



Съфинансирано от
Европейския съюз



ПРОГРАМА
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТ И
ИНОВАЦИИ В ПРЕДПРИЯТИЯТА

**Семинар по проект „Интелигентно зелено измерване и анализ на
разделно събирани отпадъци“
на тема
„Моделиране на повдигащи системи в сметосъбирането“**

Договор: BG16RFPR001-1.001-0012-C01
Бенефициент: ИНТЕЛИКС ИНЖЕНЕРИНГ ООД

Дата на провеждане: 28.04.2026

Място на провеждане: ИМИ-БАН, зала 503

Докладчик: Михаил Муков, Интеликс инженеринг

Участници:

Михаил Муков, Интеликс инженеринг
Дамян Калагларски, Интеликс инженеринг
Стефан Влаев, Интеликс инженеринг
проф. д-р Цветомир Цачев, Институт по математика и информатика, БАН
проф. дмн Евгения Стоименова, Институт по математика и информатика, БАН
проф. дмн Огнян Кунчев, Институт по математика и информатика, БАН
гл. ас. д-р Николай Николов, Институт по математика и информатика, БАН
гл. ас. д-р Христо Сариев, Институт по математика и информатика, БАН
гл. ас. д-р Боян Стефанов, Институт по математика и информатика, БАН
ас. д-р Александр Варипаев, Институт по математика и информатика, БАН
проф. д-р Петър Миланов, Институт по математика и информатика, БАН
и др. членове на академичния състав на ИМИ-БАН



Абстракт на доклада:

В настоящото изложение се разглежда задачата за оценяване на масата на отпадъка, изсипван от отделни контейнери чрез сметосъбиращ камион, оборудван със стандартни повдигащи вилици.

Основната цел е разработването на нискобюджетна измервателна система, която може да бъде инсталирана върху широк диапазон от механични конфигурации на камиони с минимални модификации.

Системата комбинира сензор за налягане на маслото, монтиран в хидравличната верига, и стандартен инерциален измервателен модул от смартфон, фиксиран към повдигащото рамо.

Сензорът за налягане осигурява измерване, определящо повдигащата сила, а акселерометърът и жироскопът се използват за оценяване на движението на повдигащото рамо. Въз основа на тези измервания и на предварително калибриран модел се определя масата на изсипания отпадък.

Основният акцент в изложението е върху физичната и математичната структура на метода. Това включва:

- Виртуално преориентиране на сензора към координатната система на камиона.
- Предварителна обработка на суровите сензорни данни.
- Премахване на дрефта на жироскопа.
- Интегриране на ъгловата скорост за получаване на абсолютния ъгъл на изхвърляне.
- Физичен модел с неопределени параметри, формулиран във вид, подходящ за калибриране чрез регресионни методи.
- Подход с градиентно спускане за автоматично определяне на оптималната позиция на измерване.
- Линейна апроксимация на експоненциалната зависимост на вискозитета на хидравличното масло от температурата, което позволява системата да остане приложима и при ниски зимни температури.



Програма:

- 14:15-14:20** Откриване на семинара (проф. д-р Цветомир Цачев)
14:20-14:30 Представяне на Интеликс инженеринг и докладчика (проф. д-р Огнян Кунчев)
14:30-14:40 Кратко представяне на проекта (Дамян Калагларски)
14:40-15:30 Основно изложение (Михаил Муков)
15:30-16:15 Дискусия на технически и бизнес теми, бъдещо развитие (всички участници)





Съфинансирано от
Европейския съюз



ПРОГРАМА
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТ И
ИНОВАЦИИ В ПРЕДПРИЯТИЯТА



Проект BG16RFPR001-1.001-0012-C01 „Интелигентно зелено измерване и анализ на разделно събирани отпадъци“, финансиран от Програма „Конкурентоспособност и иновации в предприятията“ 2021-2027, съфинансирана от Европейския съюз



Дискусия:

В рамките на дискуссионната част на семинара бяха разгледани в детайли начинът на оборудване на смето-събиращите камиони със сензорика, както и методите за оценка на параметрите при филтрацията на постъпващите данни. Докладчикът проследи последователно стъпките в алгоритмите за определяне на теглото на изсипвания отпадък, физичния модел, върху който се основава оценката, и математическия апарат за линейна регресия, използван при обработката на калибрационните измервания. Обсъдени бяха както конкретните технически решения, така и по-широкият кръг от проблеми, характерни за този тип задачи, многообразието на възникващите трудности и възможните бъдещи направления за развитие на разработката.

Особено внимание участниците отделиха на въпроса как се определят т.нар. статични интервали в сигнала — онези участъци от записа, в които повдигащото рамо е в относителен покой и които служат за опорни точки при оценката. Беше пояснено, че тяхното разпознаване не се извършва ръчно, а изцяло програмно, чрез автоматизиран статистически анализ на сензорните данни. Този подход е съществен за практическата приложимост на системата, тъй като позволява обработката да бъде напълно автоматична и да не зависи от субективна човешка преценка или от предварителна ръчна сегментация на всяко отделно повдигане.

Дискусия предизвика и произходът на зависимостта между извършваната работа и вискозитета на хидравличното масло. Докладчикът уточни, че тази зависимост е обоснована на резултати от цитираната в изложението научна публикация на D. Knezevic и V. Savic и е потвърдена от екипа емпирично, чрез многобройно измервания в реалния свят. Във връзка с това бе разяснено и значението на температурната корекция: тъй като вискозитетът на маслото се изменя силно с температурата, без подобна компенсация системата би давала систематично отклонение при работа в студени зимни условия.

Именно затова в модела е заложена линейна апроксимация на експоненциалната зависимост на вискозитета от температурата, която запазва приемлива точност в широк работен диапазон и същевременно остава изчислително проста.

Конкретен технически въпрос бе насочен към означенията c_1 и c_2 от слайд 11 — дали те представляват константи. Беше изяснено, че това не са константи, а експоненциални функции, което има пряко отношение към структурата на физичния модел. В продължение на тази тема се уточни и че експоненциалната зависимост не се приближава чрез полином, а чрез друга, специализирана за целта функция. Този избор беше мотивиран с това, че полиномиалното приближение би



се държало незадоволително извън интервала на калибриране, докато избраната функционална форма отразява по-вярно физичната природа на процеса и осигурява по-стабилно поведение при екстраполация.

Значителна част от обсъждането бе посветена на ролята на филтрацията на данните преди подаването им към числения модел. Участниците изразиха интерес дали такава предварителна обработка изобщо се прилага, при което докладчикът подчерта, че тя е не просто желателна, а съществена част от целия алгоритъм. Суровите сигнали от сензора за налягане и от инерциалния модул съдържат шум, дрефт и краткотрайни смущения, които при директна употреба биха влошили чувствително оценката на масата. Осигуряването на стабилни, обезшумени и коректно филтрирани данни беше определено като едно от ключовите условия за добрата работа на модела — наравно по важност със самия физичен и регресионен апарат. В тази връзка бяха споменати и стъпките по премахване на дрефта на жироскопа и по интегриране на ъгловата скорост за получаване на абсолютния ъгъл на изхвърляне, които също зависят пряко от качеството на предварителната обработка.

Отделно бяха обсъдени практическите трудности при реализацията на системата. Като показателен пример докладчикът посочи проблемите с изчислителните библиотеки. Кодът е разработен на Python, като първоначално се разчиташе на стандартната библиотека NumPy, която обаче в конкретния сценарий се оказва сравнително бавна и недостатъчно ефективна за нуждите на проекта. Това наложи екипът да разработи собствени библиотечни функции, включително за намиране на обратна матрица, които постигат точност, равностойна на стандартните реализации, но работят значително по-бързо. Този опит беше изтъкнат като характерен за разработването на вградени измервателни системи, при които ограниченията в изчислителните ресурси често изискват специфични, съобразени със задачата решения, вместо директно използване на универсални библиотеки.

Накрая дискусиата се насочи към пазарната ориентация на разработката. Беше пояснено, че основните потенциални клиенти на продукта са общините и операторите на услуги по сметосъбиране, за които точното и евтино измерване на събираните количества отпадък има пряко икономическо и управленско значение. В заключение участниците се обединиха около оценката, че съчетаването на нискобюджетна сензорика, стабилна обработка на данните и физически обоснован калибрационен модел представлява обещаващ подход, който има както научна стойност, така и ясен потенциал за практическо приложение, а очертаните бъдещи направления за усъвършенстване дават добра основа за по-нататъшната работа по проекта.