

Получена: 11.10.2017 г.

Приета: 20.10.2017 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПОМПИ, ЗАХРАНВАНИ СЪС СЛЪНЧЕВА ЕНЕРГИЯ В НАПОЯВАНЕТО

Й. Герински¹

Ключови думи: слънчева енергия, соларни помпи, напояване

РЕЗЮМЕ

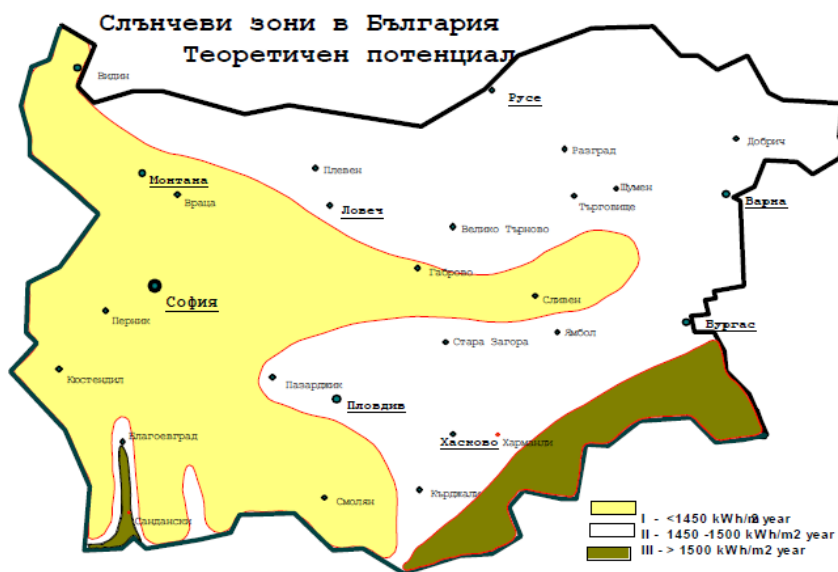
В статията се визират възможностите за приложения на така наречените „соларни помпи” в напояването и по-конкретно такива, захранвани с енергия директно от слънчеви панели без използване на акумулаторни батерии. Посочени са ограничителните условия, при които могат да бъдат използвани този вид помпи в зависимост от технологиите за напояване и вида на водоизточника. Акцентирано е и върху избора на броя и вида на помпените агрегати за целите на напояването. Засегнати са въпроси и за икономическата ефективност от приложението им в напоителните системи. Набелязани са насоки за бъдещи изследвания, свързани с приложението на помпи, захранвани със слънчева енергия.

1. Въведение

Хидромелиоративната инфраструктура в Република България е сериозно увредена. Средствата, получавани на ниво система, са недостатъчни дори за основна поддръжка, като едва около 8% от „годните“ площи, обслужвани от „НС” ЕАД, реално се напояват [1]. Като основна причина за намаляването на поливните площи у нас след 1989 г. може да се посочи високата цена на електроенергията и течните горива, използвани за захранване на напоителните помпени станции (ПС). Една от алтернативните възможности за намаляване на енергийните разходи в поливното земеделие е използването на соларни помпи за напояване на земеделските култури.

¹ Йордан Герински, гл. ас. д-р инж., кат. „Хидротехника и хидромелиорации”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: gerinski@abv.bg

Слънцето е практически неизчерпаем енергиен източник. Земята получава за 20 дни повече енергия отколкото енергията, съдържаща се в цялото количество органични горива (въглища, нефт и газ) в недрата ѝ [2]. Въпреки огромните ресурси, слънчевата енергия има много по-ниска интензивност (концентрация) в сравнение с конвенционалните енергоизточници. Това означава, че за получаване на определена мощност е необходимо големи площи от земната повърхност да се покрият с активни (абсорбиращи) елементи. България се намира в географска област с относително благоприятни условия за използване на слънчева енергия. Годишната сума на слънчевата енергия, която попада върху единица повърхност (хоризонтална равнина) варира от 1450 до 1600 kWh/m², в зависимост от района [3]. Слънчевата енергия се преобразува в електрическа чрез т.нар. фотоволтаични модули (PV-панели), конструирани на основата на полупроводникови силициеви фотоклетки. Степента на преобразуване зависи най-общо от сумарния лъчист поток, падащ върху повърхността на PV-панелите, и от техния к.п.д. Територията на България може условно да се раздели на три зони в зависимост от продължителността на слънчевото греене, показани на фиг. 1. Например, за района на Североизточна България, средното количество произведена електрическа енергия, за една година от модул с мощност 1 kW и общи загуби 25,3%, ориентиран на юг и наклонен към хоризонта на оптималния ъгъл за тази географска ширина – 35°, е около 1100 ÷ 1200 kWh [4]. Това значително количество енергия с ниска себестойност би могло да се оползотвори успешно чрез соларни помпи за целите на напояването, но остават неизяснени някои въпроси от технически и икономически характер, свързани с приложението на този тип помпени агрегати (ПА).



Фиг. 1. Слънчеви зони на територията на Република България [2]

2. Видове соларни помпи и приложението им в напояването

Възможностите за захранване на соларните помпи са две. Първата е да се захранват директно от PV-панели, а втората – от акумулаторни батерии, заредени от същите соларни клетки. Тук се разглежда първата възможност, тъй като на този етап на развитие

на соларните технологии за целите на напяването съхраняването на електроенергия в батерии е неоправдано, като първоначална инвестиция и като бъдещи експлоатационни разходи.

Соларните помпи по конструкция не се различават съществено от тези, работещи с ел. двигатели, свързани към електропреносната мрежа или задвижвани от двигатели с вътрешно горене. Съществуват основно два конструктивни типа соларни помпи – обемни и центробежни. Соларните помпи, от своя страна, се разделят на непотопяеми и потопяеми. Съществената разлика между соларните и останалите помпи е във вида на електродвигателите и управлението им. При соларните помпи се използват най-често постоянно токови електродвигатели – колекторни или безколекторни [5]. Колекторните се използват при непотопяемите помпи и по-рядко при потопяемите. Сериозен техен недостатък е, че четките им се износват сравнително бързо и се налага честата им смяна. Безколекторните електродвигатели се срещат най-вече при центробежните потопяеми помпи. При тях роторът е постоянен магнит и не изисква четки, което е едно от големите им предимства. Статорът е с намотка, която чрез подходящо управление осигурява въртящо се магнитно поле, увеличащо със себе си ротора. При ниска интензивност на слънчевото греене резултатното напрежение, генерирано от фотоелектрическия панел, се преобразува от двигателя в пропорционално по-ниски обороти на въртене на изходния вал. Именно, безколекторните електрически двигатели са много подходящи за помпи със слънчево захранване, тъй като те не изискват постоянно като големина напрежение, за да работят. При някои модели помпи се използват и двигатели с променлив ток, като за целта чрез инвертор постоянният ток, получен от фотоволтаичните панели, се преобразува в променлив. Инверторът регулира изходната честота в зависимост от интензитета на слънчевата енергия в реално време, като проследява максималната точка на мощността.

За да използва слънчевата енергия максимално, помпата би следвало да оползотворява произведената електрическа енергия от фотоволтаичните панели през целия ден. На практика това означава да поддържа различни обороти на въртене на работното си колело в зависимост от интензитета на слънчевото греене, т.е. да работи с променливи дебит и напор, съответстващи на тези обороти. За разлика от центробежните помпи, които се отличават с ниска ефективност при работа с ниски обороти, обемните помпи запазват сравнително висока производителност дори и при ниски скорости. Затова голяма част от помпите със слънчево захранване са именно обемни.

3. Избор на соларни помпи за напяване

При проектирането на напоителните системи изборът на вида и броя на ПА става по две основни величини – дебит Q_{op} и напор H_{op} . Целта е да се изберат помпи с общ дебит $Q_{ПС}$ и напор $H_{ПС}$, равни или по-високи от определените, при технологичните и хидравличните изчисления оразмерителни параметри, т.е. $Q_{ПС} \geq Q_{op}$ и $H_{ПС} \geq H_{op}$. При избора се разглеждат няколко варианта с различен брой и тип ПА, удовлетворяващи горните условия. За меродавен се избира този с най-ниски прогнозни бъдещи енергийни разходи. При избора на соларни помпи подходът трябва да е различен, тъй като дебитът и напорът им са променливи и зависят от интензитета на слънчевото греене. Поради това е необходимо да се търси друг прием за избор на помпи, захранвани с ел. енергия директно от соларни панели. От друга страна, непостоянният напор и дебит представляват сериозен технологичен проблем за качеството на поливния процес. Повечето поливни инсталации и машини (независимо от технологията, за която са предназначени – джъ-

дуване, гравитачно или капково напояване) реализират нужната равномерност на подадената поливна норма само в относително тесни граници на изменение на работните напори, респективно дебити. Именно заради широкия диапазон на изменение на дебита и напора на соларните помпи те трудно биха се използвали в напоителните системи при директно свързване с напорна тръбна мрежа с инсталации или машини за напояване. Този факт ограничава приложението им до така наречените повдигателни ПС, които служат за повдигане на водни маси на по-висока кота, акумулирането им в изравнителни обеми – горни изравнители (ГИ) и последващо използване на събраната вода за напояване с подходяща поливна техника. Досегашният неголям опит с приложението на тези помпи в напояването у нас е именно при повдигателни ПС, като за водоизточник се ползват сондажни кладенци или открити водоизточници.

Изборът на соларни ПА за повдигателни ПС не може да се направи по класическия начин по напор и дебит, тъй като номиналните параметри могат да се определят от $Q-H$ характеристиката на помпата за максималните обороти на двигателя, а те се достигат само при ясно време и то само за няколко часа в денонощието. Номиналният дебит и напор могат да служат за хидравлично оразмеряване на тръбопроводите (смукателни, съединителни, напорни), но не и за избор на ПА. Предложеният тук метод за избор на соларни помпи се основава на равенството между необходимия обем вода V_n за напояване на напоителното поле за вегетационния период и подадения обем V_{sp} от соларните помпи. Първият обем представлява годишната консумация на НС и се определя по методи, известни в проектантската практика. Вторият е подаваният от соларните помпи обем за една година и е необходимо да бъде изчислен относително точно, за да се гарантира постигането на приетата проектна обезпеченост на напоителната норма. На този етап определянето му е трудна задача, тъй като подаваните дебити зависят от интензитета на слънчевото греене, което от своя страна е функция от географското положение на НС и редица други фактори. Производителите на соларни помпи не дават информация за подаваните обеми вода от техните помпи по месеци, а дори и за година. Това е разбираемо, предвид, че производството на ел. енергия от PV-панели зависи от местоположението им, от наклона им към хоризонта и от други фактори, но все пак могат да се посочват такива данни за няколко по характерни района и така да се улеснява изборът на ПА.

Тук се предлага методика за изчисляване на годишния подаден обем вода V_{sp} , като се използва количеството произведена енергия от 1 m^2 PV-панели E_1 за една година. Съществува сайт [6], от който може да бъде получена информация за всяка точка от земята: какво е количеството произведена енергия по месеци и сумарно за година. Като се използва това, може да се изчисли подаваният обем на базата на оползотворената мощност. Методът е приблизителен и, за да се реализира, е необходимо да се изчисли, обемът вода V_1 , подаден с енергията E_1 , произведена от 1 m^2 PV-панели по формулата:

$$V_1 = \frac{E_1}{E_s}, \quad [\text{m}^3]. \quad (1)$$

В уравнение (1) E_s е специфичният разход на енергия за 1 m^3 подадена вода и се определя по израза, получен от формулата за мощността на центробежни ПА:

$$E_s = \frac{\rho g H_{sp}}{\eta 3600}, \quad [\text{kw.h/m}^3]. \quad (2)$$

Тук ρ е обемната плътност на водата в t/m^3 , g е земното ускорение в m/s^2 , η е коефициентът на полезно действие на ПА в относителни единици, а H_{sp} е напорът на

соларната помпа в m . Величините ρ и g са константни, а η и H_{sp} са променливи и зависят от моментната работна точка на ПА. Отношението H_{sp}/η се изменя в тесен диапазон, тъй като с нарастването на η се увеличава и H_{sp} . От друга страна, границите на изменение на H_{sp} са тесни $H_2 < H_{sp} \leq H_{ПСmax}$, а тези на η зависят от конкретната помпа, но за повечето центробежни помпи с едностранен вход с известно приближение може да се приеме някаква средна стойност на η за диапазона на изменение на дебита от 0 до например $\eta = 0,5$. С цел запасяване в (2) H_{sp} може да се замести с максималния напор на ПС $H_{ПСmax}$ т.е. $H_{sp} \approx H_{ПСmax}$. Той представлява сумата от геодезичния напор H_2 , и общите загуби на напор $h_{заг}$, които са сума на загубите по дължина на тръбната мрежа h_θ и местните загуби на напор h_m :

$$H_{ПСmax} = H_2 + h_\theta + h_m = H_2 + h_{заг}, \quad [m]. \quad (3)$$

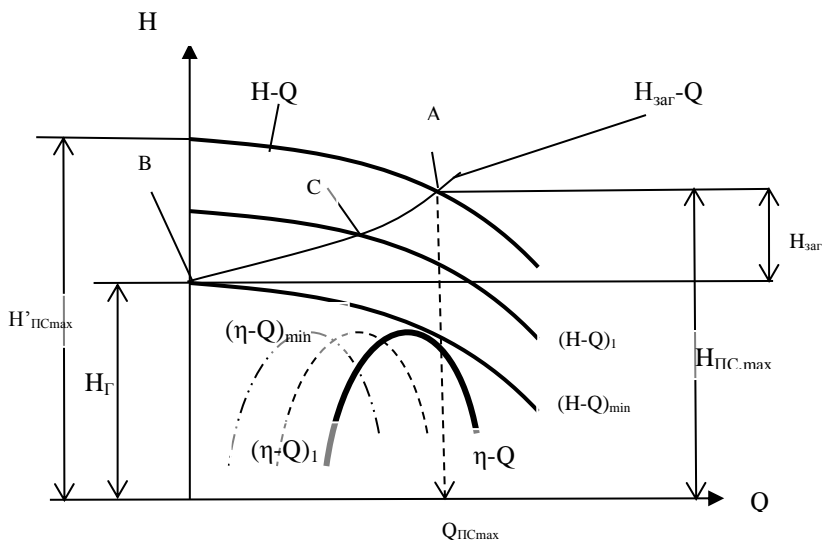
Геодезичният напор H_2 е разликата между максималното водно ниво в ГИ и минималното долно водно ниво. Загубите по дължина се изчисляват по някоя от известните в литературата методи например чрез енергиен показател [8], като за целта се изчислява максималният дебит по формулата:

$$Q_{ПСmax} = F_{НП} q_{бр}, \quad [l/s], \quad (4)$$

където $F_{НП}$ е площта на напоителното поле в ha, а $q_{бр}$ е брутният хидромодел, изчислен от:

$$q_{бр} = \frac{m_{бр}}{Tt3,6}, \quad [l/s.ha]. \quad (5)$$

Във формула (5) $m_{бр}$ е максималната брутна поливна норма, отчетена от поливния режим за отглежданите култури, T е време, за което се подава тази норма (обикновено $T = 10$ дни), t е времето в часове за извършване на полива в едно денонощие: избира се от технологични съображения. Местните загуби се изчисляват като се сумират загубите h_i от всички местни съпротивления и се изчисляват по известни в литературата формули.



Фиг. 2. Съвместна работа на соларна помпа с напорен тръбопровод

Произведената енергия от 1 m^2 PV-панели E_1 за една година представлява потенциал, който може да бъде усвоен при условие, че произведената енергия се съхранява в акумулаторни батерии, но в случай на директно захранвани соларни помпи от него се използва само част. Използваната част е толкова по-голяма, колкото е по-малък геодезичният напор H_z . За пояснение на този факт на фиг. 2 е представена съвместната работа на соларна помпа с напорен тръбопровод. На фиг. 2 работната точка „А” е получена като пресечна между характеристиката на ПА $H-Q$ (при достигане на максимални обороти на двигателя) и тази на напорния тръбопровод $H_{заг}-Q$. Тази точка определя и максималния възможен дебит $Q_{ПСmax}$ и максималния напор $H_{ПСmax}$ на ПС.

При ниска интензивност на слънчевото греене оборотите на двигателя са по-ниски от максималните и характеристиката на помпата $H-Q$ се премества до някаква междинна позиция $(H-Q)_1$ и работните точки се установяват по характеристиката $H_{заг}-Q$ в зоната между точките „А” „В” в случая точка „С”. При силно намаляване на интензивността на слъчевата радиация, например при облачно време или мъгла, оборотите на двигателя спадат и характеристиката на помпата достига до $(H-Q)_{min}$ позиция, при която ПА не успява да преодолее геодезичния напор H_z и подаваният дебит е нула. При обороти, по-ниски от тези на характеристиката $(H-Q)_{min}$, практически ПА не може да повдига водни маси в ГИ и произвежданата енергия от слънчевите панели е неизползваема. Този факт е валиден за центробежните помпи и силно ограничава ефекта от приложението им, особено при високи стойности на геодезичния напор. От друга страна, при ниски стойности на H_z специфичният разход на енергия E_s намалява спрямо изчисления за максималния напор $H_{ПСма}$ и реално подаденият обем вода, с произведената енергия нараства. За да се отразят тези отклонения при определянето на обема вода подаден от соларната ПС, се предлага въвеждането на корекционен коефициент k , който се определя по израза:

$$k = \frac{H'_{ПСmax} - H_z}{H_{ПСmax}}. \quad (6)$$

В уравнение (6) $H'_{ПСmax}$ е максималният възможен напор на соларната помпа, който за центробежни помпи се достига най-често при дебит $Q_{ПС} = 0$.

Така за редуцирания обем вода $V_{1,p}$, подаден с енергията E_1 , произведена от 1 m^2 PV-панели, се получава:

$$V_{1,p} = \frac{E_1}{E_s} k, \quad [\text{m}^3]. \quad (7)$$

Годишният подаден обем вода V_{sp} се получава, като се умножи обемът $V_{1,p}$, повдигнат с енергията E_1 , по площта на PV-панелите F_{pv} в m^2 , т.е. $V_{sp} = V_{1,p} F_{pv}$. От условието $V_{sp} = V_n$ се получава площта на PV-панелите, необходими за захранване на ПС:

$$F_{pv} = \frac{V_n}{V_{1,p}}, \quad [\text{m}^2]. \quad (8)$$

Необходимата минимална мощност на соларната помпа се определя, като се умножи нужната площ на PV-панелите F_{pv} с мощността на 1 m^2 панел N_1 или: $N_{sp} = F_{pv} N_1$.

Подходящата за даденото напоително поле соларна помпа или група ПА трябва да удовлетворяват условията:

1. Максималният напор на избраната помпа да е $H_{изб} \geq H_{ПСmax}$;
2. Максималният дебит на избраната соларната помпа да е $Q_{изб} \geq Q$;

3. Мощността на двигателя $N_{изб}$ на избраната соларната помпа да е $N_{изб} \geq N_{сп}$.

Производителите на соларни помпи препоръчват мощността на соларните панели N_{pv} да е с около 20 – 25% по-висока от тази на захранваните ПА, т.е. $N_{pv} = 1,2 \div 1,25N_{изб}$.

Трябва да се отбележи, че предложеният метод за избор на ПА е доста приближителен. Той се нуждае от тестване чрез набиране на данни за ПА в реални експлоатационни условия. Така натурните резултати могат да послужат за бъдещи изследвания и подобряване на метода. При използване на обемни помпи методът не е приложим и за тях трябва да се разработи друг подход. Сериозен проблем е обаче липсата на достоверна и надеждна техническа информация от производителите на соларни ПА.

4. Икономическа ефективност от приложението на соларни помпи за напояване

Въпросът за икономическата ефективност от приложението на соларните помпи остава отворен за дискусия, тъй като задълбочени изследвания у нас в тази насока не са правени. От икономическа гледна точка предимствата са ясни – практически безплатен източник на енергия, ниски разходи за поддръжка и икономия на средства за строителство на трафопост и захранващи линии за ПС. От друга страна соларните помпи имат сериозни недостатъци като променливи технологични параметри (напор и дебит) и висока първоначална инвестиция за основно оборудване около 2,5 до 3,5 лв/кв. Последното е основен недостатък на тези помпи и поради това те трудно се конкурират с тези, работещи с конвенционални енергоизточници. Друг съществен недостатък на приложението на соларните помпи са допълнителните разходи за строителство на ГИ със значителен обем. Той е необходим за съхраняването на водни маси извън поливния сезон. Икономия на средства може да се направи, като се намали обемът на ГИ чрез хидроавтоматични резервоари, чиято конструкция е описана в [7], но пълното премахване на ГИ е нецелесъобразно. Друга възможност за изследване на икономическата ефективност е приложението на така наречените хибридни системи, при което при ниска интензивност на слънчевото греене работата на ПА се подпомага от дизелов генератор.

Технико-икономическите условия у нас не благоприятстват приложението на тези нови за земеделието технологии. Необходимо е да се формира нормативна база, поощряваща използването на соларни помпи в напояването, като на този етап финансирането на бъдещи проекти е най-важното. Необходимо е да се потърси от държавата схема за субсидиране на инвеститорите, като например финансиране с приоритет по европейските програми за финансово подпомагане. Мерки за стимулиране на използването на възобновяемите енергийни източници (ВЕИ) се предприемат в почти всички развити страни, в които икономическите условия са дори по-добри от условията у нас, поради по-високите цени на конвенционалната енергия, като в повечето случаи се използват данъчни и паразитни механизми.

Ефектът от приложението на соларните помпи не трябва да се разглежда само в чисто икономически аспект, а да се отчитат и другите аспекти, като макроикономически (спестяване на органични горива, независимост на енергетиката от вносни енергоизточници), социални (откриване на работни места), екологически (намаляване на замърсяването на околната среда) и др. Ето защо са необходими научно-приложни изследвания за доказване на икономическата ефективност от приложението на тези помпи в напояването.

5. Заключение

Соларните помпи са технологична новост за поливното земеделие в България. Въпреки сериозните ограничения на възможностите им за приложение от чисто техническо естество, те имат бъдеще, като част от развитието на технологиите с ВЕИ. Основните изводи от настоящото изследване са:

- на този етап на развитие на технологиите соларните помпи, захранвани директно от фотоволтаични панели, могат да бъдат използвани само за повдигателни ПС;
- разработена е приблизителна методика за избор на соларни ПА;
- съществува широко поле за бъдещи изследвания в областта на приложението на соларните помпи в напояването, като икономическа ефективност, определяне на обемите подадена вода, както и разработване на технологии, машини и инсталации за напояване, свързани директно към соларните ПА, без използване на ГИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обща стратегия за управление и развитие на хидромелиорациите и защита от вредното въздействие на водите. МЗГ, 2016.

2. *Щраков, Ст., А. Стоилов.* Използване на слънчевата енергия в България – технико-икономически условия. Лекции, Югозападен Университет „Неофит Рилски”, гр. Благоевград.

3. *Щраков, Ст., Пенчев, А., Христов, Х., Николов, С., Попова, К., Николова, Н., Младенов, Д.* Възобновяеми енергийни източници в България – състояние и перспективи. Научна конференция ЕМФ97, сборник доклади, том II, Созопол, септември 1997, стр. 106-112.

4. *Коев, К., Пеев, В., Димов, Д.* Проучване възможностите за използване енергията на слънцето. Научни трудове на Русенски Уневурситет, 2008, том 47, серия 9.

5. *Димитрова, С.* // Сп. Технологичен дом. 20 август, 2007 г.

6. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). <http://sunbird.jrc.it/pvgis/>.

7. *Georgiev, D.* Construction and Hydraulic Testing of an Open Hydraulically Operated Tank for Pulse Drip Irrigation. 16th Congress, ICID, Cairo, 1996.

8. *Gadjev, R.* Water transport energy feature for pressure flows in irrigation. International Scientific Conference, EEA&AE, Ruse University, Ruse, 2013.

APPLICATION OF PUMPS POWERED BY SOLAR ENERGY IN IRRIGATION

Y. Gerinski¹

Keywords: solar energy, solar pumps, irrigation

ABSTRACT

This paper points out the meaning of the “solar pumps”, of its application in irrigation and more specifically those which are using energy directly from solar panels without using rechargeable batteries. The restrictive conditions in which this kind of pumps can be used are listed according to the technologies of irrigation and the type of the water source. It is focused also on the quantity and the look of the pump units for the purpose of the irrigation. Other issues are the economic efficiency of their use. Guidelines which are connected with the application of the solar pumps are selected for future research.

¹ Yordan Gerinski, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Hydraulic, Irrigation and Drainage Engineering”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: gerinski@abv.bg