушене на отпадъци.

Универсалните SCADA [1] и HMI [2] системи, не притежават модул с изкуствен интелект, чрез който да се извършва планиране и бюджетна ефективност на ремонтните дейности. Само SCADA системите интегрирани към SAP, MMS и CMMS, разполагат с възможността за планиране на ремонти, чрез проследяване на работните часове, натовареността на съоръжението и времената за доставка на резервни части, но те са индивидуални, скъпи и най-често недостъпни за българските предприятия.

Предлаганите системи на известните компании като Siemens, SKF, AEG и др. от този тип, не залагат на ползването на масово достъпни IoT базирани решения, а на скъпи и индивидуални решения. Причините за това не са технически, а по-скоро финансови. Практиката през последните десетилетия, чрез един сравнително универсален подход, базиран на натрупаният опит от иноваторите, доказва че интегрирането на евтини и масово достъпни сензорни модули базирани на ARDUINO и сходни платформи, са в състояние да предложат отворено решение за целите на индустриалните потребители без деградиране на надеждността и ефективността, при изключителни цени. Примери за това могат да се намерят както при създаването на модерни мрежови облачно базирани решения за телеком индустрията, с двойно и тройно резервиране, отговарящи на критериите за дата център услуги, така и при дизайна на иновативни трикратно резервирани хардуерни модули за управление на безпилотни летателни апарати от най-висок клас.

При проектирането на предлаганата от екипа експериментална система за мониторинг и архивиране на работни параметри на високо оборотни радиално аксиални вентилатори, заложихме на бързина, скалируемост, гъвкавост и ефективност и мощ характерни за повечето съвременни мрежови системи, но при ниски цени, чрез ползването на масово достъпни IoT базирани решения.

За постигане на ниска цена, при проектирането на системата избягахме използването на специализирани скъпи сигнални процесори, софтуер, дефицитни

китайски чипове и сложни индустриални контролери. Ниската цена на системата, в комбинация с стандартният подход за инсталация и краткият период за обучение на персонала, прави системата особено подходяща в условия на ограничени инвестиционни ресурси, за всичките типове и големини на производства.

Еластичността, скалируемостта и резервираността на предлаганата от нас система, е постигната чрез употреба на софтуерни контейнери не изискващи специализиран сървърен хардуер и на практика работещи върху масов компютърен хардуер, дори Raspberry Pi компютърни модули, които се предлагат и в индустриален формен фактор.

Използването на софтуерно решение с отворен код не изключва възможностите за индивидуализиране на системата според изискванията на потребителя, допълнение с SNMP за известяване към части от SAP или CMMS системи, интегриране на управлението и визуализацията към мобилни приложения, използване на AI за създаване на сложни алгоритми за фурие анализи на получените данни или използване на редица съвременни методи за визуализация с 3D очила.

## 2. АРХИТЕКТУРА НА ХАРДУЕРА

Подход при избора на архитектурата на системата следвахме правилото за надеждност, ефективност, модулност и ниска цена. Условието са постигнати, чрез директно свързване на сензорните модули със сървърното приложение, без това да налага ползване на сложни локални софтуери, мощни и скъпи DSP хардуерни решения.

Избрания архитектурен подход опростява вградения софтуер, намалява времето на откази и ръчни рестартирания, осигурява надежден онлайн контрол, снижава сложността за изграждане и изискванията за поддръжка на системата.

Хардуерът на системата е разделен на процесорни, мрежови, сензорни, дисплейни и захранващи модули.

Процесорните модули се базирани на евтени, но мощни RISK процесори от производителя Atmel. Мрежовите модули използват достъпни Ethernet Shield разработки, работещи със скорости до 100Mb. Независимостта на системата от закъснение на пакети позволява осъществяване на комуникацията чрез UDP и TCP/IP и RTCP протоколен стек, който едновременно разрешава проблема свързан с предаването на големи порции данни, осигуряване на 100% резервен капацитет и избягва необходимостта от употребата на специализирано мрежово оборудване, като при това администраторите на мрежата не трябва да учат нови протоколни стекове и да използват други средства за мониторинга на системата. Вграждането на системата в рамките на вече съществуваща мрежа, улеснява изпълнението, намалява времето за пускане на системата и едновременно облекчава поддръжката и администрирането на системата. Малките изисквания за трафик на данни на системата, принципно и позволяват да работи по UTP кабел cat.3 или cat. 5., но при работата в индустриална среда или на места където хармониците в захранващото напрежение са над допустимите, използването на SFTP кабел. cat.6 или 7 е задължително.

Захранващите блокове за процесорните модули са изпълнени с мрежови захранващи инжектори - PoE със допълнителен филтриращ и защитен блок от пренапрежения и смущения.

Сензорните модули за измерване на линейните вибрации са базирани на MEMS интегрални решения. Данни получени от сензорите се предават по комуникационната магистрала към софтуерното приложение. Трафика на данни е под 5Mb от сензор, а закъснението на пакетите и необходимостта от реставрация не е от решаващо значение, тъй като системата е проектирана и допуска забавяне. Подхода осигурява пълно

## ВИРТУАЛНА СЕНЗОРНА СИСТЕМА ЗА МОНИТОРИНГ И ДЕТЕКЦИЯ НА КРИТИЧНИ РЕЖИМИ НА РАБОТА ЗА ПРЕВЕНЦИЯ НА АВАРИИ В ПРОИЗВОДСТВОТО

МИЛЕ МИЛАНОСКИ, ВЕЛИМИР ВАСИЛЕВ, ГЕОРГИ ПЕТРОВ

управление на приоритетите, изолация на трафика, решава проблема със сигурността, нерегламентирана подмяна на устройства и софтуер. При необходимост всеки един модул може да се триплира, като трафикът вървящ в един мрежов интерфейс нараства трикратно, но това позволява трикратно увеличаване на потока от данни по мрежовия интерфейс за по-претенциозните потребители. Обикновените имплементации се предлагат ползване на двоен сензорен модул, работещ в редуващ се съвместен режим с периодични рестартирания на основния модул. Количеството натрупани грешки при съществено намалява и се предотвратява т.нар. „забиване“ на системата, без да се ползват по-сложни тройно резервирани решения изискващи подсигуряване от супервайзор за синхронизация. Данни не се подлагат на компресия и отпада необходимостта от реализации на сложни подреждащи алгоритми, няма нужда от защитен локален записващ диск, кодиращ и декомпресиращ алгоритъм. Така изпълнената система съществено снижава комплексността, води до по-висока надеждност на хардуера и по-устойчива работа на софтуера.

Потребителят не наблюдава директния трафик, а обработени от сървърната част от данни, предназначени за конкретният мониторинг процес. Визуализацията може да бъде изпълнена през стандартен SSL криптиран уеб интерфейс, което позволява изолация на потребителите, задачите и техните роли, както и използване на отдалечен достъп чрез стандартен корпоративен VPN във или извън рамките на потребителят.

На Фиг. 2 е дадена снимка на основният сървърен модул с един сензорен модул, етернет мрежата за връзка с останалите модули, чрез PoE захранване и защита.



Фиг. 2. Основен управляващ модул монтиран във метално табло 50x50x25. а- Гореляво – сървър, по средата етернет разпределителни кутии за връзка със сензорните модули, вдясно – захранвания по етернет, вляво долу – Процесорен модул към сензорите. б- сензорен модул залепен на медна планка с термолепило.

### 3. СЕНЗОРЕН МОДУЛ

Сензорният модул ползва MEMS, или Микро Електро Механична Система е технология за чипове в която попадат аналогови (ADXL3xx ADXL320, ADXL321, ADXL322, ADXL330) и цифрови (GY-521 GY-291) акселерометри.

Предимството е ниската цена и достъпността на световния пазар поради широката премина в съвременни телефони, дроневи или игрови конзоли. Допълнителното предимство на предлаганите цифрови чипове е вградения температурен сензор с точност от 0.5 °C и сензор за ориентация в пространството, което позволява техният произволен монтаж по корпуса на машините, тъй като чрез ползване на тези данни за тяхната позиция. Софтуера изчислява реалните отклонения по осите X, Y и Z осите и те не зависят от прецизността по време на монтажа. Сензорите са модулни и се предлагат със стандартна дължина на кабела от 1.5; 2, 3, 5 и 7м, но е възможно да бъдат удължени със стандартен SFTP кабел до 25м.

Сензорите от този тип работят с относително ниска честота на дискретизация, рядко надвишаваща 1KHz. За справяне с този проблем, отделните сензори са свързани към един процесорен модул и работят асинхронно, наличен е голям джигер при дискретизация на сигналите, което не позволява директното ползване на техники за класификация на едномерни „аудио“ сигнали. Анализираният софтуер търси отклонения от нормалното разпределение на сигнала във областта на вероятност, а не честота – която принципно се използва при прецизният анализ на повреди в лагери. Така измерените сигнали за дълъг период от време формират едно неделимо вероятно статистическо пространство характерно за всяка една уникална машина. Възстановка за честотите на биене (например поява на нова мода в хистограмите на сигнала) става чрез съпоставяне на получените данни за вибрациите и данните от честотното управление на електродвигателите. Ако SCADA системата не разполага с модул за извеждане на информация от този тип, системата предлага възможност за връзка с допълнителен токов датчик върху една или три фази за проследяване на параметри като: I, U, P, Q, S, cos φ. При липса на адекватно управление или защита, изходите от процесорния модул могат да действат като управляващ, алармен и защитен оперативен сигнал за работата на двигателя.

### 4. СОФТУЕР

Програмното обезпечение е максимално опростено с цел минимизация на възможни грешки и неработоспособност. Фърмуерът е отворен код за „C/C++“ код, като най-сложната част от него е ползването на готови библиотеки за управление в процеса на извличане на данни от интелигентните микромеханични сензори.

Работа с аналогово свързани сензори е предпочетена, тъй като така възможностите за отказ на готови библиотеки силно се минимизира, а също така дава възможност да се използват още по-евтини микроконтролери с обособени функции. Системата е снабдена с програмируем таймер (watchdog), чиято основна функция е намаляване на времето до отказ, като в зависимост от модула, време до рестартиране стига до 8 секунди. Прекъсванията от 100 милисекунди секунди свързани с рестартирания на модула не пречат на мониторинг процесите. Модулът комуникира със сървърния софтуер, като последователно изпраща пакети с информация. Процесът и режима на работа са дефинирани от сървърния софтуер което включва пращане на всички данни в поток или изпращане само на статистическите параметри на сигнала. Използвания подход драстично намалява броя на пакети и общото натоварване на мрежата, сървърът определя изискванията за директен стрийм само ако анализира или диагностицира аварийно



събитие. Детайлните данни не са нужни в процеса по класификация на аварията, а само при промяна на режима на работа. По този начин се създава вероятностно статистически модел какво се случва с машината и анализират само промените по време на работа или при преход от едно в друго състояние на нормална работа (смяна скоростта на въртене, смяна на натоварване и др.).

Целият сървърен софтуер е написан на езика „Python 3“ като стандартно многонишково приложение, което приема съединения с виртуалните сензори и архивира данните в отделни CSV файлове, използват се стандартни блокировки при архивиране на данните. Предвид ниската латентност на етернет мрежата (под 10-30 ms), за времеви идентификатор се приема момента на пристигане на данните. Обработката, архивирането и визуализацията на тези данни става в отделно приложение написано на PHP през Apache веб сървър, но може да стане и чрез по-семпъл сървърен софтуер с по-ниски изисквания към хардуера. При изискване на потребителя възможно е ползването на по-сложни и на по-леки веб сървъри или писането на специализиран вграден веб сървър.

За анализ на данните се използват управляващи „bash“ скриптове, които могат да ползват и код написан на езика за статистически анализ и визуализация на езика „R“.

## **5. СИСТЕМА ЗА КЛАСИФИКАЦИЯ НА АЛАРМЕНИТЕ СЪБИТИЯ**

Постъпващите данни от отделните виртуални сензори се записват в CSV текстови файлове с идентификатор по време. Този формат отнема повече дисково пространство от директния бинарен запис с компресия, но позволява преглед и филтрация през текстов терминал, което е от особено значение за индустриалните приложения. Използването на компресиращи алгоритми ползвани за нуждите на аудио системите, като например MP3, не е удачно тъй като характерът на сигналите е стохастичен без явно изразени честотни съставки и това довежда до изглаждане на пикови стойности от сигнала. За минимизация на дисковото пространство тези файлове се архивират автоматично в ZIP архиви. При отсъствие на алармени събития основните лог файлове могат да бъдат изтривани, като системата пази информация само за нормираната хистограмата на отделните записи, заедно с предварително изчислени основни статистически параметри, за по-бърза обработка. За детекция на алармените събития се използват класически софтуерни прагови компаратори (if, else), а за анализа на бавно развиващи се процеси се ползват непараметрични вероятностно статистически и методи за класификация на събитията свързани с данни от сензорите ползвани в системите за видеообработка и разпознаване на случайни събития [5]:

- Нормирана хистограма на данните и нейната ентропийна маска, калкулирана на база събраните данни от всеки виртуален сензор, за всеки предварително известен режим на работа, средна стойност и нейната стандартна грешка, стандартно отклонение за бърза детекция на предварително класифицирани степени на авария;
- Анализ на стационарност с използване на критериите на: Пиърсън, Комплексен и Колмогоров при бързата класификация на потенциални аварийни режими в зависимост от зададения режим на работа, Габор трансформация на вероятностното разпределение интерпретиране кривата на хистограмите, като едномерен сигнал [7] и дискретни вериги на Марков [6];
- Използва се многомерна градиентна ентропийна маска на многомерното фазово пространство от преходи в което се е намирала машината при превключване на режимите на работа или при внезапно предизвикано ударно натоварване.

Практиката показва, че минимална промяна на честотата на въртене в управляващите електромеханични устройства, конкретно за големи въздушни турбини, е

достатъчна, за да бъде постигнато чувствително намаляване на вибрациите и по този начин се отлага катастрофалното износване, или при по-тежки случаи (например попадане на голям предмет в турбината, проникване на вода, теч на вода през капачката на лагерите в електродвигателите, счупване на сфера в роторна мелачка и др.) В някои случаи се допуска моментно превключване на реверсивен режим, в случай на попаднало чуждо тяло във въздухозаборниците. Ето защо последователността от действия предприети от персонала в подобни ситуации се записва, като дискретна верига от действия (switch...case) – смяна на режими, и в случай на успех прилагана отново при сходен проблем. Това в последствие ще позволи да се автоматизират режимите на аварийно превключване чрез самообучаващи се контролери. Данните получени от сервизните екипи изпратени за отстраняване на проблема в последствие се съхраняват като атрибут на получените данни от виртуалните сензори, заедно с информация за предприетото действие, системата поддържа архивиране и на допълнителна документация свързана с поръчка на резервни части, бързи ремонти и снимки на износените и повредени механизми.

Табл. 1 Таблица на съпоставка на различните режими на работа на всяко едно съоръжение с предварително известни нормирани осреднени хистограми на стойностите и фазова диаграма на преходите събрани от отделните виртуални сензори в нормален, натоварен и аварийен режим.

	Режим 1	Режим 2	...	Режим N
Нормална работа	Фазова диаграма 1	Фазова диаграма 2	...	Фазова диаграма N
Натоварен режим 1		X база с регистрирани проблеми за режим 2		
Аварийен режим 1	X база с регистрирани проблеми за режим 1			
...				X
Неуточнен режим			X	

В действителност този диагностичен процес често отнема 3 до 12 часа в реален производствен процес, ето защо навременното онлайн диагностициране на потенциален проблем е решаващо, т.е. промяна параметрите на работа, следене на сензорния сигнал. Това на по-късен етап би позволило натрупването на банка от данни, характерна за конкретната машина и производствен процес, ползването на тези данни за обучение на дигитален модел двойник на машината, като така бъдат създадени твърди модели на поведение за типови ситуации (проникване на вода, чуждо тяло, износване на лагер, изкривяване на лопатка на турбина предизвикано от удар, износване на лагери, разхлабен крепежен елемент и др.), подобно на експертна система, за минимизация на вредни вибрации и възможната компютърно подпомогната класификация на проблема. Натрупването на данни свързани с конкретни инциденти, както и нормалната работа на съоръженията ще позволи на съответните мениджмънт екипи на даденото предприятие да извършват навременна поръчка на резервни части и оборудване, преди достигането на

катастрофално износване. (Спирането на подобни производствени процеси често струват десетки/стотици хиляди евро на ден.)

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ/ИЗВОДИ

Така разработената система от виртуални сензорни модули, фърмуеър и софтуер доказва своята работоспособност в експериментален режим, като е тествана в реални заводски условия от декември 2021г. до август 2022г. Създадени са няколко отделни версии на хардуера, основен проблем е свързан с непреднамерени токови удари, които при някои инсталации до момента не могат да бъдат отстранени и водят до повреда на сензорите. Не на всички места в предприятието е налично отделно електрическо хранване, което налага ползване на токови инжектори през етернет, поради спецификата на електромагнитната обстановка, наличието на силни импулсни смущения се налага ползване на допълнителни стабилизиращи хранвания с двустъпална линейна стабилизация, които се конструират на място. Успешно е постигнато удовлетворяването на началното задание, разработка на евтина и сравнително надеждна система за непрекъснат мониторинг на работните параметри на тежки индустриални машини, като са събрани големи данни (над 400 GB), които ще бъдат ползвани за обучение на модул с изкуствен интелект за класификация на отделните режими на работа. Екипът направил разработката търси контакти за експериментално внедряване и в други сектори на производството касаещи изграждането на цифрови двойници.

### ЛИТЕРАТУРНИ ИЗТОЧНИЦИ:

- [1] СИМЕОНОВА, Цветелина. Особености на разпределените системи, SCADA и IoT. *Годишник Телекомуникации 2020* [онлайн]. 2020, (7), с. 65-71 [прегледан 23 януари 2023]. eISSN 2534-854X. Достъпен на: <https://telecommunications.nbu.bg/bg/godishnik-telekomunikacii-broeve/godishnik-telekomunikacii-2020-g-tom-7> [SIMEONOVA, Tsvetelina. Osobenosti na razpredelenite sistemi, SCADA i IoT. *Godishnik Telekomunikatsii 2020* [onlayn]. 2020, (7), s. 65-71 [pregledan 23 yanuari 2023]. eISSN 2534-854X. Dostapen na: <https://telecommunications.nbu.bg/bg/godishnik-telekomunikacii-broeve/godishnik-telekomunikacii-2020-g-tom-7>]
- [2] ПЕТРОВ, Християн и Георги ПЕТРОВ. Дигитализация на каскада „Арда“ за хидроенергийното производство – I част. *Годишник Телекомуникации 2021* [онлайн]. 2021, (8), с. 65-71 [прегледан 23 януари 2023]. eISSN 2534-854X Достъпен на: <https://telecommunications.nbu.bg/bg/godishnik-telekomunikacii-broeve/godishnik-telekomunikacii-2021-g-tom-8> [PETROV, Hristiyan i Georgi PETROV. Digitalizatsia na kaskada „Arda“ za hidroenergiynoto proizvodstvo – I chast. *Godishnik Telekomunikatsii 2021* [onlayn]. 2021, (8), s. 65-71 [pregledan 23 yanuari 2023]. eISSN 2534-854X Dostapen na: <https://telecommunications.nbu.bg/bg/godishnik-telekomunikacii-broeve/godishnik-telekomunikacii-2021-g-tom-8>]
- [3] ДЖУДЖЕВ, Б., В. ИВАНЧЕВА и С. КАЧУЛКОВА. Класификация и параметри на вибрациите. *Годишник на Технически университет-София 2012* [онлайн]. 2012, год. 62(2), с. 411-418 [прегледан 23 януари 2023]. ISSN 1311-0829. Достъпен на: [http://proceedings.tu-sofia.bg/volumes/Proceedings\\_Volume\\_62\\_book\\_2\\_2012.pdf](http://proceedings.tu-sofia.bg/volumes/Proceedings_Volume_62_book_2_2012.pdf) [DZHUDZHEV, B., V. IVANCHEVA i S. KACHULKOVA. Klasifikatsia i parametri na vibratsiite. *Godishnik na Tehnicheski universitet-Sofia 2012* [onlayn]. 2012, god. 62(2), s. 411-418 [pregledan 23 yanuari 2023]. ISSN 1311-0829 [http://proceedings.tu-sofia.bg/volumes/Proceedings\\_Volume\\_62\\_book\\_2\\_2012.pdf](http://proceedings.tu-sofia.bg/volumes/Proceedings_Volume_62_book_2_2012.pdf)]
- [4] HUDA, F., A. ANGGRIAWAN and M. RUSLI. The using of sound signal and simple microphone to detect damages in induction motor. *International Conference on Design, Energy, Materials and Manufacture 24–25 October 2018, Bali, Indonesia* [online]. 2019, vol. 539, № 012034 [viewed 23 January 2023]. Available from: doi:10.1088/1757-899X/539/1/012034
- [5] ILIEV, P., P. TZVETKOV, and G. PETROV. Motion Detection Using 3D Image Histograms Sequences Analysis. *Proceedings of the Third Wrkshop 2005 IEEE Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications* [online]. IEEE, 2005, pp. 596-601 [viewed 23 January 2023]. ISBN 0-7803-9445-3. Available from: DOI:10.1109/IDAACS.2005.283054
- [6] REHAB, A., I. ALLI, W. GOMAA, and M. NASHAT FORS. Bearings Fault Detection Using Hidden Markov Models and Principal: Component Analysis Enhanced Features. *European Conference of the Prognostics and Health Management Society 2021* [online]. 21 April 2021 [viewed 23 January 2023]. Cornell University Arxiv. Available from: <https://arxiv.org/abs/2104.10519>



[7] LIU, Tao and Shaoze YAN. Vibration analysis of a deployable structure using Constant-Q nonstationary Gabor transform and Fourier transform. *Noise Control Engineering Journal* [online]. 2018, vol. 66(2), pp. 78-89 [viewed 23 January 2023]. ISSN 0736-2501. Institute of Noise Control Engineering. Available from: DOI:

<https://doi.org/10.3397/1/37668>

**Информация за авторите:**

Инж. Миле Никола Миланоски, Инженер енергетик и ръководител сектор електро, КИП и А в столично предприятие за третиране на отпадъци.

Инж. Велимир Василев, докторант във факултет "Автоматизация" ТУ-София, бул. „св. Климент Охридски“ No.8, +359877178913, [vv@tu-sofia.bg](mailto:vv@tu-sofia.bg)

Доц. д-р Георги Петров, ръководител на департамент „Телекомуникации“ НБУ, София 1618, бул. „Монтевидео“ No 21, +359 2 8110609, [gpetrov@nbu.bg](mailto:gpetrov@nbu.bg)

**Contacts:**

Dipl. Eng. Mile Nikola Milanoski, Eng.-energetic, Chief of sector electro KIP&A in waste treatment plant in Sofia.

Dipl. Eng. Velimir Vasilev, post-graduate in Faculty Automation of TU-Sofia, 8 St. Clement of Ohrid blvd., +359877178913, [vv@tu-sofia.bg](mailto:vv@tu-sofia.bg)

Assoc. Prof., G. Petrov, PhD, Department Telecommunications, New Bulgarian University, Sofia 1618, 21 Montevideo blvd., +359 2 8110609, [gpetrov@nbu.bg](mailto:gpetrov@nbu.bg)

Дата на постъпване на ръкописа (Date of receipt of the manuscript): 27.07.2022

Дата на приемане за публикуване (Date of adoption for publication): 30.09.2022