



Получена: 18.03.2018 г.

Приета: 22.10.2018 г.

ИЗСЛЕДВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАЗРАБОТЕНА ОТ НАС ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ И ПОЛУЧАВАНЕ НА НАНО ТЪНКИ ОРГАНИЧНИ ФИЛМИ ПО МЕТОДА НА ЛАНГМЮИР И БЛОДЖЕТ И ОПТИМИЗИРАНЕ НА НЕЙНИ КЛЮЧОВИ КОМПОНЕНТИ

Г. Иванов¹

Ключови думи: Лангмюир-Блоджетови филми, повърхностно налягане, свръх чиста вода

РЕЗЮМЕ

Технологията за изследване и получаване на нано тънки подредени органични покрития по метода на Лангмюир и Блоджет е най-добрият метода за надмолекулна архитектура. Тази статия детайлно разглежда процеса на тестване на разработената от нас технология, включваща основно система за изследване и отлагане на Лангмюир-Блоджетови филми, система за пречистване на вода и виброизолационна система. Постигнатите нива на шум на датчика за повърхностно налягане, както и грешката при контрола на постоянното налягане, са сравними с най-добрите образци в света. В същото време цената на нашата разработка е многократно по-ниска.

1. Въведение

Нанонауката и нанотехнологиите са приоритетно направление на развитие на човешкото познание през последните петнайсетина години поради големите социални и икономически резултати, които се очакват при успех на тези разработки. Големите държави като САЩ и Япония имат специално разработени държавни програми за подпо-

¹ Георги Иванов, доц. д-р инж., кат. „Физика” и Университетска научно-приложна лаборатория „Нанонаука и нанотехнологии“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: george@at-equipment.com

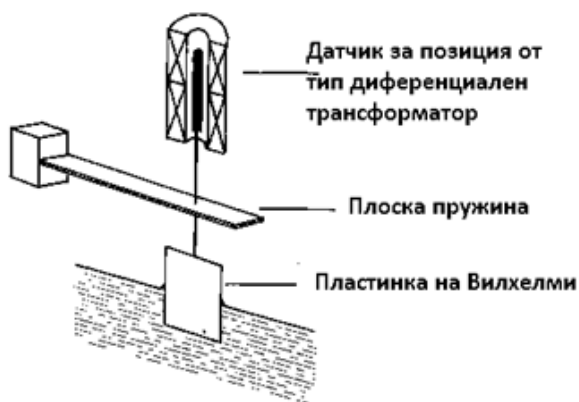
магане на тези изследвания с финансиране, измерващо се в милиарди долари. Европейският съюз в своята програма за наука и иновации Хоризонт 2020 е определил 5 ключови технологии (Key Enabling Technologies), позволяващи развитието на другите отрасли на науката. На първо място, включително и по финансиране, е определено направлението на нанотехнологиите [1].

По дефиниция под нанотехнология се разбира изучаване и манипулиране на материята, когато поне по една от трите координатни оси размерът на обекта е по-малък от $100 \text{ nm} = 10^{-7} \text{ m}$ [2]. Спрямо обекта на изследване нанотехнологиите могат да се разделят на неорганични и органични. Като пример за успех на неорганичните нанотехнологии можем да посочим текущото ниво на техника при микропроцесорите и паметите, където разстоянието между отделните компоненти вече е под 10 nm [3], което води както до повишаване на бързодействието, така и до понижаване на излъчваното количество топлина. В областта на органичните нанотехнологии едно много важно направление е тъй наречената надмолекулна архитектура (supramolecular architecture). Най-добър метод в това направление е методът на Лангмюир и Блоджет (ЛБ), който по сравнение с алтернативните методи на отлагане на тънки слоеве чрез въртене (spin coating), самоподреждане на структурата (self-assembly) и последователно нанасяне на слоеве от заредени полимери, предлага значително по-контролиран и дефиниран процес на отлагане слой по слой молекули [4]. Методът е подробно разгледан в няколко монографии [5, 6, 7, 8] и е описан подробно в наша скорошна публикация заедно с предимствата на метода [9]. При този метод на повърхността на свръхчиста вода се накапват органични молекули с подходящ бифилен баланс, разтворени в органичен разтворител. След изпарение на разтворителя на повърхността на водата остава нещо като двумерен газ от молекули. Те могат да се компресират с бариери, при което се описва фазовата диаграма повърхностно налягане като функция на площта за една молекула π - A на веществото при съответната температура (т.нар. изотерма). Веществото последователно преминава през различни агрегатни състояния и това може да бъде отлично онагледяване на част от лекциите по физика за студентите в УАСГ. Във всеки един момент компресията може да бъде спряна, да се включи режим на поддържане на постоянно налягане и да започне отлагане на ЛБ филми върху една вертикално позиционирана подложка. При всяко преминаване на подложката през границата монослой – въздух по нея полепва един слой молекули. ЛБ методът, за разлика от всички други алтернативни методи, е дискретен метод на отлагане – слой по слой. Плътноста на дефектите е ниска, молекулите са ориентирани, може да се варира както видът така и ориентацията на молекулите в различните слоеве.

Един от ключовите компоненти на системата за изследване и получаване на нано тънки органични филми по метода на Лангмюир и Блоджет е датчикът за повърхностно налягане. Има два фундаментално различни подхода при измерването на повърхностното налягане при тези системи: Лангмюировата везна и метода с пластинка на Вилхелми. И двата метода са с чувствителност от порядъка на 10^{-3} mN/m [1]. Първият подход е диференциален и при него плаваща преграда разделя повърхността на ваната на две части, като в едната част е чистата вода, а на повърхността на другата част е нанесен Лангмюировият филм. За да се избегнат утечките, тънка тefлонова лента свързва преградата със стените на ваната. Преградата е закрепена за пружина и нейното отместване в хоризонтална посока се измерва с датчик за позиция. Недостатъците на този метод са, че филмът не може да се компресира до по-малко от около 15% от площта на ваната и че е невъзможно използването на две бариери за симетрична компресия, което води до голяма деформация на хлъзгане на филма от триенето му в стените на ваната.

При метода с пластинка на Вилхелми се измерва абсолютната стойност на налягането като се измерва силата, действаща на частично потопена пластинка или друг обект. Това измерване се сравнява с измерване на чиста вода. Този метод има подобна чувстви-

телност като предния метод. Силите, които действат на пластинката, са силите на тежестта и силата на повърхностното напрежение, насочени надолу и изтласкващата „Архимедова“ сила, насочена нагоре. Изтласкващата сила зависи от нивото на потапяне на пластината, а силата на повърхностно напрежение е пропорционална на периметъра на пластината и на косинус от контактния ъгъл на омокряне на пластината. Трябва да се отбележи, че при експериментите с Лангмюирови филми обикновено се мери повърхностното налягане, което показва с колко нанесеният филм е намалил повърхностното напрежение на чистата вода. Един начин на измерване на силите действащи на пластинката на Вилхелми, е тя да се свърже директно с чувствителна електронна везна. Друг начин е пластинката да се свърже с пружина, която да преобразува силите в миниатюрни премествания, които да се измерват с датчик за позиция, например показания на фиг. 1 диференциален трансформатор. Методът на Вилхелми също има недостатъци. Основният е, че контактният ъгъл трябва да е известен и да остава постоянен по време на експеримента, което може да бъде повлияно от отлагане на слоеве върху пластинката. Различни материали са използвани за пластинките: кварц, стъкло, платина, понякога награвени с пясъкоструйна машина. Най-често използвана е филтърна хартийка, която дава ъгъл на омокряне от нула градуса и може да се заменя след всеки експеримент, така че да не води до замърсяване на филма от предишен експеримент. Описан е ефектът на използване на различни видове филтърни хартии [2]. Друг проблем може да бъде позицията на пластинката спрямо компресиращата бариера, но този проблем значително се намалява при симетрична компресия с 2 бариери. Поради тази причина в разработената от нас система за ЛБ филми се използват две бариери за симетрична компресия. Като пластина на Вилхелми използваме филтърна хартия с малък диаметър на порите, което дава отлична прецизност и повтаряемост на резултата.



Фиг. 1. Принцип на работа на датчик за повърхностно налягане, измервано по метода на Вилхелми с датчик за позиция от тип диференциален трансформатор (адаптирано от [5])

2. Материали и методи

Детайлно описание на метода на Лангмюир и Блоджет, на блок-схемата на създадената от нас апаратура, на използваните за изграждането ѝ материали и компоненти е дадено в предишна наша статия и затова тук няма да се разглеждат.

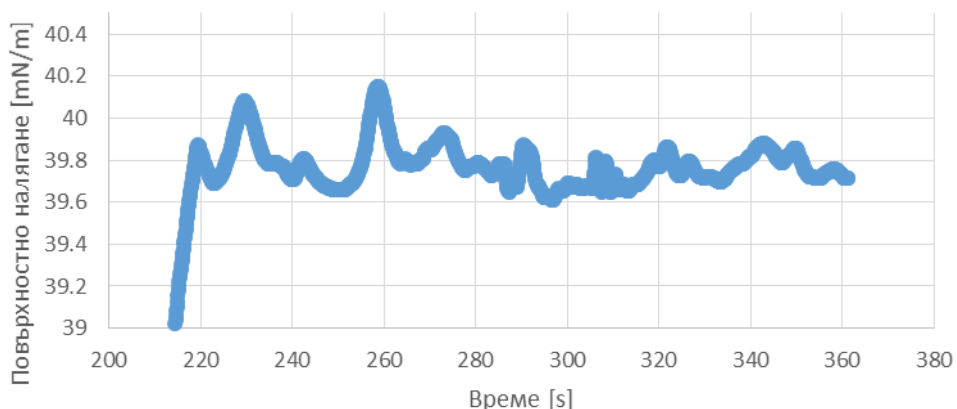
Почистването на Тефлоновата ванa и бариери беше извършено на три стъпки. Първоначалното почистване беше с почистващ препарат със силно обезмасляващо действие (Meglio Lo Sgrassatore Universale), разтворен в гореща вода, последвано от обилно изплакване с пречистена вода. След това измиване с 96% етилов алкохол и накрая измиване с 99,2% хлороформ. Начинът на изсмукване на водата като една капка без остатъци по повърхността показва напълно удовлетворителна чистота.

Първоначалната система за почистване на вода на база обратна осмоза (Аквахим ООД) се състои от следните четири последователно свързани етапа на пречистване: Първи етап – 5-микронен филтър за първично механично пречистване, произведен от полипропиленово влакно. Отстранява неразтворените във водата механични замърсявания, удължава срока на експлоатация на другите филтри. Втори етап – филтър с активен въглен от черупки на кокосов орех, ефективно отстранява хлора и другите органични субстанции. Трети етап – 1-микронен филтър за механично пречистване, произведен от полипропиленово влакно. Отстранява неразтворените във водата механични замърсители като ръжда, пясък, тиня и др., освен това задържа прах от въглена, която може да замърси обратноосмотичната мембрана. Четвърти етап – Обратноосмотична мембрана (2 броя) с производителност 250 литра за 24 часа, отстраняваща до 96 – 99% от замърсяванията от всякакъв тип, в това число бактерии и вируси. Пречистената вода се съхранява в резервоар под налягане, откъдето постъпва в крана, монтиран на плота на кухненската мивка. Прозрачният корпус на първия филтър позволява визуално да се контролира степента на замърсяване на седиментния филтър. Към тази система бяха добавени два последователно свързани смесени йоннообменни филтри с цел пречистване на останалите електропроводящи замърсители във водата, най-вече йони на метали. Към втория филтър има прикрепен аналогов кондуктометър с минимално деление от 0,1 $\mu\text{S/cm}$. След тях беше свързан прецизен микрофилтър, състоящ се от последователно намаляващи се пори филтър, стигащи накрая до 0,022 μm диаметър. Целта на този филтър е да залови откъсалите се от йонообменният филтри замърсители.

Тестовите на ЛБ ваната бяха извършвани с използването на добре изследваното вещество Арахидинова киселина $\text{CH}_3\text{-18CH}_2\text{-COOH}$ (98% чистота, доставено от Аквахим ООД) с една хидрофобна опашка от наситени въглеводороди и хидрофилна глава. Молекулното тегло е 312,5. Изотермата на това вещество е добре известна [12] и при нас го използваме като моделно вещество.

3. Експериментални данни и дискусия

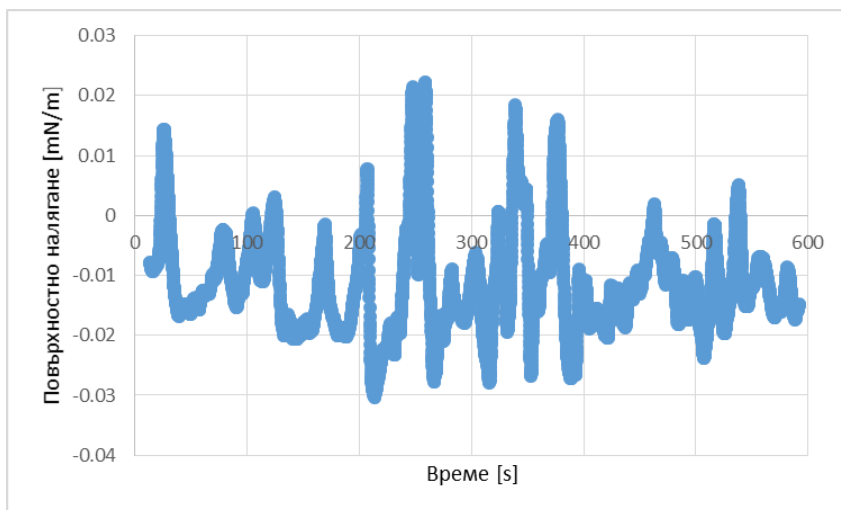
Преди да започнат последователни тестове на ЛБ системата трябва да се провери дали няма изтичане на Лангмюировия филм под бариерите за компресия или в мястото на контакт на бариерите със стените на ваната. За целта монослой от арахидинова киселина беше компресиран до повърхностно налягане от около 40 mN/m , което е малко под налягането на колапс от около 50 mN/m . Движението на бариерите беше спряно и продължи измерването на налягането. Резултатът е показан на фиг. 2. Вижда се, че в рамките на шума на датчика за налягане повърхностното налягане на монослоя не намалява, което е ясна индикация за липса на изтичане на монослоя. За всеки случай бяха взети допълнителни мерки за предотвратяване на изтичането чрез полиране на ръбовете на ваната и бариерите от Тефлон.



Фиг. 2. Доказване на липсата на изтичане на слоя покрай барьерите. Лангмюиров филм от арахидинова киселина, компресиран до повърхностно налягане от около 40 mN/m

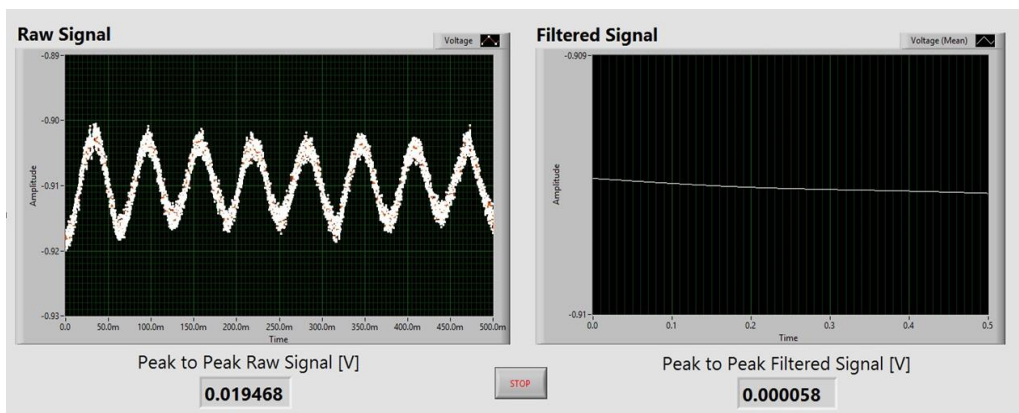
Следващите тестове касаят работата на датчика за повърхностно налягане. Беше тестван шумът на датчика при движещи се с работна скорост бариери и дълговременният дрейф на датчика. Първоначално плоската пружина в датчика (фиг. 1) беше от много тънка берилиева мед. Дължината на пружината беше регулирана така, че от датчика да излиза сигнал от около 1,7 V при 70 mN/m обхват, което влиза спокойно в минималния обхват на аналого-цифровия преобразувател от ± 2 V с оглед използването на цялата разделителна способност на преобразувателя от 16 бита (1:64000). Въпреки всичките ни усилия не успяхме да постигнем по-малък шум от $\pm 0,6$ mN/m. Първоначално тествахме оцифровашата система и софтуера с измерване на батерия. Дълговременният шум и дрейф се оказаха под $\pm 0,003$ mN/m. Подозрението след това беше, че проблемът е в LVDT датчика за позиция, тъй като по спецификация той има 0,15% нестабилност от пълната скала от ± 10 V на датчика, което е приблизително колкото наблюдавания от нас шум. След многократни опити да се свържем за съвет с фирмата производител на датчика ни беше отговорено. Бяхме посъветвани да откачим пружината, да поставим датчика, хоризонтално и тогава да направим измерване. Фирмата производител твърдеше, че и така датчикът може да работи, въпреки че сърцевината не е по средата, и че спецификациите са много консервативни. Проведохме този тест и се оказа, че наистина проблемът не е в датчика, защото той даде нестабилност от около $\pm 0,009$ mN/m. Шумът на датчика също беше около 10 пъти по-нисък от специфицираните 25 mV. Тези резултати ни насочиха към подмяна на пружината на датчика и въвеждане на по-строги мерки за виброизолация. Използвахме стоманена пружина със значително по-голяма коравина. Полезният сигнал от изхода на датчика спадна до само около 200 mV при 70 mN/m обхват, което представлява около 1% от обхвата на датчика. Това означава, че пластинката на Вилхелми при измерванията се мести само около 0,015 mm, което на практика означава, че грешката от „Архимедовата“ сила може да се пренебрегне. В резултат на всички предприети мерки шумът и нестабилността на датчика достигнаха приемливите на първо време стойности от $\pm 0,15$ mN/m. При този режим обаче системата се оказва изключително чувствителна към температурните флуктуации на околната среда поради това, че реално се използва много малка част (2%) от обхвата на датчика. Така се върнахме отново към варианта с използване на берилиева пружина, но този път използвахме цялата дължина на пружината и системата беше регулирана да се използва почти целият обхват на датчика – около 8 V за 70 mN/m промяна в повърхностното налягане. Бяха предприети допълнителни мерки за виброизолация на системата, като се направи чети-

ристенна виброизолация, състояща се от: масивна маса на гумени демпфери; надута велосипедна гума; мраморни плотове; специални виброизолационни подложки от пореста гума. Така беше постигнато изключително задоволително ниво на шумовете от $\pm 0,05 \text{ mN/m}$ (фиг. 3).



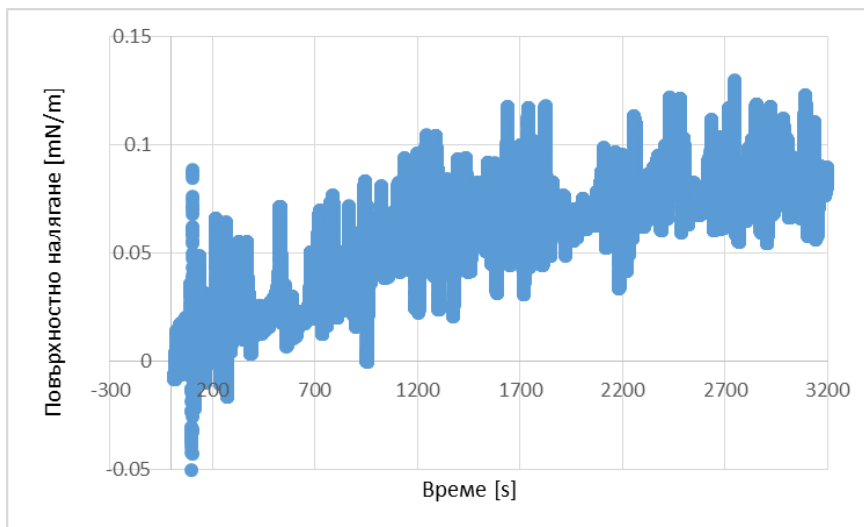
Фиг. 3. Шум на датчика за повърхностно налягане с оптимизирана пружина и подобрена виброизолация. Шумът е от около $\pm 0,025 \text{ mN/m}$ от връх до връх

По-детайлен анализ на колебанията на датчика за повърхностно налягане и ефекта от софтуерното изглаждане на кратковременните осцилации е показано на фиг. 4, която представлява снимка от екрана на компютъра на специално разработен модул към програмното осигуряване на системата. Вижда се, че дори при максимално осигурен външен покой пружината извършва колебания около резонансната си честота от 16 Hz с амплитуда от връх до връх от 20 mV. Преобразувани в преместване, тези колебания са от порядъка на 2,5 μm . Груба оценка на ускорението, което действа на пружината за промяна на посоката на колебание показва, че то е от порядъка на 0,02 m/s^2 . В предишна наша статия сме измервали с датчик за ускорение вибрациите на носещата плоча на ЛБ системата. Резултатите показват, че в диапазона от 0 до 100 Hz амплитудата на ускоренията, дължащи на движението на сградата и на движещата се бариера, може да бъде сведена до под $0,02 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$ [13]. Съществено по-голямата амплитуда при нас се дължи на ефекта на резонанса. Филтрирането и изглаждането на тези сравнително високочестотни осцилации обаче не е проблем. За целта използваме последователно нискочестотен филтър от тип Бътеруорт от 14-ти порядък и експоненциално изглаждане с времеконстанта от 0,25 s. Поради вискоеластичните свойства на Лангмюировия филм и значителното разстояние между компресиращите бариери и датчика за повърхностно налягане, времето за разпространение на въздействието е значително и няма смисъл от по-бързи измервания. Това разбиране за физиката на процесите ни позволи и да се откажем от микропроцесорен контролер за работа в реално време, както ще бъде коментирано по-долу. Филтрираният сигнал е с около 300 пъти по-нисък шум от около 0,06 mV (фиг. 4), което отговаря на около 0,02 mN/m налягане и тези бързи осцилации на резонансната честота на плоската пружина на датчика за налягане и свързаните с него сърцевина на LVDT датчика и потопената във вода филтърна хартийка не влияят съществено върху шума на датчика за налягане (фиг. 3).



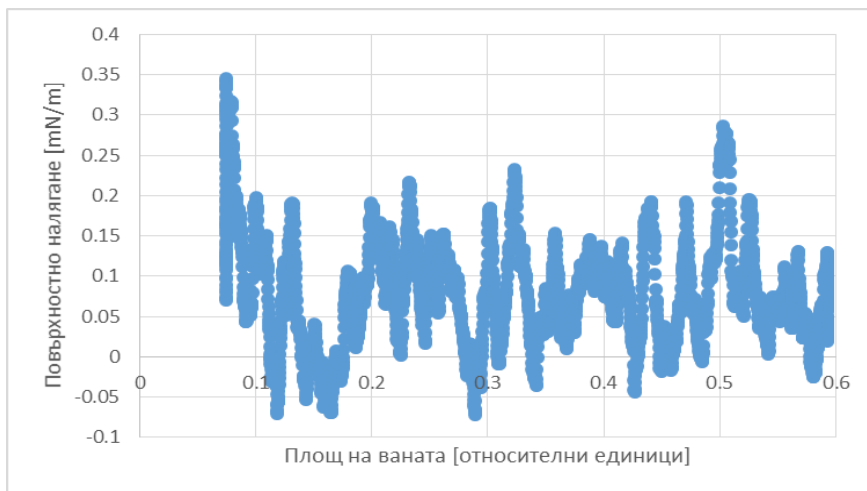
Фиг. 4. Измерване на кратковременните осцилации на датчика за повърхностно налягане и ефекта от софтуерното изглаждане на сигнала. Вляво е суровият необработен сигнал с амплитуда на осцилациите от връх до връх около 20 mV и честота около 16 Hz. Вдясно е филтрираният и изгладен сигнал с амплитуда на осцилациите от връх до връх около 0,06 mV. Скалата на вертикалната ос на лявата графика е с 40 пъти по-голям обхват от същата скала на дясната графика

Използването на почти целия обхват на LVDT датчика за позиция доведе и до почти пълно елиминиране на дрейфа на системата след едно първоначално прогряване. При един типичен експеримент от 15 минути дрейфът е в рамките на шума на датчика и не представлява сериозен проблем. Въпреки това, в програмното осигуряване на системата е предвидена възможност за компенсация на дрейфа с въвеждане на параметър, отчитащ наклона на кривата. На фиг. 5 е показан дрейфът на датчика за близо едночасово измерване. Дрейфът е в рамките на около 0,15 mN/m, което е един изключително добър резултат.



Фиг. 5. Дрейф на нулата на оптимизирания датчик за повърхностно налягане при продължително измерване на стабилността на системата

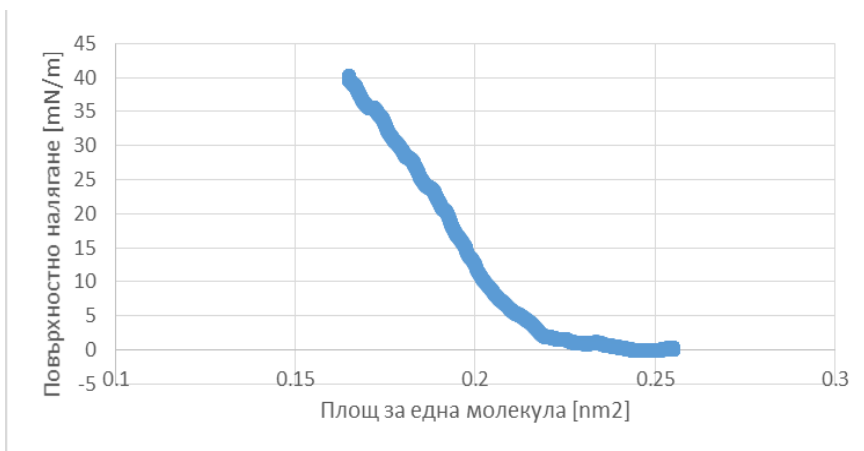
След оптимизиране на датчика за повърхностно налягане се пристъпи към измерване на изотерми на арахидинова киселина. Първа стъпка е изследване на чистотата на водата от гледна точка на повърхностно активни замърсители. Това става като се компресират барьерите до минимална площ и се измерва повърхностното налягане. Резултатите на изследване на чистотата на водата откъм повърхностно активни замърсители на първоначалната 4-етапна система за пречистване на водата на база обратна осмоза са показани на фиг. 6. Вижда се, че няма значимо повишаване на повърхностното налягане при компресия, т.е. няма забележими повърхностно активни замърсители. Другото, което трябва да се отбележи, е, че при движението на барьерите не се генерират допълнителни смущения в повърхностното налягане и шумът остава на нивото на случая с неподвижни баристри (сравни с фиг. 3).



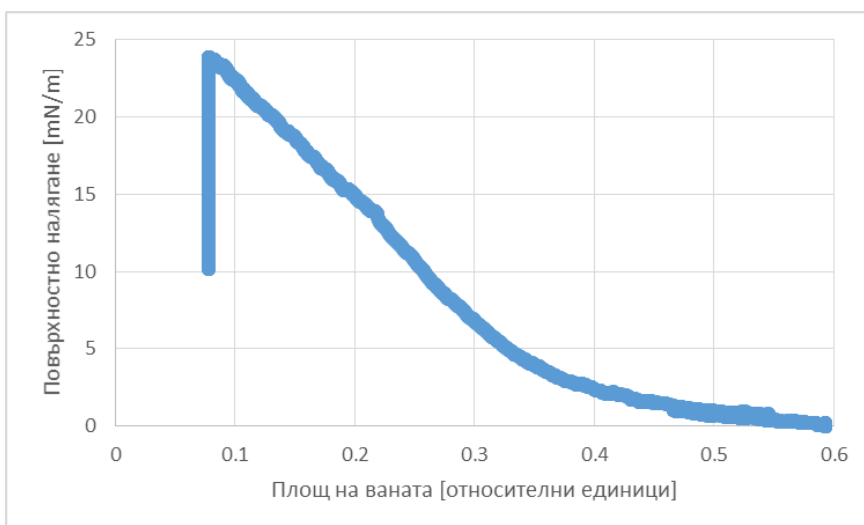
Фиг. 6. Изследване чистотата на водата за повърхностно активни замърсители, пречиствена със системата за обратна осмоза

С така установеното добро ниво на повърхностно активните замърсители на водата беше проведено изследване на изотермата на арахидиновата киселина с оглед на доказване на функционалността на ЛБ системата. Полученият резултат е показан на фиг. 7. Този вид на изотермата съответства на случая, при който във водната субфаза има разтворени многовалентни метални йони, които се свързват с главата на молекулата. В резултат на това има директен преход от двумерна газова фаза в двумерна твърда фаза без преминаване през течно-кристална фаза [вж. напр. 14].

Този резултат показва, че в така пречиствената вода има значително количество разтворени метални йони. Проведохме измерване на проводимостта на водата с прецизен кондуктомер. Чешмяната вода имаше проводимост от 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$, а пречиствената с обратна осмоза вода имаше проводимост от 11 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Теоретичната стойност на проводимостта при максимално чиста вода е 0,055 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Това наложи да бъдат закупени още 3 филтъра за пречистване на водата. След филтрите с обратна осмоза бяха свързани последователно два дейонизиращи филтъра, вторият от които има вграден аналогов кондуктомер и краен филтър с размер на порите от 0,022 μm . Така пречиствената вода показва проводимост, по-малка от 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, където е границата на чувствителност на наличния кондуктомер.



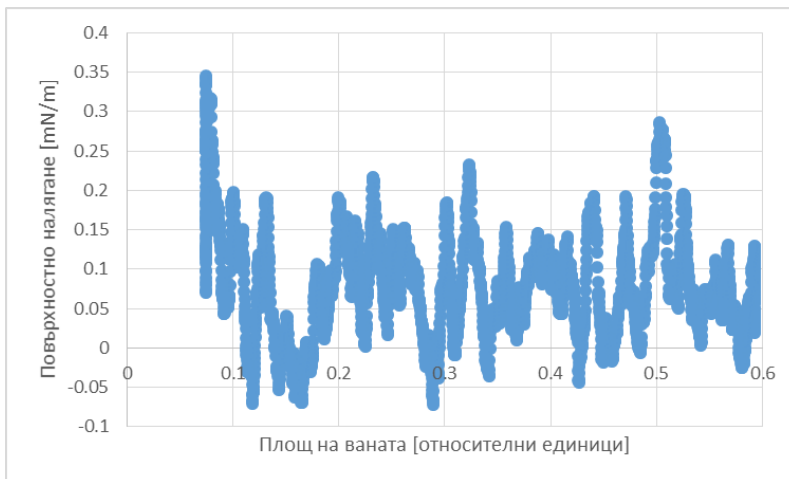
Фиг. 7. Изотерма на арахидиновата киселина при 22 °C върху пречистена само с обратна осмоза вода



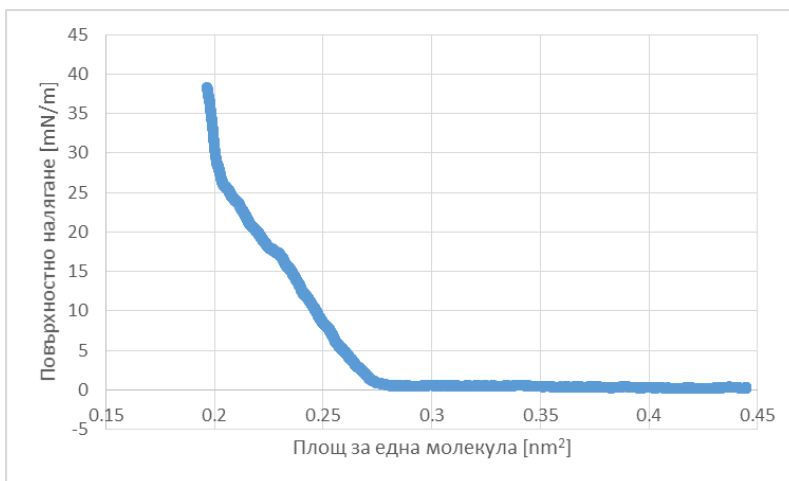
Фиг. 8. Изотерма на чиста вода, след като водата е преминала през дейонизаторните филтри – първоначално изследване

Така допълнително пречистената вода отново беше изследвана за повърхностно активни замърсители. Протоколът, който беше използван за тези измервания, е следният: компресия от позиция 112,5 mm, съответстващ на максимално разтворени бариери, до позиция 50 mm със скорост на бариерите от 0,1 mm/s. След това скоростта до позиция 15 mm се намалява до 0,04 mm/s. Бариерите се спират и се изчаква 70 s, за да се измери релаксацията на повърхностното налягане, след което измерването се спира. Резултатът е показан на фиг. 8. Чупката в кривата при площ от около 0,2 дължи на промяна на скоростта на компресия. Вижда се, че повърхностното налягане се покачва значително до около 25 mN/m, като това покачване започва още при максимално разтворени бариери. Това се дължи на повърхностно активни вещества, отделени от йонообменните вещества в дейонизаторните колони. Те адсорбират към повърхността на водата и създават двумерно повърхностно налягане. В същото време се вижда, че при спиране на бариери-

те за 70 секунди налягането спада бързо до 10 mN/m, което означава, че тези вещества отново отиват в обема на водата и са частично водоразтворими. Преминването през филтрите на около 50 литра вода доведе до незначително намаляване на повърхностно активните замърсители. Тествахме дейонизаторните колони една по една и се оказа, че и двете замърсяват водата с повърхностно активни вещества в приблизително еднаква степен. Направихме още по-пълно промиване на системата с около 400 литра вода. Трябва да се отбележи, че 450 литра е капацитетът на пречистване на единия дейонизатор ако към него се подава чешмяна вода. Резултатите за чиста вода са показани на фиг. 9. Вижда се, че повърхностното налягане почти не се повишава дори при максимално свити бариери, т.е. проблемът със замърсяването с повърхностно активни вещества от йонообменните смоли е отстранен в задоволителна степен.

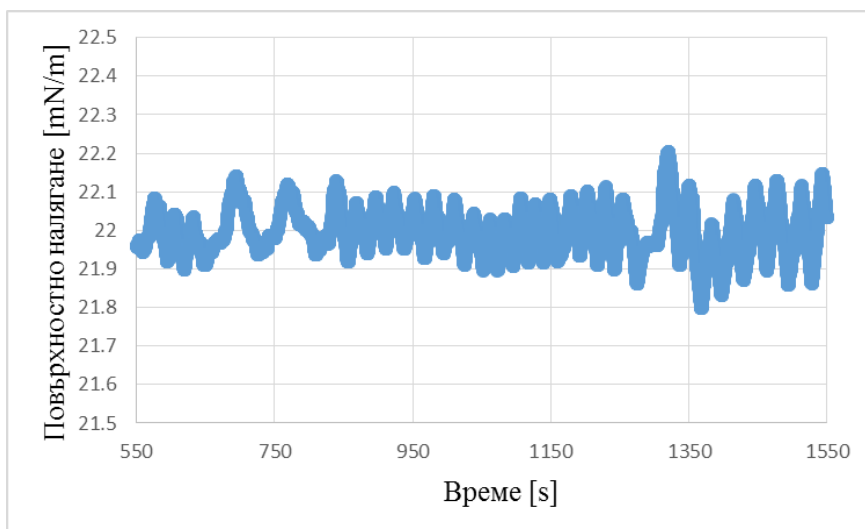


Фиг. 9. Изследване на чистотата на водата за повърхностно активни замърсители след като е пречистена с всички филтри, включително новите йонообменни филтри и продължително промиване с вода. Резултатът е задоволителен за работа



Фиг. 10. Изотерма при около 20 °C на арахидинова киселина върху вода, пречистена с всички филтри и отстранени повърхностно активни компоненти

Върху така пречистената с всички филтри вода беше разстелен слой от молекули на арахидиновата киселина и се изчака 20 минути хлороформът да се изпари. Тъй като изотермите се мерят обикновено при 20 °С, а в помещението беше по-топло, разтворихме прозорците и стайната температура стана 19,6 °С. След което с бавна скорост започна компресия с бариерите и запис на изотермата на веществото. Резултатът е показан на фиг. 10. Вижда, се че допълнителното почистване на водата (премахването на многовалентните метални йони) е довело до поява на течно-кристалната фаза и се описва добре известната изотерма на арахидинова киселина върху чиста вода [12]. По този начин доказваме пълната функционална пригодност на създадената от нас ЛБ система за измерване на изотерми.



Фиг. 11. Доказване на пълната работоспособност на ПИД регулатора за повърхностно налягане на монослой от арахидинова киселина. Поддържане на постоянно налягане от 22 mN/m. Точността на поддържане е около $\pm 0,15$ mN/m

Най-сложният режим на работа на ЛБ системата е поддържането на постоянно налягане. При него в софтуера се задава какво налягане да се поддържа, системата с бавна, зададена от нас, компресия на бариерите достига до това налягане, след което се включва, след което се включва софтуерен ПИД (пропорционално-интегрално-диференциален) регулатор, който следи чрез движение на бариерите напред-назад налягането да остане максимално близко до зададеното. Допълнително затруднение е, че оптималните коефициенти на ПИД регулатора много зависят от наклона на изотермата, иначе казано – от свиваемостта на Лангмюировия филм в точката на зададеното налягане. Тук идва и тествът на една от най-значимите иновации в нашата ЛБ система: отказът от разработката на скъп микропроцесорен контролер, работещ с операционна система за реално време и със сложен и скъп за създаване софтуер за работа в реално време. При нас всичко това е заменено от прост Аналого-цифров преобразувател за 200 евро, софтуер, написан под LabView и работещ с Windows операционна система. Тази иновация спестява над 1/3 от цената на системата и значително намалява изискванията към познанията на разработчиците на програмното осигуряване. При нас тези тестове се оказаха абсолютно успешни, както се вижда от фиг. 11. Тук на монослой от арахидинова киселина е зададено да се поддържа постоянно налягане около 22 mN/m. Резултатът при същите парамет-

ри на ПИД регулатора при налягане около 1 mN/m са подобни. В двете точки свиваемостта на филма е съществено различна, и въпреки това налягането се поддържа с точност, почти равна на шума на датчика за повърхностно налягане. Това доказва перфектната работа и този режим на ЛБ системата и оправдава огромния риск, който сме поели с тази иновация – отказ от контролер, работещ в реално време.

4. Заключение

В тази статия показахме усилията, които положихме за преодоляване на изключително трудните проблеми с шума в датчика за повърхностно налягане на разработваната от нас система за ЛБ филми. Показахме и проблемите, свързани с установяване на чистотата на водата в технологичния процес и изключително неочаквания проблем със замърсяването на водата след добавянето на йонообменни филтри към системата за пречистване на вода. Показахме и показахме и пълната функционална пригодност на основните режими на работа на ЛБ системата: прецизното измерване на зависимостта повърхностно налягане – време и на зависимостта повърхностно налягане – площ за една молекула. Показахме и прецизната работа на контрола на постоянно налягане при различни свиваемости на Лангмюировия филм. Движението на вертикалния модул за отлагане на ЛБ филми върху твърди подложки също е реализирано. Предстои още доста работа по ЛБ системата, най-вече върху нейния софтуер чрез добавяне на допълнителни възможности: коефициент на пренос; пресмятане и визуализация в реално време на модула на свиваемост; определяне на вискоеластичните свойства на Лангмюировия филм чрез старт-стоп на бариерата за около 5% от площта на ваната и измерване как налягането затихва; измерване на същите параметри чрез синусоидални колебания на бариерите. Има доста работа, докато софтуера стане по-удобен за работа и докато системата стане по-механически завършена: поставяне на електрониката в специална кутия, кутия за вертикалния модул, обработка на металните повърхности в системата. Но на този етап със системата може да се работи и да започнат експериментите по изследване на Лангмюирови филми и отлагане на ЛБ филми. Желателно е добавянето на допълнителен краен филтър с обратна осмоза за пречистване на водата за премахване на замърсителите от йонообменните филтри.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор БН-204/17 е подкрепена финансово от Център за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хоризонт 2020 Key Enabling Technologies: <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/area/key-enabling-technologies>, посетена на 12.02.2018 г.
2. Дефиниция на нанотехнологии: <https://en.wikipedia.org/wiki/Nanotechnology>, посетена на 12.02.2018 г.
3. Разстояние между компонентите в процесорите и паметите: <https://en.wikipedia.org/wiki/Microprocessor>, посетено на 12.02.2018 г.
4. *Petty, Michael C.* Molecular Electronics. From Principles to Practice. 2007, Wiley.

5. Roberts, G. G. (Ed.). Langmuir-Blodgett Films. 1990, New York, Plenum Press.
6. Petty, M. C. An Introduction to Langmuir-Blodgett Films. 1996, Cambridge, Cambridge University Press.
7. Ulman, A. An Introduction to Organic Thin Films. 1991, San Diego, CA, Academic Press.
8. Tredgold, R. H. Order in Thin Organic Films. 1994, Cambridge, Cambridge University Press.
9. Ivanov, G. R., Polevska, Z. Computerized System for Investigation of Organic Monolayers at the Air-Water Interface and for Deposition of Nano Thin Layers Following the Langmuir and Blodgett Method. Proc. 27th Int. Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, p. 260, (2017), Bulgaria.
10. G. G. Roberts (Ed.). Langmuir-Blodgett Films. 1990, New York, Plenum Press.
11. G. L. Gaines, Jr. Insoluble Monolayers at Liquid Gas Interfaces (Interscience, New York, 1965).
12. Изотерма на арахидиновата киселина, <https://alvideo.ameslab.gov/archive/reflec/monolayers.php>, посетена 12.10.2017 г.
13. Ivanov, G. R., Kostadinov, K. G., Petrov, A. G. Aspects of Langmuir-Blodgett trough design: computerization, unevenness of motion, generated vibrations, Thin Solid Films, том. 210, 1992, стр. 13 – 15.
14. Schurr, M., Seidl, M., Brugger, A., Voit, H. Copper-oxide thin films prepared from Langmuir-Blodgett films. Thin Solid Films, том 342, 1999, стр. 266-269.

INVESTIGATION OF THE PARAMETERS OF THE TECHNOLOGY FOR RESEARCH AND PREPARATION OF NANO THIN ORGANIC FILMS BY THE LANGMUIR AND BLODGETT METHOD DEVELOPED BY US AND OPTIMIZATION OF ITS KEY COMPONENTS

G. Ivanov¹

Keywords: Langmuir-Blodgett films, surface pressure, ultra pure water

ABSTRACT

The technology for research and preparation of nano thin ordered organic films after the Langmuir and Blodgett (LB) method is the best method for supramolecular architecture. This paper describes in detail the process for testing technology developed by us, which comprises the system for LB films, system for water purification and vibration isolation system. The levels of the achieved surface pressure noise and the error for the control of constant surface pressure are among the best in the world. At the same time the price of our system is several times lower.

¹ George Ivanov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Physics” and University Laboratory “Nanoscience and Nanotechnology”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: george@at-equipment.com