

Получена: 11.10.2017 г.

Приета: 25.11.2017 г.

УСТАНОВЯВАНЕ НА ОПТИМАЛНАТА ДЪЛЖИНА НА ТРЪБОПРОВОДА ПРИ НЯКОИ МОДИФИКАЦИИ НА ЛЕНТОВИ ДЪЖДОВАЛНИ МАШИНИ

Т. Ташев¹, П. Филков²

Ключови думи: напояване, лентови дъждовални машини, оптимални работни параметри, енергийна ефективност

РЕЗЮМЕ

Изследвани са лентови машини с дължини на гъвките тръбопроводи от 200 до 600 m при диаметър DN 110 mm и с дължини от 300 до 600 m при диаметър DN 125 mm. Определянето на оптималните дължини е извършено при избрана целева функция „приведени годишни разходи на хектар“. В нея са включени разходите за машината, за захранващите я тръбопроводи, за средствата за създаване на напор и разходите за вода, енергия и труд. Разгледани са три варианта за захранване на машината – напорно от тръбна мрежа, помпено от напоителен канал и помпено от собствен водоизточник. Изследването е извършено за нетна напоителна норма $M = 1200 \text{ m}^3/\text{ha}$ при различен набор от напори и диаметри на дюзата на дъждовалния апарат за всеки от трите варианта. Установено е, че минимумът на целевата функция и за двата диаметъра на гъвките тръбопроводи се получава при най-малките изследвани дължини.

1. Въведение

За дъждуване на селскостопански площи в Р България през последните години все по-често се използват лентови дъждовални машини. Една от причините е, че закупува-

¹ Тодор Ташев, докторант инж., направление „Механизация и Хидромелиорации“, ИПАЗР „Н. Пушкарров“, ул. „Шосе Банкя“ № 7, 1331 София, e-mail: todor_pt@yahoo.com

² Петър Филков, доц. д-р инж., кат. „Хидротехника и хидромелиорации“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: pifilkov@yahoo.com

нето на поливна техника може да се финансира по „Програма за развитие на селските райони 2014 – 2020” [1]. Същевременно изборът на модификация на машината обикновено се извършва не от инженери по хидромелиорации, а от търговски представители, при което се препоръчват машини с големи дължини (над 300 m) на гъвките тръбопроводи (маркучи). Това води до необосновано високи напори на помпите и/или едър некачествен дъжд, който създава предпоставка за ерозия на почвата. Посочените негативни последици са в противоречие с тенденциите за постигане на висока енергийна ефективност, дългосрочно и устойчиво земеделие.

Основната цел е да се определят оптималните дължини на гъвките тръбопроводи на лентовите машини при два от най-често използваните в практиката диаметри – $DN\ 110\ mm$ и $DN\ 125\ mm$, както и работните параметри, при които се постигат тези оптимални дължини.

2. Материали и методи

По своята същност изследването представлява решаване на типична оптимизационна задача.

За **целева функция** (ЦФ) са използвани приведените годишни разходи на хектар, на която се търси минимум. В ЦФ се включват:

- инвестициите и експлоатационните разходи (без разходите за труд и енергия) за машината, за запазващите я тръбопроводи, за помпения възел и съпътстващите го тръби и арматури, а при един от вариантите се включват и разходите за изграждане на собствен водоизточник;
- ресурсни и енергийни разходи, които отчитат разходите за доставка на вода и за създаване на необходимия напор;
- други разходи – труд на поливачи, гориво-смазочни материали (ГСМ) за трактора за извършване на поливките и пр.

Инвестициите се привеждат към годишни разходи в лева на година [лв./год.] чрез капиталовъзстановителния фактор [2]. Експлоатационните разходи са актуализирани с отчитането на инфлацията и повишаването на цената на водата, енергоносителите и цената на труда чрез описаната в [3] методика. Изчисляването на всички разходи е извършено за един водооборотен участък, чиято площ е определена според [4], при различни съчетания на диаметър на дюзата ($d_{дл}$) и напор на дъждовалния апарат ($H_{дл}$). Преминването към приведени разходи на единица площ е извършено с отчитане на големината на водооборотния участък, т.е. с отчитане на производителността на машината.

Ограничителните условия за целевата функция са произвежданите модификации на машините с наличните диаметър (DN) и дължината на маркуча (L_M), едрината на дъжда (k), както и продължителността на поливането в денонощие.

Методът на решение на оптимизационната задача е графо-аналитичен.

Изследването е извършено при нетна напоителна норма $M = 1200\ m^3/ha$ за два броя поливки на сезон с нетна поливна норма $m = 600\ m^3/ha$, при десетдневен междуполивен период. Приета е продължителност на поливането в денонощие 16 h.

Разгледани са три варианта на водоизточник (ВИ). Първият вариант е при водоземане от хидрант на напорна тръбна мрежа на „Напоителни системи“ ЕАД (НС) или от сдружение за напояване (СН) при приет наличен напор на хидранта 40 m. За модифи-

кациите, изискващи по-голям напор, е предвидено повишаването му с помпен агрегат (ПА). Вторият вариант разглежда случая на помпено водочерпене от открит канал на НС/СН. Третият вариант е при помпено водоземане от собствен водоизточник.

При всички варианти с необходимост от помпено захранване или допълнително повишаване на напора са разгледани по два подварианта на енергоизточник за помпата – помпа с електродвигател (ПА-ЕД) и помпа с дизелов двигател (ПА-ДД).

Данните за цените на машините са получени от фирма-дистрибутор на поливна техника. Инвестициите за разпределителна мрежа в имота са определени при предпоставката, че се използват тръби от полиетилен с висока плътност (PEHD), тип PE 100, положени открито. За диаметърът на PEHD тръбите е приет един стандартен диаметър, по-голям от DN на гъвкавия тръбопровод на машината, а номиналното налягане на PEHD тръбите е в зависимост от напора на хидранта. При напор до 90 m са заложени тръби с PN 10, а над 90 m – с PN 16.

Инвестициите за помпите са определени съобразно необходимата номинална мощност, а диаметрите на съпътстващите тръби и арматури – при отчитане на изискванията за скорост – до 2,5 m/s в напорния тръбопровод и до 1,2 m/s в смукателния.

При избора на двигател са използвани осреднени стойности на КПД на помпата при различни диапазони на водното количество и напор, въз основа на анализ на наличните модели помпи от три световно известни производителя [5], [6], [7].

При варианта с водочерпене от собствен водоизточник е предвидена инвестиция, достатъчна за изграждането на сондаж или на малко водохващане. За всички варианти с ел. помпи са предвидени и разходи за ел. табла и табла за управление, но не и инвестиции за прокарване на електроснабдителна мрежа.

Срокът на откупуване/изплащане на кредита за дъждовалните машини и арматурите е приет да бъде 10 години, а за тръбите и съоръженията – 20 години. Експлоатационните разходи за отделните елементи на системата за напояване са приети като процент от инвестициите, като са използвани данни от [2] и [8].

Годишните разходи за водата като ресурс зависят от разглеждания вариант на водоизточник. При първия и втория вариант са взети предвид цените на „Напоителни системи“ ЕАД за 2017 г. При третия вариант е използвана тарифата на Басейнова Дирекция за подземни води. Разходът на ел. енергия е изчислен при заложени средни стойности на КПД на електродвигателите според [5]. Разходът на дизелово гориво е определен според налични данни в интернет и анкети със селскостопански производители. Ресурсните и енергийните годишни разходи са актуализирани с отчитане на ежегодното посъщпване на енергията и водата по метода, описан в [3].

Разходите от графата „други“ включват заплатите на работниците, обслужващи машината, както и разходите за ГСМ на ангажирания с напояването трактор. Те са получени чрез анкетиране на земеделски стопани през лятото на 2017 г.

Изборът на модификации и работни параметри на лентовите машини е извършен по каталожни данни на утвърден международен производител. Освен информацията за наличните DN и L_M , както и за предлаганите $d_{ДА}$ и предвидените $H_{ДА}$, от каталога са отчетени водното количество, необходимият напор на хидранта и широчината на полятата ивица.

За всеки от разглежданите DN на гъвкавия тръбопровод на машината са изследвани по три стойности на L_M – най-малката предлагана, средната и най-голямата. За модификациите с DN 110 mm са разгледани три разновидности – с $L_M = 200, 400$ и 600 m, при пет дюзи на дъждовалния апарат ($d_{ДА} = 22, 24, 26, 28$ и 30 mm) и пет напора на апарата ($H_{ДА} = 40, 45, 50, 55$ и 60 m). За модификации с DN 125 mm са изследвани машини с $L_M = 300, 400$ и 600 m, при пет дюзи ($d_{ДА} = 26, 28, 30, 32$ и 34 mm) и три напора ($H_{ДА} = 50, 55$ и 60 m). При така избраните работни параметри за всички модификации на

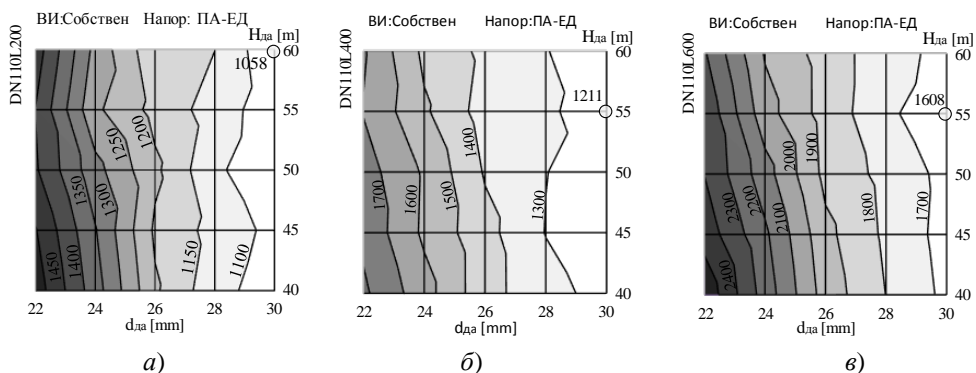
машините и варианти на водоизточник са необходими помпи за създаване и/или повишаване на напора в мрежата.

Ограничителното условие по отношение на едрината на дъжда е $k = 1700 \div 2600$ – едър до фин дъжд, според [9]. Не всички изследвани двойки стойности на $H_{ДА}$ и $d_{ДА}$ отговарят на това условие, но оптималното решение е търсено само в посочения интервал на k .

3. Резултати

3.1. Оптимални работни параметри

За всяка от разглежданите модификации на лентови машини са изчислени приведените годишни разходи на хектар, при трите варианта на водоизточник с по два подварианта на захранване на помпата. Резултатите за модификацията с $DN 110$ mm при варианта със собствен водоизточник и помпа с електродвигател (ПА-ЕД) са представени на фиг. 1.



Фиг. 1. Приведени годишни разходи на хектар за лентова машина с $DN 110$ mm при собствен водоизточник и помпа с електродвигател за: а) $L_M = 200$ m; б) $L_M = 400$ m; в) $L_M = 600$ m

Минимумът на ЦФ се получава при най-голямата разглеждана дюза и при високите стойности на напора. И при трите дължини оптимумът е в допустимия диапазон на едрината на дъжда. Това се дължи на големия дебит на машината, при който площта на водооборотния участък е най-голяма. Същевременно при L_M от 400 и 600 m оптималният вариант не е при най-високия $H_{ДА}$, което се обяснява с нарастването на загубите на напор в машината, респ. на дела на енергийните разходи в общата сума.

От фиг. 1 ясно се вижда, че влиянието на $d_{ДА}$ върху приведените годишни разходи на хектар е много по-силно от това на $H_{ДА}$. С увеличаване на $d_{ДА}$ стойностите на ЦФ намаляват, като в началото спадът е по-бърз. Резултатите при другите варианти на водоизточник, енергоизточник за помпата и модификации на машините показват същите тенденции. Следва да се отбележи, че за случаите на помпа с дизелов двигател при модификациите с къси и средни дължини на маркуча ($L_M = 200, 300$ и 400 m), при големите $d_{ДА}$ изменението на $H_{ДА}$ влияе с почти същата сила върху стойността на ЦФ, както и изменението на $d_{ДА}$.

Обобщени данни за оптималните работни параметри, при които се получава минимумът на ЦФ, са представени в табл. 1.

Таблица 1. Оптимални работни параметри за разглежданите варианти и подварианти

DN	L _M	Напорно от НС/СН				От канал на НС/СН				Собствен водоизточник			
		ПА-ЕД		ПА-ДД		ПА-ЕД		ПА-ДД		ПА-ЕД		ПА-ДД	
		d _{ДА}	H _{ДА}	d _{ДА}	H _{ДА}	d _{ДА}	H _{ДА}	d _{ДА}	H _{ДА}	d _{ДА}	H _{ДА}	d _{ДА}	H _{ДА}
mm	m	mm	m	mm	m	mm	m	mm	m	mm	m	mm	m
110	200	30	55	30	51*	30	55	30	51*	30	60	30	51*
	400	30	55*	28	48*	30	55	30	51*	30	55	30	60*
	600	30	55	30	55*	30	60	30	55	30	55	30	55
125	200	34	58*	32	55*	34	60*	34	60*	34	60*	32	55
	400	32	55*	32	55*	32	60*	32	55*	32	55*	32	55*
	600	34	60	34	58*	34	60*	34	58*	34	60	34	60*

* **Забележка:** Минимум на функцията при съблюдаване на условието за едрина на дъжда. В изследвания диапазон минимумът е при по-ниски напори.

От данните в таблица 1 се вижда, че в 83% от случаите на помпа с дизелов двигател (ПА-ДД) минимумът на ЦФ се получава при напор, за който едрината на дъжда е под допустимите граници.

Въз основа на получените резултати е направено обобщение за диапазона на оптималните работни параметри при различните модификации на лентови машини, без значение от дължината на гъвкавия тръбопровод, което е представено в табл. 2.

Таблица 2. Оптимални работни параметри за лентови машини с DN 110 и DN 125

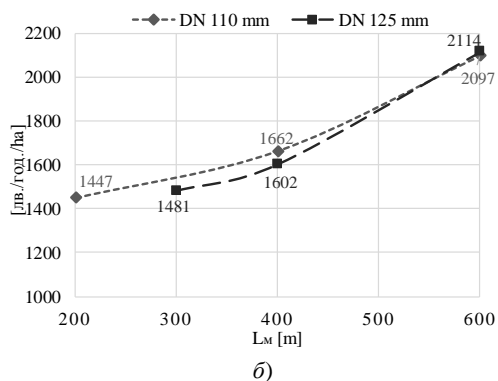
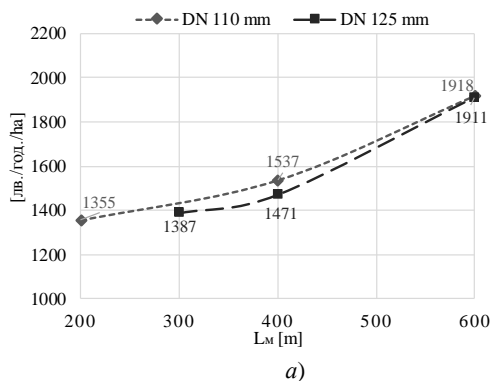
DN	Енергоносител	Opt d _{ДА}	Opt H _{ДА}
mm	–	mm	m
110	ПА-ЕД	30	55 ÷ 60
	ПА-ДД	30	51 ÷ 55
125	ПА-ЕД	34	58 ÷ 60
	ПА-ДД	32	55
		34	58 ÷ 60

Може да се добави, че при DN 125 mm и L_M = 400 m оптимални са d_{ДА} = 32 mm и H_{ДА} = 55 m без значение от енергоносителя за задвижване на помпата.

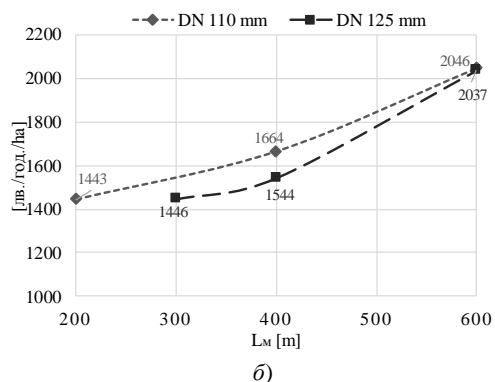
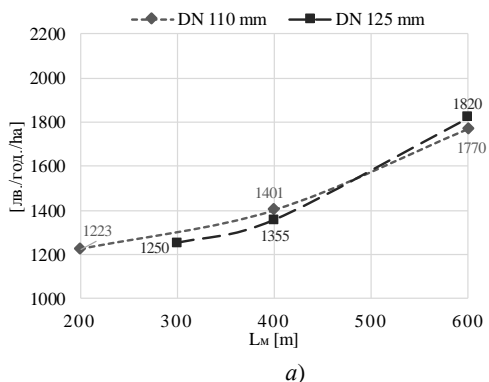
3.2. Оптимални дължини на тръбопровода

Сравнението между трите графики на фиг. 1 показва, че най-ниски стойности на приведените годишни разходи (1058 лв./год./ha) са при модификацията с L_M = 200 m. Това е видно и от фиг. 4а. Обобщението за всички изследвани варианти и подварианти е представено на фиг. 2, фиг. 3 и фиг. 4.

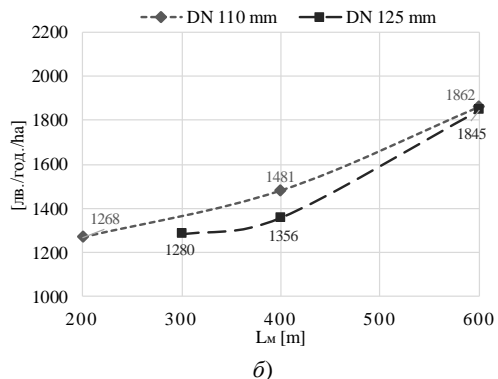
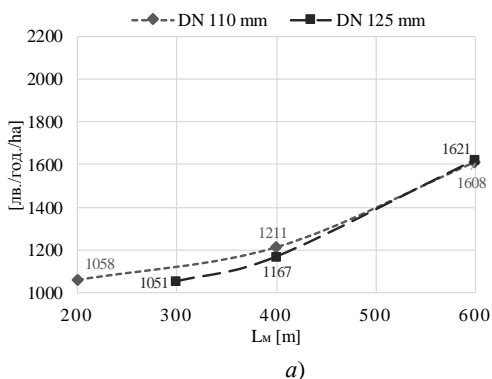
От представените обобщителни графики е видно, че за всички изследвани модификации минимумът на ЦФ е при най-късите маркучи – при L_M = 200 m за машина с DN 110 mm и при L_M = 300 m за машина с DN 125 mm. Стойностите на минимумите на ЦФ са практически еднакви за двете модификации при сравнимите подварианти на енергоизточник за помпата.



Фиг. 2. Приведени годишни разходи на хектар при захранване от напорна мрежа на НС/СН за:
а) помпа с електродвигател; б) помпа с дизелов двигател



Фиг. 3. Приведени годишни разходи на хектар при захранване от канал на НС/СН за:
а) помпа с електродвигател; б) помпа с дизелов двигател



Фиг. 4. Приведени годишни разходи на хектар при захранване от собствен водоизточник за:
а) помпа с електродвигател; б) помпа с дизелов двигател

При приетите предпоставки най-евтин е вариантът с използване на собствен водоизточник, следван от този с използване на вода от канал на НС/СН, а най-скъп – при захранване на машината от напорна мрежа. До голяма степен това се обяснява от факта, че при сегашното състояние на тръбната инфраструктура в напоителните системи у нас, създаването на напор, по-голям от 40 m, е съпроводено с аварии, което налага допълнително нагнетяване с отделна помпа, собственост на земеделските стопани, т.е. освен скъпа вода е нужно да се правят допълнителни инвестиции за помпено оборудване.

Прави впечатление, че при $L_M = 400$ m при всички варианти модификацията с $DN 110$ mm има по-високи приведени годишни разходи на хектар от машината с $DN 125$. Въпреки че не е изследвана модификация с $DN 110$ mm и $L_M = 300$ m, получените зависимости показват, че и при нея стойностите на ЦФ ще са по-високи от тези при машина с $DN 125$ mm и $L_M = 300$ m.

3.3. Съотношение на разходите

Сравнението между относителните дялове на отделните съставляващи на приведените годишни разходи на хектар за двата най-добри варианта (фиг. 4а) е направено в табл. 3.

Таблица 3. Общи и относителни разходи за варианта със собствен водоизточник и помпа с електродвигател

Приведени годишни разходи за	Модел			
	<i>DN110/L200</i>		<i>DN125/L300</i>	
	лв./год./ha	%	лв./год./ha	%
Машина	351	33%	384	36%
Разпределителна мрежа	70	6%	59	6%
Тръби и арматури помпен възел	44	4%	43	4%
Помпа и електродвигател	232	22%	211	20%
Изграждане на водоизточник	31	3%	24	2%
Ресурс вода	20	2%	20	2%
Създаване на напор (ел. енергия)	219	21%	219	21%
Други	91	9%	91	9%
ОБЩО	1058	100%	1051	100%

От табл. 3 е видно, че най-голям дял имат приведените годишни разходи (инвестиции и експлоатационни) за машината – между 33% и 36%, следвани от тези за помпата (между 22% и 20%) и за създаване на напор (21%). Следва да се отбележи, че ако разходите за групата за осигуряване на необходимия напор се обединят, техният общ дял ще бъде 47% при машина с $DN 110$ и 45% при машина с $DN 125$ mm. Това означава, че ако напорът се създава по естествен път, може да се спестят почти половината разходи на земеделския стопанин. В разглеждания случай изграждането на водоизточник и осигуряването на ресурса вода съставляват $4 \div 5\%$ от общите разходи, което е сравнително малък дял.

Следва да се направят няколко бележки към използвания метод на изследване. Привеждането на разходите към единица площ е извършено с отчитане на производителността на една машина, при продължителност на поливката от 16 часа на ден и максимално уплътняване на времето за поливане. Предимството на този метод е, че не се влияе от големината на имота и се използва максималната производителност на машината. В случай, че времето за поливане не се използва рационално или е по-кратко от приетото, приведените разходи на хектар ще нараснат. Основният недостатък на приетия метод е, че при големи имоти и наличие на 2, 3 или повече едновременно работещи машини се постига „икономия от мащаба“, която се изразява в намаляването на приведените годишни разходи за тръбната мрежа в имота и помпеното оборудване със съпътстващите го тръби и арматури. Както се вижда от таблица 3, това съставлява почти половината от общите разходи. От друга страна, в този случай разходите за труд и ГСМ за трактора, участващ в поливането, ще нараснат, но предвид сравнително малкия им дял (9%) във формирането на приведените годишни разходи, общата тенденция към намаляването им ще се запази. Същевременно трябва да се има предвид, че много често в по-големите имоти трудно се постига потенциалната производителност на всички машини, в резултат на което обслужваната площ средно от една машина ще намалява, т.е. годишните разходи ще растат. Дори и да се получи оптимално използване на производителността на машината, то ще бъде при значения на $d_{ДА}$ и $H_{ДА}$, за които стойността на ЦФ е по-висока от оптималната.

Комбинираното въздействие на описаните фактори върху приведените годишни разходи на хектар зависи от всеки конкретен случай. По тази причина получените резултати трябва да се приемат като ориентировъчни по отношение на стойността на ЦФ.

4. Изводи

От направените изследвания и сравнителен анализ се установи:

За всички варианти на водоизточник и енергоизточник за помпата минимумът на целевата функция „приведени годишни разходи на хектар“ и при двата диаметъра на гъвкавите тръбопроводи се получава при най-малките изследвани дължини. За машина с $DN\ 110\ mm$ това е $L_M = 200\ m$, а за машина с $DN\ 125\ mm$ – $L_M = 300\ m$. Това ясно показва, че предлаганите от търговските фирми решения с възможно най-дълги маркучи на машините са неефективни за нашите условия.

Лентовите машини с $DN\ 125\ mm$ са по-рентабилни от машините с $DN\ 110\ mm$ при дължина на тръбопровода 300 и 400 m. При дължина на тръбопровода от 600 m разликата в стойностите на ЦФ при двата диаметъра е незначителна.

За даден вариант на водоизточник и енергоизточник за помпата стойностите на ЦФ за оптималните решения при двете модификации са практически еднакви.

Най-ниски стойности на оптимумите на ЦФ се получават при захранване на машината от собствен водоизточник с електрическа помпа ($1050 \div 1060$ лв/год./ha). Най-скъпите варианти са при създаване на напор с помпа с дизелов двигател при водоизточник с напорна мрежа на НС/СН и при водоснабдяване от открит канал на НС/СН. Минимумите на ЦФ за тези случаи са с практически еднакви стойности (средно около 1450 лв/год./ha). Съответно най-високите стойности на ЦФ са отново за тези варианти на водоизточник и енергоизточник на помпата, при $L_M = 600\ m$, като приведените годишни разходи на хектар варират от 2040 до 2110 лв/год./ha (средно с 43% повече от съпоставимите варианти и с 97% по-големи от оптималния).

Оптималните работни параметри на машините при избраната ЦФ се получават при най-големите предлагани дюзи на дъждовалните апарати и са съответно:

- за машина с $DN\ 110\ \text{mm}$ – $d_{\text{ДА}} = 30\ \text{mm}$ и $H_{\text{ДА}} = 55 \div 60\ \text{m}$ (при помпа с ел. двигател) и $H_{\text{ДА}} = 51 \div 55\ \text{m}$ (при помпа с дизелов двигател);
- за машина с $DN\ 125\ \text{mm}$ – $d_{\text{ДА}} = 34\ \text{mm}$ и $H_{\text{ДА}} = 58 \div 60\ \text{m}$ (без значение от типа двигател на помпата) и $d_{\text{ДА}} = 32\ \text{mm}$ и $H_{\text{ДА}} = 55\ \text{m}$ (основно при помпа с дизелов двигател и за всички варианти с $L_{\text{М}} = 400\ \text{m}$).

За оптималния вариант – захранване от собствен водоизточник с ел. помпа и минимални дължини на маркучите на машината – преките енергийни разходи варират от 20% до 22% от общите, което е значителен дял. При отчитане и на косвените разходи за създаване на напор (за помпа, двигател, тръби и арматури) делът на енергийно зависимите разходи се повишава до $45 \div 47\%$ в сравнение с общите. Това е ясен индикатор за голямото влияние на енергийните разходи, който обаче рядко се отчита от дистрибуторите на лентови машини.

В заключение следва да се подчертае, че макар и ориентировъчни, получените резултати недвусмислено показват несъстоятелността на две тенденции, наблюдавани на пазара на поливна техника – да се избират машини с големи дължини на гъвкавите тръбопроводи и да не се вземат под внимание разходите за създаване на напор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Програма за развитие на селските райони 2014 – 2020 г., официално одобрена от ЕК на 26.05.2015 г. <http://www.dfz.bg/bg/prsr-2014-2020/prsr--2014-2020/>.
2. *Burt, C. et al.* Selection of Irrigation Methods for Agriculture. ASCE, Reston, Virginia, USA, 2000.
3. *Keller, J., Bliesner, R. D.* Sprinkler and Trickle Irrigation. Van Nostrand Reinhold Publishing, New York, 1990, pp 427-582.
4. Ръководство за проектиране на полустационарни дъждовални полета. Библиотека на проектанта, бр. 54, КИПП „Водпроект“, София, 1987.
5. NB, NBE, NK, NKE Single-stage end-suction pumps according to EN 733, 50 Hz. Grundfos Data Booklet (каталог), наличен на: <http://net.grundfos.com/Apl/ccmsservices/public/literature/filedata/Grundfosliterature-145819.pdf>.
6. Monobloc and Norm Pumps, Axially Split case Pumps. Wilo Catalogue A3 - 50Hz - 2009. http://www.wilo.co.uk/fileadmin/uk/Downloads/Split_Case_and_Norm.pdf.
7. Etanorm, Etanorm SYT, Etabloc, Etabloc SYT, Etanorm-R, Etanorm-RSY Characteristic Curves Booklet. KSB Aktiengesellschaft, каталог наличен на: http://www.proidea.hu/ksb-szivattyu-es-armatura-218216/etabloc-blokkszivattyu-353830/a_23_d_19_1403188481546_ksb_etabloc_jelleggorbe_50hz.pdf.
8. Временни методични указания за определяне на икономическата ефективност от инвестиционните проекти в ХМС и извеждане на технико икономически показатели. Библиотека на проектанта, бр. 62, ДФ „Водпроект“, София, 1991.
9. Норми за проектиране на хидромелиоративни системи. Библиотека на проектанта, бр. 64, ДФ „Водпроект“, София, 1991.

OPTIMAL HOSE LENGTH DETERMINATION FOR SOME SIZES OF HOSE-REEL IRRIGATION MACHINES

T. Tashev¹, P. Filkov²

Keywords: irrigation, irrigation systems, hose-reel machines, travelling gun sprinklers, optimal operating parameters, energy cost, economic analysis

ABSTRACT

The research was made for hose-reel machines with hose diameter of DN 110 mm and lengths between 200 and 600 m, as well as for machines with hose diameter of DN 125 mm and lengths between 300 and 600 m. The total annualized costs per hectare for the on-farm system are used as an objective function for the optimal length determination. The costs for hose-reels, for feeding pipelines, for pumping units and appurtenant valves, as well as water, energy and labor costs are included in the objective function. Three variants of water delivery to the on-farm system are examined: (i) direct supply from an irrigation hydrant of a pressurized distribution network; (ii) supply from irrigation system distribution canal and additional pressurization by a pump unit and; (iii) pumped delivery from farmer's water source. The study was done for an irrigation requirement of $M = 1200 \text{ m}^3/\text{ha}$ in each of the variants of water delivery, for several combinations of nozzle diameters and operating pressures of the hose-reels. It was determined that for the two examined hose diameters the optimum of the objective function is found at the shortest hose lengths available.

¹ Todor Tashev, PhD student Eng., Dept. "Mechanization, Irrigation and Drainage", ISSAPP "N. Pushkarov", 7 Shosse Bankya St., Sofia 1331, e-mail: todor_pt@yahoo.com

² Petar Filkov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Hydraulic, Irrigation and Drainage Engineering", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: pifilkov@yahoo.com