



Получена: 27.07.2019 г.

Приета: 19.08.2019 г.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОПУСКЛИВОСТТА НА РАЗЛИЧНИ ТИПОВЕ МРЕЖИ ЗА ФАСАДНО СКЕЛЕ ПРИ ВЕТРОВИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ – ОПИТНА ПОСТАНОВКА И ПЪРВОНАЧАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Л. Хрисчев¹, Д. Марков², В. Тепелиев³, Д. Динев⁴

Ключови думи: фасадно скеле, мрежи, ветрови въздействия, проектиране

РЕЗЮМЕ

Съвременните тенденции в изпълнението на строителството са свързани с покриването на фасадните скелета с различни типове покрития във вид на предпазни мрежи или платнища. Използването на покрития обаче, е свързано с повишаване на ветровите натоварвания върху конструкцията на самите скелета.

В статията е представена методика за оценяване на пропускливостта на предпазни мрежи за покриване на фасадни скелета при ветрови въздействия, както и резултатите от експерименталното изследване от първия етап на научната програма. Получените резултати са анализирани с методите на математическата статистика, като са формулирани конкретни изводи за влиянието на налягането върху предпазните мрежи за покриване на фасадни скелета от стойностите на скоростта на вятъра. Дадени са също и насоки за завършване на изследванията, с цел завършване на проекта и внедряване на резултатите в строителната практика.

¹ Лъчезар Хрисчев, доц. д-р инж., кат. „Технология и механизация на строителството”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: l.hrishev@abv.bg

² Детелин Марков, доц. д-р инж., кат. „Хидроаеродинамика и хидравлични машини”, ТУ – София, бул. „Кл. Охридски“ № 8, 1000 София, e-mail: detmar@tu-sofia.bg

³ Венцислав Тепелиев, инж., кат. „Технология и механизация на строителството”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: v.tepeliev@abv.bg

⁴ Добромир Динев, доц. д-р инж., кат. „Строителна механика“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ddinev_fce@uacg.bg

1. Въведение

Фасадните скелета съвместяват две основни функции – осигуряване на безопасен достъп до фасадите по височина на сградите и съоръженията, и гарантиране на удобство и ергономичност при изпълнение на строителните и монтажните работи. По своето съществуване фасадните скелета спадат към работните скелета, които съгласно дефиницията дадена в БДС EN 12811-1, представляват временна конструкция, която е необходима за, осигуряване на безопасно работно място за изграждането, поддръжката, ремонта или разрушаването на сгради и други строителни конструкции, както и на необходимия за това достъп [1].

Редица изследвания показват, че скелетата са опасен източник на тежки трудови злополуки и значителен процент от инцидентите по строителните площадки са именно свързани с използването на строителни скелета [2], като едни от най-често срещаните рискове са свързани с възникването на механични травми, вследствие на падащи предмети [3]. Именно поради тази причина, съгласно изискванията на действащите нормативни документи, около строителни скелета е необходимо да се монтират предпазни мрежи [4]. В редица случаи, фасадните скелета се покриват и с различни типове рекламни мрежи, като по този начин се осигурява и допълнителна рекламна площ. Вж. фиг. 1 и фиг. 2.



Фиг. 1. Покрито с предпазна мрежа фасадно скеле



Фиг. 2. Покрито с рекламна предпазна мрежа фасадно скеле

Съвременните изисквания на строителната практика са наложили развиването на фасадните скелета в посока на олекотяване на елементите, при осигуряване на необходимата носимоспособност на конструкцията. Действащите стандарти за проектиране на строителни скелета регламентират необходимостта от използването на по-сложни изчислителни модели за цялостен анализ, които да отчитат както специфичните особености на скелетата – високи стойности на елементите, ексцентрично свързване на възлите, влияние на началните несъвършенства и други [5]. Специално внимание се обръща и на отчитането на ветровите натоварвания, особено за покрити работни скелета, като същите са класифицирани като клас „B” съгласно БДС EN 12810-1 [6].

2. Влияние на ветровите въздействия върху фасадните скелета

Проектирането на конструкцията на работните скелета и в частност на фасадните скелета следва да се извършва съгласно изискванията на БДС EN 12811-1 и БДС EN

12810. При проектирането следва да се вземат предвид както собственото тегло на елементите и експлоатационното натоварване, така и натоварването от вятър. Натоварването от вятър върху покрито фасадно скеле се определя в зависимост от сравнителната площ на покритието, като тук пряко влияние оказва и видът на покритието, монтирано върху скелето. Покритието може да бъде във вид на мрежа или платнище. Мрежата се дефинира като пропусклива материя за покриване на скеле, докато платнището е непромокаема плътна материя за покриване [1]. Съгласно приложение А на БДС EN 12811-1 натоварването от вятър върху покрито работно скеле се изчислява от формула (1):

$$F = c_s \sum_i (c_{f,i} A_i q_i), \quad (1)$$

където F е резултатната на натоварване от вятър;

$c_{f,i}$ – аеродинамичният коефициент за сила за покритие i ;

A_i – референтна площ на покритие i ;

q_i – скоростно налягане, въздействащо върху участък i от покритието;

c_s – коефициентът за местоположение.

Влиянието на типа на покритието се отчита основно посредством аеродинамичния коефициент за сила $c_{f,i}$. За покрития от мрежи стандартът [1] дава възможност коефициентът $c_{f,i}$ да се получи от изпитване с аеродинамичен тунел, като в противен случай, при ветрови въздействия, действащи напречно на покритата площ, се приема със стойност 1,3.

Необходимостта от оценка на ветровите въздействия върху ограждащите покривала при високи сгради се дискутира и в редица научни разработки. В [7] е посочено, че ефектът на аеродинамичните сили върху предпазни мрежи е от степен на значимост, която може да доведе до крайно гранично състояние конструкцията на скелето по време на експлоатация. Изводите на автора се основават на извършения литературен обзор и са потвърдени чрез налягането, породено от принуден въздушен поток (симулиращ въздействие от вятър) в аеродинамичен тунел с размери 300 mm × 300 mm, с променлива скорост до 30 m/s.

Изследвания върху напрегнатото и деформирано състояние на фасадни скелета показват, че при използването на предпазна или рекламна мрежа с различна плътност се получават различни усилия в елементите на скелето. Така например, при използване на мрежи с по-висока плътност, натисковите усилия във вертикалните стойки на фасадните скелета с големи височини се повишават с повече от 35% [8]. В [9] и [10] са направени редица обобщения на изследвания, свързани с ветровите въздействия върху покрити с мрежи фасадни скелета. Отбелязано е, че при покриване на скелето с платнище, усилията в анкериралите тръби и анкерите се повишават четири пъти, в сравнение с непокрито скеле. Посочено е също, че използването на предпазна мрежа вместо платнище (плътно покривало) може да доведе до намаляване на ветровото натоварване върху скелето с над 20%. Направените обобщения показват, че динамичното поведение на текстилните покрития приоритетно трябва да бъде оценявано с изпитвания във ветрови тунели, чрез мащабни модели и при определени опростени модели с числени симулации в софтуерни продукти, базирани на компютърни инструменти за симулиране на динамиката на флуидите на основа на Изчислителна Механика на Флуидите (CFD).

Изследванията в [11] са насочени към оценка на поредица от фактори, които оказват влияние върху поведението и съответно носимоспособността на временните съоръжения за строителството по време на експлоатация. Въз основа на експерименталните данни от аеродинамичен тунел в това изследване се заключава, че еквивалентното статично натоварване на вятъра, действащо върху скелето, трябва да бъде променено със завишен коефициент на аеродинамична сила, спрямо редица действащи стандарти. При покрити скелета разликите надвишават нормативно определените с около 25%, което илюстрира, че в тези случаи трябва да се изследва приносът на предпазните платнища (плътни покривала).

В [12] са представени резултатите от експериментално изследване на два типа мрежи за покриване на скеле. Двата типа мрежи се характеризират с различна порестост (порьозност) и дебелина. Изследването е извършено с използването на аеродинамичен тунел и последващо моделиране с използването на средствата, които предоставя изчислителната механика на флуидите (*CFD*). В резултат на изследването е направено заключение, че натоварването от вятър, действащо върху скелето (предавано от предпазната мрежа на носещите елементи на скелето) зависи основно от пропускливостта на мрежата и плътността на сградата. Изследвания на въздухопропускливостта на различни видове текстилни структури с различна порестост също показват същественото влияние на порьозността върху тяхната въздухопропускливост [13, 14].

От друга страна, проучване на видовете предпазни мрежи за скеле, предлагани на нашия пазар, показва, че производителите декларират сравнително ограничен набор от продуктови характеристики. В най-общия случай това са: тегло на мрежата на квадратен метър, устойчивост на UV лъчи, засенчващ фактор, геометрични размери и др., но не и пропускливост при ветрови въздействия (или аеродинамичен коефициент) [15, 16, 17]. Направеното първоначално проучване също показва, че предлаганите мрежи са изработени основно от полиетилен, но различните производители използват различни типове нишки и индивидуална конфигурация на тъкане/плетене, което респективно води до голямо разнообразие от растери на мрежите и респективно до разлики във въздухопропускливостта. Рекламните мрежи пък се изработват основно от полиестерен плат, покрит с поливинилхлорид, като с цел по-високо качество на рекламния печат, същите се отличават с по-голяма маса на единица площ и с по-висока плътност (по-ниска площна порестост).

От направения по-горе анализ може да се заключи, че предпазните мрежи с различна степен на порьозност (порестост), се характеризират с различна пропускливост, като водят и до различно ветрово натоварване върху фасадните скелета. Също така, липсата на конкретни технически данни за аеродинамичния коефициент за сила за покритията (или площната порестост и респективно площното запълване), води до невъзможност да се определи коректно натоварването от вятър върху покритите с предпазни или рекламни мрежи скелета.

Това налага извършването на целенасочени изследвания с цел определяне на пропускливостта на различни типове мрежи за фасадно скеле при ветрови въздействия, както и определяне на конкретна зависимост между основни характеристики на мрежите и тяхната пропускливост.

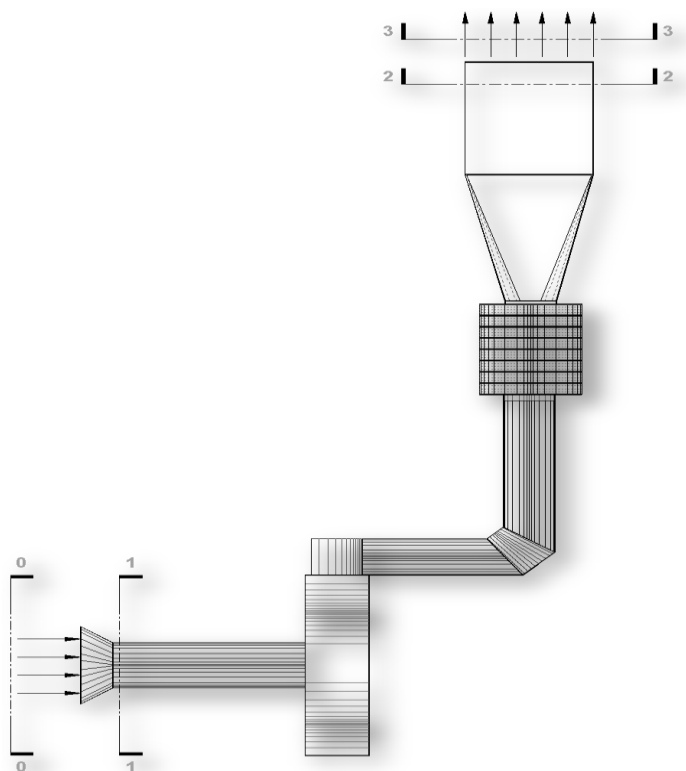
Изследването се реализира на два етапа, съгласно научния план по договор Д-114/2018 „Експериментално изследване на пропускливостта на различни типове мрежи за фасадно скеле при ветрови въздействия” с ЦНИП при УАСГ. Предвид това, в настоящата статия се дискутира само първият етап от изследването, като са представени по-детайлно методиката за изследването и част от първоначално получените експериментални резултати.

3. Методика на изследването

За реализирането на изследването се предвижда изпълнението на следните задачи: изработване на опитен модел и опитни образци; определяне на основни характеристики на различни типове мрежи за покриване на фасадни скелета; експериментално изследване, във въздушен канал, на величините, и определяне на налягането, упражнявано от въздействието от вятър (въздушното течение в канала) върху предпазни мрежи с различни характеристики; систематизиране на експериментално получените данни; обработка на резултатите с използване на методите на математическия анализ; определяне на конкретни зависимости и формулиране на изводи относно влиянието на характеристиките на различните типове мрежи върху тяхната въздухопропускливост.

3.1. Опитен модел. Измервателна техника и апаратура

Изпитването се реализира с използването на въздушен канал в лабораторията на катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“ към Технически университет – София. Схемата на канала е представена на фиг. 3, а неговият общ вид е представен на фиг. 4. Каналът има смукателна част, центробежен вентилатор, и нагнетателна част. В резултат от работата на вентилатора въздухът преминава последователно през смукателната част, центробежния вентилатор, нагнетателната част, тестваната мрежа и изтича свободно в помещението.



Фиг. 3. Принципна схема на конструкцията на въздушния канал

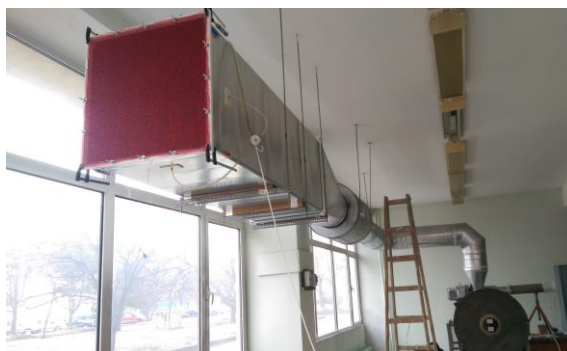
На входа на смукателната част е монтирана конична дюза с диаметър 139,85 mm, която се използва за измерване на дебита на въздуха съгласно BS 848-Part 1:1980 (BS 848-1:1980, Fans for general purposes. Methods of testing performance.).

Центробежният ventilator е с регулируеми обороти, като дебитът може да се изменя плавно в интервала от 500 до 3500 m³/h. Нагнетателната част завършва със секция с квадратно напречно сечение, на чийто изход се монтира тестваната мрежа. Непосредствено преди мрежата се измерва статичното налягане на въздуха, като надналягане по отношение на налягането на въздуха в помещението, съгласно предписанията на BS 848-Part 1:1980.



Фиг. 4. Общ вид на въздушния канал
а) входна част, б) изходна част

Мрежите са поставени в правоъгълна рамка – олекотена конструкция от PVC опорна рамка, с допълнително конструиран отваряем механизъм на вграждане, която е монтирана във ветровата тръба, затваряйки плътно и изцяло напречното сечение на изхода на нагнетателната част, вж. фиг. 5.



Фиг. 5. Подготвен за изпитване опитен образец

Специализираната измервателна апаратура, която се използва, включва: барометър тип анероид, диференциален електронен микроанометър MS351 (фиг. 6), с който се измерва подналягането след коничната дюза, което се използва за изчисляване на дебита на въздуха; електронен микроанометър FCO12 (фиг. 7), с който се измерва статичното налягане преди тестваната мрежа; цифров термометър.



Фиг. 6. Електронен микроманометър MS 351 Фиг. 7. Електронен микроманометър FCO 12

3.2. Контролирани фактори и изходни величини

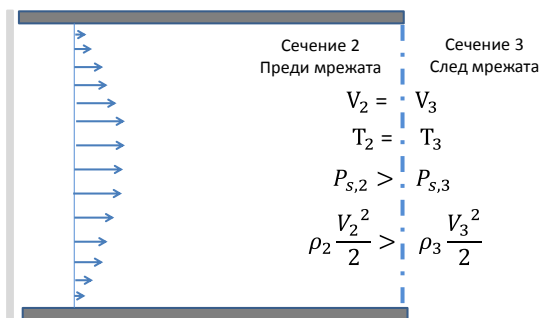
Независима величина в изследването е обемният дебит на въздуха през смукателната част на въздушния канал Q_1 , а чрез него се контролира и съответно скоростта на въздушното течение през тестваната мрежа V .

Изходните величини, които се измерват директно, са атмосферното налягане ($B = P_{s,0} = P_{s,3}$), температурата на въздуха на входа (T_0) и на изхода (T_3) на въздушния канал, разликата в статичното налягане в сечение 1 и налягането в помещението (ΔP_1), и разликата между статичното налягане преди мрежата и налягането в помещението (ΔP_2). По данните за налягането и температурата с помощта на уравнението за състоянието на идеален газ се изчислява плътността на въздуха на входа и на изхода на въздушния канал.

Дебитът на въздуха Q_1 се определя на входа на смукателната част, в сечение 1-1 (фиг. 3), при удовлетворяване на изискванията на BS848-Part 1:1980. Статичното налягане на въздуха преди мрежата $P_{s,2}$ се измерва като разлика между статичното налягане в сечение 2-2 (фиг. 3) и налягането в помещението (атмосферното налягане) чрез електронен микроманометър FCO12. С допълнителни изчисления се получава също и еквивалентната скорост V_e , съответстваща на ветрово въздействие при измерената плътност на въздуха. Теоретичната обосновка на връзката между отделните величини е представена в точка 3.3.

3.3. Теоретична постановка на изследването

Теоретичната основа на опитния модел включва позоваване на закона за уравнението на Бернули за установено течение на идеален флуид в тръба.



Фиг. 8. Измервани величини в сечения 2-2 на аеродинамичния тунел

При така разработената опитна постановка, скоростта на въздуха след мрежата е равна на скоростта на въздуха непосредствено преди мрежата (и през мрежата), фиг. 8. Скоростта на въздуха през мрежата ($V_2 = V_3$) е по-малка от скоростта на вятъра (V_w). Температурата на въздуха преди и след мрежата е еднаква. Вследствие на съпротивлението на мрежата статичното налягане на въздуха преди мрежата ($P_{s,2}$) е по-голямо от налягането в помещението ($P_{s,3} = B$) и затова плътността на въздуха преди и след мрежата е различна, поради тази причина се различават и динамичните налягания преди и след мрежата. Пълното налягане в канала непосредствено преди мрежата е равно на динамичното налягане, създадено от вятъра при действителните условия.

Разликата в статичните налягания преди и след мрежата се измерва директно

$$\Delta P_2 = P_{s,2} - B. \quad (2)$$

Скоростта на въздуха през мрежата се изчислява от уравнението за непрекъснатост:

$$V = V_3 = \frac{\rho_0 Q_1}{\rho_3 A_3} = \frac{T_3 Q_1}{T_0 A_3}. \quad (3)$$

Пълното налягане непосредствено преди мрежата (сечение 2) се изчислява от уравнението на Бернули:

$$P_{t,2} = P_{s,2} + \rho_2 \frac{V_2^2}{2} = (B + \Delta P_2) + \frac{(B + \Delta P_2) V_3^2}{RT_2} \frac{V_3^2}{2}. \quad (4)$$

Силата, упражнявана от вятъра върху мрежата, в реални условия е равна на силата, упражнявана от въздушното течение по време на измерването:

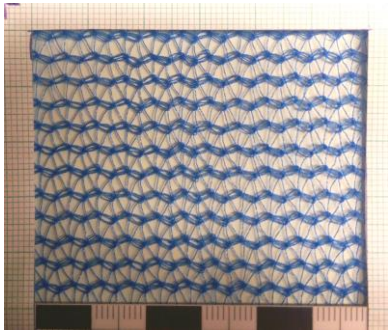
$$(P_{t,2} - P_{s,2}) A_2 = A_2 \frac{(B + \Delta P_2) V_3^2}{RT_2} \frac{V_3^2}{2} = A_2 \rho_e \frac{V_e^2}{2} = A_2 \frac{B_e V_e^2}{RT_e} \frac{V_e^2}{2}. \quad (5)$$

Еквивалентната скорост на вятъра, при стандартизирани условия, се изчислява от уравнение 5 при елиминирание на площта на мрежата:

$$\frac{(B + \Delta P_2) V_3^2}{RT_2} \frac{V_3^2}{2} = \frac{B_e V_e^2}{RT_e} \frac{V_e^2}{2}. \quad (6)$$

3.4. Опитни образци

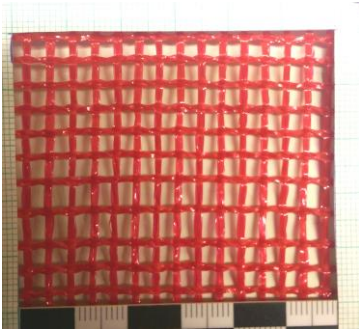
Опитните образци са изработени от предпазни мрежи с маса в диапазона от 40 g/m² до 220 g/m² с различна структура – мрежи от полиетиленови монофиламенти или моноконци, тъкан полиетилен и перфорирани повърхности от поливинилхлорид. Част от мрежите, от които са изработени опитните образци, са представени на фиг. 9 ÷ фиг. 13. При изпълнението на втория етап от научната програма се планира окомплектоване с допълнителен набор от предпазни мрежи, изработване на съответните опитни образци и респективно тяхното изпитване.



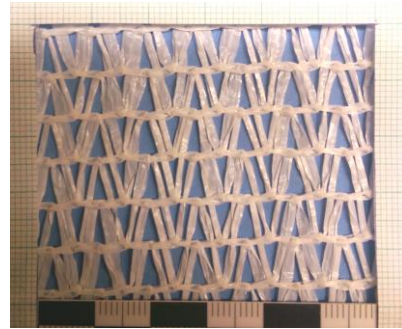
Фиг. 9. Мрежа тип „6”



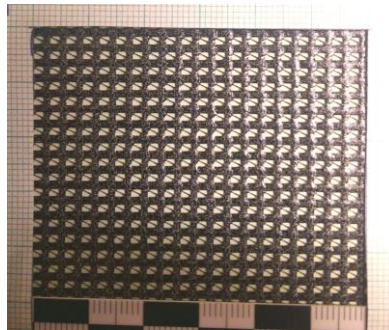
Фиг. 10. Мрежа тип „7”



Фиг. 11. Мрежа тип „11”



Фиг. 12. Мрежа тип „15”



Фиг. 13. Мрежа тип „16”

4. Резултати от експерименталните изследвания на серия от опитни образци и анализ на резултатите

След първоначалното пробно изследване с цел калибриране на опитния модел беше извършено изследване на серия от пет броя образци – образци „6”, „7”, „11”, „15” и „16” (вж. фиг. 9 ÷ фиг. 13). Изследването обхваща основно определянето на налягането върху мрежата.

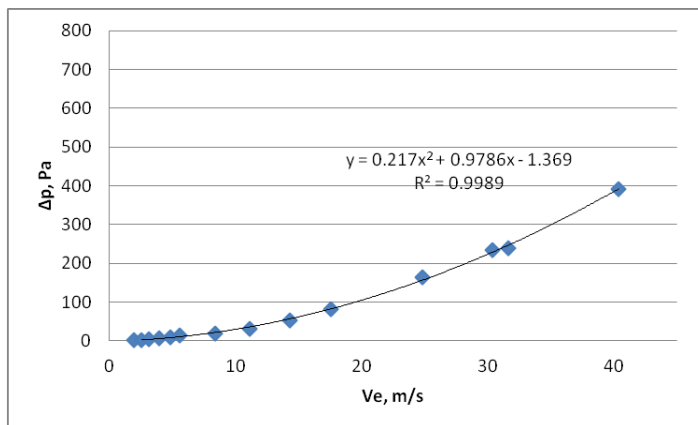
Получените резултати показват, че най-високи стойности на налягането върху мрежата в следствие на симулираните ветрови въздействия се получават при образец

N „16”, следва образец N „7”, а най-ниски стойности на налягането върху мрежата се получават при образец N „11”. При първоначалната обработка на резултатите се констатира известна зависимост по отношение на повишаването на налягането върху различните типове мрежи при повишаване на еквивалентната скорост на вятъра.

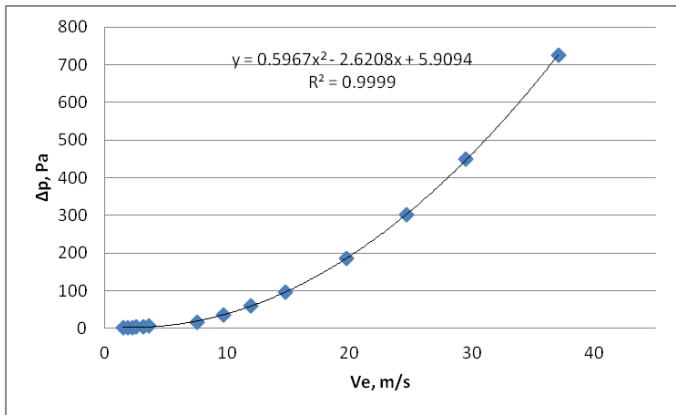
Именно поради тази причина, за по-точно определяне на зависимостта на налягането върху мрежата от стойностите на параметрите (еквивалентната скорост) на вятъра, е извършена допълнителна обработка и анализиране на резултатите чрез използване на регресионен анализ [18]. Задачата на регресионния анализ е да се намери съотношение, свързващо изходната величина (налягането върху мрежата) и факторите (еквивалентната скорост на вятъра) [19, 20]. Съотношението се изразява чрез регресионно уравнение, чийто коефициенти са оценени така, че сумата от квадратите на отклоненията по ординатната ос (Oy) да бъде минимална.

В настоящата разработка, на базата на получените от експерименталните изследвания данни за еквивалентната скорост на вятъра и налягането върху мрежите, са построени регресионните уравнения и е определен коефициентът на детерминация R^2 . Коефициентът на детерминация R^2 отразява разсейването на измерените опитно стойности около предсказаните по модела (регресионното уравнение). Той е един от критериите за оценка на адекватността на регресионния модел. При използване на коефициента на детерминация във връзка с корелационния коефициент, корелацията между 0,7 и 0,9 се интерпретира като висока, а над 0,9 като много висока [21].

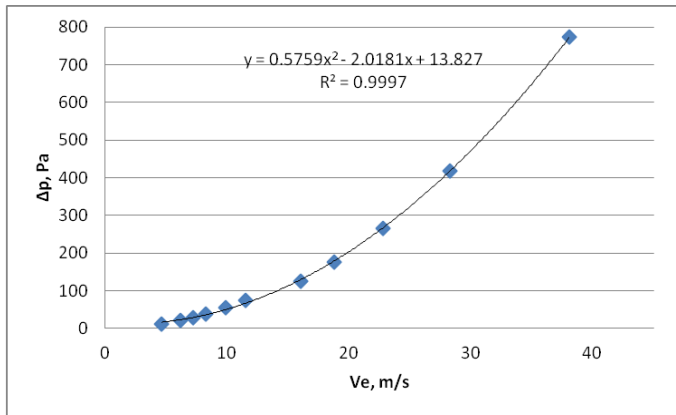
Представените по-долу зависимости, регресионни уравнения и коефициенти на детерминация R^2 са определени на база на получените данни за еквивалентната скорост на вятъра и налягане върху мрежата и за петте използвани в експеримента мрежи. Графичните изображения на регресионните уравнения и коефициентите на детерминация са представени на фиг. 14 ÷ фиг. 18. На фиг. 19 са представени, в обобщен вид, регресионните криви на част от изследваните опитни образци (мрежи). Въпреки измерените в експеримента по-високи еквивалентни скорости на вятъра, на представените по-долу графики, същите са ограничени до скорост от 40 m/s. Причината за това е, че съгласно БДС EN 1991-1-4/NA [22], характеристичните стойности на основната базова скорост на вятъра са с максимална стойност от 35,8 m/s.



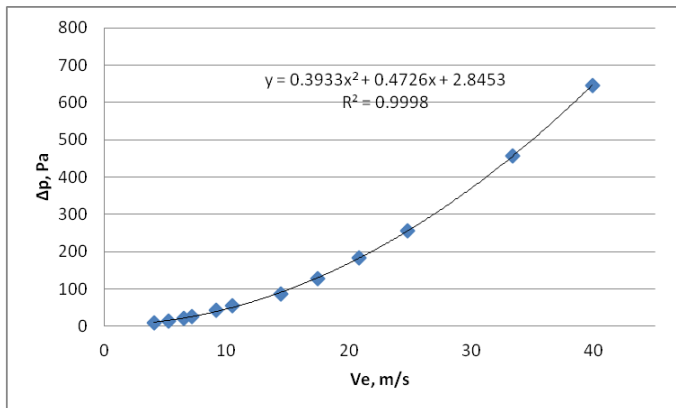
Фиг. 14. Зависимост между еквивалентна скорост на вятъра и налягането върху мрежата – образец N „11”



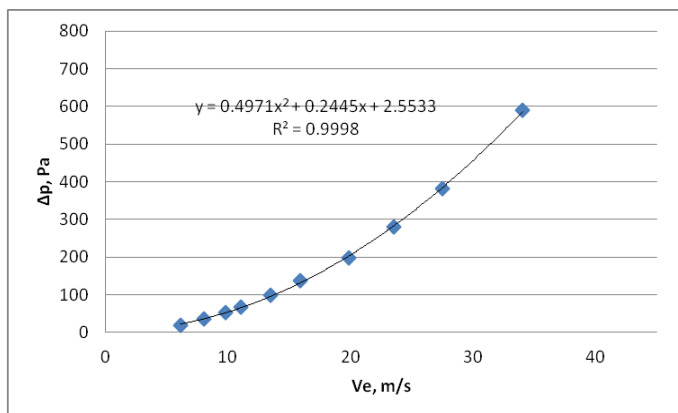
Фиг. 15. Зависимост между еквивалентна скорост на вятъра и налягането върху мрежата – образец N „6”



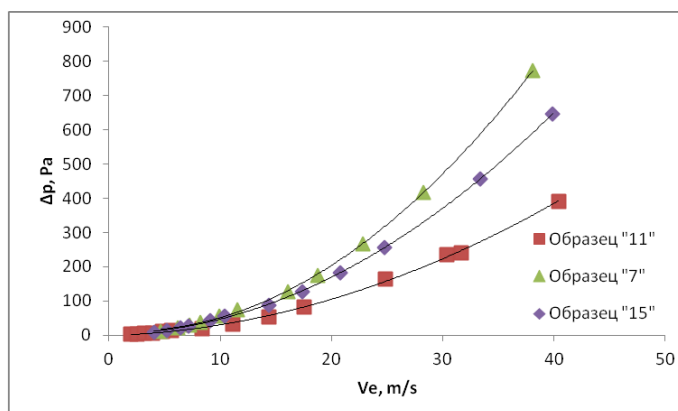
Фиг. 16. Зависимост между еквивалентна скорост на вятъра и налягането върху мрежата – образец N „7”



Фиг. 17. Зависимост между еквивалентна скорост на вятъра и налягането върху мрежата – образец N „15”



Фиг. 18. Зависимост между еквивалентна скорост на вятъра и налягането върху мрежата – образец N „16”



Фиг. 19. Зависимост между еквивалентна скорост на вятъра и налягането върху мрежата – обобщени регресионни криви на опитни образци N „11”, N „7” и N „15”

Ако анализираме графично представените резултати, правят впечатление високите стойности на коефициента на детерминация R^2 . Високият коефициент (R^2 е със стойности над 0,99) дава възможност получената корелационна зависимост между параметрите на еквивалентната скорост на вятъра и налягането върху мрежата да се оцени като много висока.

От друга страна, разпределението на регресионните криви, представено на фиг. 20 показва, че реално при трите мрежи са отчетени различни стойности на налягането при една и съща еквивалентна скорост на вятъра. При разглеждане на изображенията, представени на фиг. 10 ÷ фиг. 15, прави впечатление, че отделните мрежи се характеризират с различна порьозност (плътна порестост). Това изисква и допълнителни изследвания с цел установяване на зависимостта между порьозността на мрежите и налягането от вятър върху тях.

Като част от научната програма, през втория етап на изследването се планира именно определяне на плътната порестост (плътното запълване) на различните типове мрежи. Предвижда се използването на методика, основана на неразрушителен анализ, за определяне на размера на порите в макротекстурата на изследваните образци (мрежи).

Ще се използва микроскоп с вградена цифрова камера (максимална резолюция 1600×1200 пиксела), както и специализиран софтуер за измерване на площта на затворените контури.

През втория етап на изследването се планира също определяне на площната маса на опитните образци, съгласно методиката, дадена в БДС EN 12127:2000 и тяхната дебелина съгласно БДС EN ISO 5084:2002.

5. Изводи и бъдещи изследвания

В резултат на извършените изследвания могат да се формулират следните изводи:

- налице е зависимост на налягането върху предпазните мрежи за покриване на фасадни скелета от стойностите на скоростта на вятъра;
- различната порьозност (площна порестост) на предпазните мрежи води до различни стойности на налягането върху тях, при въздействия от вятър;
- необходимо е извършването на допълнителни изследвания, с цел установяване на зависимостта между порьозността на мрежите и налягането от вятър върху тях.

С цел успешно изпълнение на предвидената в научния план на проекта експериментална програма и създаване на предпоставки, за внедряване на изследванията в практиката е необходимо:

- изработване на допълнителни опитни образци от предпазни мрежи, използвани в нашата и чуждестранната строителна практика;
- определяне на характеристиките на изследваните мрежи, в т.ч. и тяхната порьозност (площна порестост);
- определяне на конкретни зависимости и формулиране на изводи, относно влиянието на характеристиките на различните типове мрежи върху тяхната пропускливост при ветрови въздействия;
- извеждане на зависимости, отнасящи се за стандартни условия, в т.ч. и при стандартна плътност на въздуха;
- определяне на аеродинамичния коефициент за сила $C_{f,i}$ за отделните покрития (предпазните мрежи).

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор Д-114/2018 е подкрепена финансово от Център за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 12811-1:2004. Временни съоръжения за строителство. Част 1: Скелета. Експлоатационни изисквания и основно проектиране.

2. *Георгиев, Т., Хандрулева, А.* Употребата на инвентарни тръбни скелета в строителната практика – източник на тежки злополуки. Актуалност на проблема и тенденции. Доклад на IV международна научно-приложна конференция “Архитектура, строителство – съвременност” на ВСУ “Черноризец Храбър”, Варна, 2007.

3. *Rubio-Romero, J., Gamez, M.C. Carrillo-Castrillo, J.* Analysis of the safety conditions of scaffolding on construction sites. // *Journal Safety Science*, 2013, 55, 160 – 164.

4. Наредба № 2 от 22 март 2004 г. за минималните изисквания за здравословни и безопасни условия на труд при извършване на строителни и монтажни работи.

5. *Белева, К., Белев, Б., Василев, Д.* Основни принципи и правила за проектиране на фасадни скелета по европейските стандарти. Сборник с доклади на XI международна научна конференция ВСУ'2011, София, 2011.

6. БДС EN 12810-1:2004, Фасадни скелета от готови елементи. Част 1: Изисквания за продуктите.

7. *Shing, S., Shaw, R.* Scaffolding Systems in Hong Kong – Current Practice and Development Of MBMSS. City University Of Hong Kong, 2009.

8. *Хрисчев, Л., Славчев В.* Технологични и конструктивни проблеми и решения при изпълнението на фасадното скеле на ТВКула-София. //Годишник на УАСГ, 2018, 51 (10): 29-44.

9. *Beale, R., Joao, A.* Design Solutions and Innovations in Temporary Structures. IGI Global, USA, 2017.

10. *Beale, R.* Scaffold research – a review. // *Journal of Constructional Steel Research*, 2014, 98 (1).

11. *Feng, W.* Aerodynamic Characteristics Of Scaffolding With Nonporous Cladding, A dissertation. Tokyo Polytechnic University, Japan, 2013.

12. *Irtaza H., Beale, R., Godley, M., Jameel, A.* Pressure Distribution Around Net Clad Scaffold Using Computational Fluid Dynamics Techniques. // *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 334, pp 54 – 62.

13. *Ogulata, R.* Air Permeability of Woven Fabrics. *Journal of Textile and Apparel, Technology and management*, V5, 2006.

14. *Ангелова, Р.* Текстилт и термофизичният комфорт на човека във вътрешната среда. Автореферат на дисертация за присъждане на степен доктор на техническите науки, София, 2015.

15. Elitcover, Елтете България. Технически характеристики на предпазни мрежи за скеле.

16. Arrigoni Spa. Технически характеристики на предпазни мрежи за скеле.

17. Huck. Safety Net Cataloge. Технически характеристики на предпазни мрежи. 2012/2013.

18. *Вучков, И.* Оптимално планиране на експерименталните изследвания. Техника. 1978.

19. *Вучков, И., Стоянов, С. и др.* Математическо моделиране и оптимизация на технологични обекти. Техника, 1986.

20. Вучков, И., Стоянов С и др. Ръководство за лабораторни упражнения по математическо моделиране и оптимизация на технологични обекти. Техника, 1986.

21. <https://www.btu.bg/statexcel/>, посетен на 08.05.2019.

22. БДС EN 1991-1-4:2005/NA:2011, Еврокод 1. Въздействия върху строителните конструкции. Част 1-4. Национално приложение.

EXPERIMENTAL STUDY ON THE AIR PERMIABILITY OF DIFFERENT TYPES OF SAFETY NETS FOR FAÇADE SCAFFOLDINGS DURING WIND ACTIONS – EXPERIMENT SET-UP AND PRELIMINARY RESULTS

L. Hrishev¹, D. Markov², V. Tepeliev³, D. Dinev⁴

Keywords: façade scaffolding, safety nets, wind actions, structural design

ABSTRACT

Modern trends in the construction practice imply covering of the facade scaffoldings with different types of coverings in the form of safety nets, perforated vinyls or others. The use of coverings, however, is associated with the increase of the wind loads on the scaffold structure itself.

The paper presents a methodology for evaluation of the air permeability during wind events of safety nets used for façade scaffold coverings, as well as the results of the experimental study from the first stage of the scientific programme. The results obtained are analysed with the methods of mathematical statistics. Specific conclusions are drawn on the effect of the wind pressure on the safety nets for covering facade scaffoldings as a function of the wind velocity values. There are also guidelines given for finalising the research in order to complete the project and implement the results in construction practice.

¹ Lachezar Hrishev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Construction Technology and Mechanisation”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: l.hrishev@abv.bg

² Detelin Markov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “ Hydroaerodynamics and Hydraulic Machines”, Technical University-Sofia, 8 Kl. Ohridski Blvd., Sofia 1000, e-mail: detmar@tu-sofia.bg

³ Vencislav Tepeliev, Eng., PhD Student, Dept. “Construction Technology and Mechanisation”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: v.tepeliev@abv.bg

⁴ Dobromir Dinev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Structural Mechanics”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ddinev_fce@uacg.bg