

„Циклон - Иновативно решение за една по-чиста среда“, договор за БФП № 13иф02-13 от 07.12.2022 год.

Протоколи от изпитанията на лабораторни образци на пречиствател за въздух система „Циклон“

Етап на лабораторни тестове

Създаването на лабораторни образци е важна стъпка в процеса на разработка. Това ни позволява нашите инженери и научни работници да извършват контролирани тестове в лабораторна среда, където всеки аспект от работата на системата може да бъде наблюдаван и анализиран. Целта е да се разберат по-добре работните процеси, ефективността и потенциалните ограничения на технологията.

Откриване и отстраняване на пропуски

Тестовите в лабораторна среда са критични за идентифицирането на всички пропуски в дизайна и функционалността на системата. Откриването на такива проблеми в ранен етап ни позволява да предприемем необходимите стъпки за тяхното коригиране, преди системата да бъде произведена в прототипи и инсталирана на място. Това включва подобрения в ефективността на филтрация, надеждността на компонентите и общата издръжливост на системата.

Усъвършенстване на системата

Научените уроци от лабораторните тестове са безценни за процеса на усъвършенстване на системата "Циклон". Всяко откритие води до подобрения, които увеличават ефикасността, намаляват разходите, подобряват устойчивостта или опростяват поддръжката. Освен това, обратната връзка от тези тестове помага за оптимизиране на производствения процес и подготовката за производство на системата.

За реализирането на проектното предложение бяха създадени 2 бр. лабораторни образци, които да послужат за тестове на проектираните елементи и 6 бр. прототипа, които да бъдат тествани в реална среда.

Изработените лабораторни образци ни помогнаха да открием множество недостатъци в първоначалната идея на техническата конфигурация, които да бъдат изчистени в следващите етапи.

Създадени са два броя лабораторни образци с различни параметри с цел намиране на най-оптималното решение със следните параметри:

Образец 1:

Общи параметри:

- Височина 180с
- Най-голям диаметър 80см
- Общо тегло без вода 130кг
- Максимална вместимост на резервоара 160л
- Работен обем на резервоара 130л
- Инсталирана електрическа мощност 1000Вт
- Брой турбини в устройство 6
- Брой вентилатори в устройство 6
- Филтров блок с 6 автоматично сменяеми филтърни елемента 1бр
- Циркулационна помпа с клапани за управлвние 1 бр
- Електрофилтър 1бр

Образец 2.

Общи параметри:

- Височина 185см.;
- Най-голям диаметър 135см.;
- Общо тегло без вода 197кг.;
- Инсталирана електрическа мощност 1000Вт;
- Брой турбини в устройство 6;
- Брой вентилатори в устройство 6;
- Филтров блок с 6 сменяеми автоматично филтърни елемента 1бр.;
- Циркулационна помпа с клапани за управление 1 бр.;
- Електрофилтър 1бр.;

Всички вентилатори и на двата образца са еднакви с диаметър на перката 180мм и външен диаметър 245мм. Дебелината на вентилатора е 30мм. Тегло 5,8кг. Мксимална скорост на въздуха при 3000 об/мин 18 м/с и дебит на въздуха 1646м³/ч.(Скоростта е измерена с термоанемометър UT363S с точност ±3%.

Турбините са изработени в две разновидности на магнитопроводите с еднакъв размер на турбините:φ86мм и обща дължина с лагерите на оста 145мм.

Филтровия блок е изработен в две разновидности с по 6 сменяеми филтърни патрона. Основната разлика е в типа на използваните филтърни елементи.

Циркулационната помпа е еднаква за двата образца. Турбинен тип с присъединителни диаметри 50мм(вход/изход). Дебит 2000л/ч и консумация 35Вт.

Вентилатор тестове

Конструкцията на вентилатора е нетрадиционна. С цел намаляване на съпротивлението на преминаващия въздушен поток перката се явява „вътрешна“ за двигателя. Статора е разположен по периферията на перката, в която са монтирани магнити. Всъщност перката е ротора.

- Брой полюси в статора – 36;
- Брой магнити в перката (ротора) 24. Използвани са неодимови(NdFeB) с размери 6×10 мм и сила на отделяне 12N(1.2кг).
- Диаметър на перката 180мм, Вътрешен(светъл) отвор на вентилатора 183мм, Външен диаметър на вентилатора 245мм.
- Брой намотки:36, навивки в намотка 40, проводник 0.4мм, индуктивност 130 μ H
- СВързване на намотките трифазно с звезда без среден извод. Намотките са свързани 12 последователно.
- Захранващо напрежение 12-36V DC
- Консумация 0.09-0.2A при различни захранващи напрежения.
- Минимални обороти при 12V и 0.09A – 400об/мин
- Максимални обороти при 34V и 0.2A -4500об/мин
- Скорост на въздушния поток (измерен с термоанемометър тип UT363S)

Направени са три дизайна на перките на вентилатора с различна геометрия:

- Вариант 1. Прави перки с ъгъл на наклона(ъгъл на атака) 7°: скорост на въздушния поток при 400 об/мин 1м/с, при 4000об/мин 6м/с
- Вариант 2. Прави перки с ъгъл на наклона 12°: скорост на въздушния поток при 400об/мин 2м/с, при 4000об/мин 8м/с
- Вариант 3. Дъгообразна с ъгъл на наклона 16°: скорост на въздушния поток при 400об/мин 3.5м/с, при 4000об/мин 18м/с.
- Максимална консумация на енергия при 4500об/мин и скорост на въздушния поток 21м/с 7 Вт. Дебит на въздуха: 1920м³/час.

Турбина

Турбината също е конструирана нетрадиционно. Използваме двойни спираловидни лопатки с намаляващ диаметър и увеличаваща се стъпка.

Целта е максимално добро аериране на водата. Статора е разположен по периферията на турбината. Магнитите са монтирани на самата турбина.

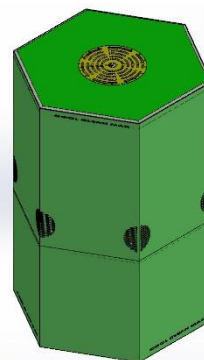
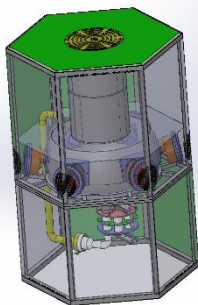
Диаметър на турбината 86мм. Диаметър на светлия отвор на турбината 76мм. Диаметър на оста на турбината 8мм. Дължина на турбината без лагерите 135мм. Изходен диаметър на турбината 60мм.

Използвани са два вида статорни пакети.

1. 131 x 90 x 14 мм (външен/вътрешен диаметър/дебелина)

2. 138 x 90 x 14мм

Брой полюси: 36, размерите на полюсите и на двата статора са еднакви: 3,6x10x14мм.



Тестове

Вариант 1: 131 x 90 x 14мм статорен пакет

- 36 полюса, 24 магнита (NdFeB) със сила на отделяне 12N (1.2кг), разстояние между полюсите и магнитите 5мм. Намотките са изработени от 4 проводника паралелно с диаметър 0.2мм и 26 навивки на бобина. Обща дължина на проводника 460 см.
- Индуктивност: 10μН без сърцевина, 30 μН със сърцевина (поставени на статора).
- Свързването е трифазно в схема звезда без среден извод. Намотките са свързани по 12 последователно.
- Захранване 32V консумация 0.4A консумирана мощност 12,8W, обороти 3000 във въздушна среда.

Вариант 2: 138 x 90 x 14 мм статорен пакет

- 36 полюса, 24 магнита(NdFeB) със сила на отделяне 12N(1.2кг), разстояние между полюсите и магнитите 3мм.
- Намотките са изработени от 1 проводник 0.4мм с дължина 1.6м и брий навивки на бобина 36.
- Индуктивност: без сърцевина 22 μН, със сърцевина 62 μН.
- Свързване трифазно в схема звезда без среден извод. Намотките са свързани 12 последователно.
- Захранване 32V, консумация 0.2A, консумирана мощност 6.4W. Обороти 1000 във въздушна среда.

Резултати от тестовете на лабораторен образец 1

Образец 1 е по малкия от двата. Габаритите му са намалени с цел по лесен монтаж и транспорт.

Смесителната вана е цилиндрична с леко вдлъбнато дъно за по-лесно изтичане на водата.

На ваната са монтирани 6бр. турбини от вариант 1 с диаметър на статора 131мм.

При шест работещи турбини (засега не можем да измерим оборотите във водна среда, заради конструктивни особености. За да можем да мерим оборотите във водна среда трябва да се монтират датчици на Хол вътре в статорните пакети на турбините. Така ще получаваме информация за оборотите на турбините в работен режим.) със захранване 24V и консумация 3А без вентилатори имаме постигнат дебит на въздух през водния резервоар 600м³/час.

При свързване на вентилаторите с турбините чрез тръби в обща система: вентилатор + турбина, т.е. имаме шест такива двойки се постигна следния резултат: Захранване на турбините 24V консумация 2.7А. Захранване вентилатори 32V консумация 1.8А. Обща консумирана мощност 122.4W.

Преминалия през устройството въздух за един час е около 5000м³. Процента на останали в водата ФПЧ е 90% измерен със сензори на вход и изход. Използваните сензори са тип PMSA003I (ефективност на отчитане за частици по 0,3µm-50%: за частици с размер над 0.5µm-98%. Нашата цел е да хващаме частиците с размери 1.0:2.5 и 10µm. В този диапазон грешката ни е около 2%).

Тестове на филтровия блок.

При този образец на филтровия блок са използвани цилиндрични филтри за вода с диаметър 60мм и височина 100мм с пропускливост за частици под 1µm с добавен в тях активен въглен. Тест с вода с добавен в нея замърсяващ материал (прах) в съотношение 98% вода и 2% прах, един филтров елемент се задръства при преминаване през него на 4л вода. Във филтъра се задържат около 80 гр замърсители.

При концентрация на замърсители във въздуха 200µg/м³ и дебит (засега) на 5000м³/час при ефективност 90% (това е без електрофилтъра) във водата се отделят 0.9гр ФПЧ. Това означава, че един филтров елемент който задържа 80гр замърсители ще функционира добре около 90 часа преди да се наложи смяна. Филтровия блок разполага с 6 филтъра. Смяната се извършва автоматично. Шест филтъра ще работят ефективно 540 часа, което значи че трябва да се сменят на 23 дни.

Резултати от тестовете на лабораторен образец 2

Образец 2 е по големия от двата. Вместимостта на ваната е 260 л.

Смесителната вана е яйцевидна вдлъбнато дъно за по-лесно изтичане на водата.

На ваната са монтирани 6бр. турбини от вариант 2 с диаметър на статора 138мм.

При шест работещи турбини (засега не можем да измерим оборотите във водна среда, заради конструктивни особености. За да можем да мерим оборотите във водна среда трябва да се монтират датчици на Хол вътре в статорните пакети на турбините. Така ще получаваме информация за оборотите на турбините в работен режим.)със захранване 32V и консумация 3A без вентилатори имаме постигнат дебит на въздух през водния резервоар 400м³/час.

При свързване на вентилаторите с турбините чрез тръби в обща система: вентилатор + турбина, т.е. имаме шест такива двойки се постигна следния резултат: Захранване на турбините 32V консумация 2.9A. Захранване вентилатори 32V консумация 1.8A. Обща консумирана мощност 150.4W.

Преминалия през устройството въздух за един час е около 3000м³. Процента на останали в водата ФПЧ е 90% измерен със сензори на вход и изход. Използваните сензори са тип PMSA003I(ефективност на отчитане за частици по 0,3µm-50%: за частици с размер над 0.5µm-98%. Нашата цел е да хващаме частиците с размери 1.0:2.5 и 10µm. В този диапазон грешката ни е около 2%).

При този дизайн на ваната се наблюдава по добро движение на водата вътре в ваната, получава се ясно изразен вортекс. При доработка на турбините от вариант 2 при тази конструкция ще се получат по добри резултати.

На базата на натрупания опит и с цел намаляване на себестойността и консумацията на енергия от устройството за пречистване на въздуха решихме да обединим турбината и вентилатора в един функционален възел(хибрид).

С това решение намалихме броя на частите в устройството с около 40% и понижихме консумацията на електроенергия наполовина.

При хибридната конструкция имаме само един задвижващ електромотор. Основната структура на двигателя я запазихме: 36 полюса и 24 магнита вградени в перката на вентилатора.

Вентилаторната перка и турбината са монтирани на една ос. Тъй-като оста се получи доста дългасе наложи поставянето на трети опорен лагер. Размерите се получиха доста компактни: диаметър в най-широката част-245мм и обща дължина на модула 310мм. Тегло-7.5кг.

Подобрихме електрическите характеристики: при захранващо напрежение 24 V консумацията е 1.5A или 36W и развива 2000об/мин. При 34V захранващо напрежение консумацията е 1.7A или 58W и развива 2700об/мин.

Тези параметри са измерени при натоварване, т.е. турбината е потопена във вода. Дебита на въздуха през хибрида се запази същия като през отделни турбина и вентилатор. Променихме дизайна и на смесителната вана и циркулационната помпа и понижихме консумацията и до 12.4W.

Дизайна на металната конструкция е променен с цел опростяване на системата и нейното олекотяване. Преминихме на кръгли носещи пръстени и отделни капаци за затваряне. По този начин намалихме теглото с около 30кг. Новия воден резервоар е с по малка вместимост, по компактен и по лесен за обслужване. Вместимостта на резервоара е 90 литра.

В последствие бяха изработени шест опитни установки., които бяха докарани до гр. София и разположени на различни локации в близост до замърсители като булеварди в по-високо натоварване.

След всички промени се постигнаха следните резултати:

- Височина на устройството-190см
- Диаметър-108см
- Общо тегло без вода-130кг
- Консумация на ел. Енергия максимално 390 W
- Брой хибриди в едно устройство-4
- Филтров блок със шест сменяеми филтърни елемента- 1
- Циркулационна помпа -1бр
- Захранващи блокове(24 и 12 V) -2бр
-
- Електрофилтър- 1 бр.



Устройствата бяха инсталирани на шест места в София на следните адреси:

- В двора на 54-то СУ „Свети Иван Рилски“, ул. „Йордан Хаджиконстантинов“ 38;
- В двора на 15-то СУ „Адам Мицкевич“, ул. „Йордан Хаджиконстантинов“ 68;
- Имот на община Надежда – ОКИ Надежда – бул. „Ломско шосе“ 2;
- Имот на община Надежда – изнесен офис на районна администрация бул. „Рожен“ 61;
- Имот представляващ строеж на църква в кв. Надежда 3 на бул. „Ломско шосе“;
- В двора на 102 ОУ „Панайот Волов“, ул. „Звезда“ 3;

Поради необходимостта да се осигури безопасност на минувачите и децата провеждането на опитите бе съпроводено с постоянно присъствие на експерти от проекта и бяха провеждани няколко часови опита, след което инсталациите бяха премахвани за да не застрашат безопасността на хората.

За часови диапазон бяха избрани сутрешните часове, в които е по-засилен трафика до намаляване на потока и понижаване на замърсителите във въздуха.

Периода, през който бяха провеждани тестовете бе 27.05 до - 07.06.2024 год.

За анализ на резултатите бе избран способа за измерване на замърсителите във въздуха преди влизане в системата и на изхода на системата, като бяха проследявани следните замърсители:

- Фини прахови частици (ФПЧ) - 2,5;
- Фини прахови частици (ФПЧ) - 10;
- Въглероден оксид (СО);
- Въглероден диоксид (СО₂);
- Формалдехид (НСНО);
- Нивото на общото летливо органично съединение (TVOC).

При изпитанията се постигнаха следните резултати:

Устройствата бяха изпитани в реална среда и работиха на всеки от посочените адреси в сутрешните часове, в които се наблюдава засилен трафик до неговото намаляване. Консумацията на енергия по време на работа с всички работещи турбини и без филтровия блок и циркулационната помпа, тъй-като нямаше нужда от включването им, 175 W от мрежа 220V/50Hz.

Обороти на въртене на хибрида при 24V захранващо напрежение 2000об/мин. Скорост на въздушния поток през системата 4м/сек. Дебит на въздух през един хибрид при бл. 1300м³/час. Сумарен дебит през четирите хибрида 5200м³/час.

При захранващо напрежение 30V и обороти на хибрида 3000об/мин. дебита през един модул е 2300-2400м³/ч. Сумарно за четирите хибрида 8800-9200м³/ч. Устройствата могат да работят с максимално захранващо напрежение 34.5V. При това захранващо напрежение максимално регистрираните обороти бяха 3900об/мин. но се установи прегряване на намотките. При тези обороти дебита през един хибрид е около 3000м³/ч.

При 4500 об./мин. дебита през един хибрид е приблизително 4600м³/ч, което надвишава значително предварителния обем и капацитета на уреда, но е необходимо преработка на начина на изпълнение на намотките за да можем да осигурим издръжливост и устойчивост на процеса при това натоварване.

На база на получените данни са извадени следните средни показатели за замърсеност на района по време на пикови часове и замърсеност след преминаване през системата. След намаляване на трафика се забелязва бързо понижаване на замърсителите с над 5 пъти, което е и показател за необходимостта системата да работи с различно натоварване в зависимост от замърсяването:

По време на пиковите часове и по-високи измерени стойности на замърсяване:

1. Фини прахови частици 2.5µm:

Измерени нива на ФПЧ на входа - 141 ppm

Измерени нива на ФПЧ на изхода - 21 ppm

2. Фини прахови частици 10µm:

Измерени нива на ФПЧ на входа - 185 ppm

Измерени нива на ФПЧ на изхода - 27 ppm за 10µm.

Съотношението е 7 пъти за 2.5 µm и 9 пъти за 10µm.

По време на спокойните часове и по-ниски измерени стойности на замърсяване:

3. Фини прахови частици 2.5µm:

Измерени нива на ФПЧ на входа - 61 ppm

Измерени нива на ФПЧ на изхода - 19 ppm

4. Фини прахови частици 10µm:

Измерени нива на ФПЧ на входа - 81 ppm

Измерени нива на ФПЧ на изхода - 21 ppm за 10µm.

Съотношението е 3 пъти за 2.5 µm и 4 пъти за 10µm.

Вход



Изход



5. Въглероден оксид (CO);
6. Въглероден диоксид (CO₂);
7. Формалдехид (HCHO);
8. Нивото на общото летливо органично съединение (TVOC).

За останалите показатели също се наблюдава намаляване на показателите, но резултатите са в рамките на до 5 %. Това се дължи основно на причината, че тези вещества не са водоразтворими, но при добавянето на допълнителен йонизатор във водната част лесно бихме могли да неутрализираме всички органични съединения по лесен способ и с 99% ефективност.