РАЦИОНАЛЬНОЕ СНИЖЕНИЕ МЕТАЛЛОЕМКОСТИ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ ШИРОКОЗАХВАТНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН

АБДРАЗАКОВ Фярид Кинжаевич, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ЖУРАВЛЕВА Лариса Анатольевна, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

СОЛОВЬЕВ Владимир Александрович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

Одним из критериев оценки качества различных типов конструкций дождевальных машин является конструктивный коэффициент массы. Чем он меньше, тем совершеннее конструкция. Конструктивный коэффициент массы у машин с переменным диаметров водопроводящего трубопровода значительно ниже, чем у машин с постоянным диаметром. У дождевальных машин с жесткой фермой типа «Кубань» он ниже, чем у машин с вантовой подвеской, типа «Фрегат». Для оценки качества фермы был введен коэффициент металлоемкости, равный отношению общего периметра угольников на пролете к длине пролета. Проведенные исследования позволяют выделить в качестве основных направлений снижения металлоемкости широкозахватных дождевальных машин следующие: увеличение длины пролетов между опорными тележками, уменьшение массы водопроводящего трубопровода за счет оптимизации ферменного пояса, применение трубопровода с переменным диаметром труб по длине машины. Сделан вывод, что снижение металлоемкости конструкций широкозахватных дождевальных машин является одним из путей экономии материальных ресурсов и снижения их стоимости.

Введение. Одним из критериев оценки качества различных типов конструкций дождевальных машин является конструктивный коэффициент массы: чем он меньше, тем совершеннее конструкция. Конструктивный коэффициент массы у машин с переменным диаметров водопроводящего трубопровода значительно ниже, чем у машин с постоянным диаметром. У дождевальных машин с жесткой фермой типа «Кубань» он ниже, чем у машин с вантовой подвеской, типа «Фрегат».

Цель исследований – определение качественных показателей, характеризующих металлоемкость конструкции дождевальных машин и путей ее снижения.

Методика исследований. Рассмотрим металлоемкость дождевальных машин, т/га, как отношение массы машины к площади полива:

$$M = \sum m / S, \quad (1)$$

где $\sum m$ – масса машины, т; S – площадь полива, га.

Общая масса дождевальной машины складывается из составляющих масс: основной опоры $m_{оп}$, масс опорных тележек m_T , масс участков водопроводящего трубопровода между опорными тележками сфермой и системой крепления (шпренгельной системой) m_{BT} и массы консоли (при наличии) m_K

$$\sum m = m_{оп} + n m_T + m_{BT} + m_K, \quad (2)$$

где n – количество тележек, ед.

Количество тележек можно выразить следующим образом:

$$n = \frac{R - l_2}{l}, \quad (3)$$

где R – длина машины, или радиус полива, м; l_2 – длина консоли, м; l – расстояние между пролетами, м.

Массу водопроводящего трубопровода с системой крепления можно выразить как

$$m_{BT} = m_{1BT} R, \quad (4)$$

где m_{1BT} – масса 1 м водопроводящего трубопровода со средней массой приходящихся на него систем шпренгелей и креплений;

$$\sum m = m_{оп} + \left(\frac{R - l_2}{l}\right) m_T + m_{1BT} R + m_K. \quad (5)$$

Возможными путями снижения металлоемкости машины являются увеличение пролетов между тележками (уменьшение количество тележек) и снижение массы водопроводящего трубопровода за счет оптимизации фермы и применения трубопровода с переменным диаметром труб по длине машины.

Рассмотрим водопроводящий трубопровод машины, его диаметр, соотношение длин пролетов и ее общую длину для ДМ типа «Фрегат» и «Кубань».

ДМ «Фрегат» изготавливается в двух исполнениях: «Фрегат-1» – машины марки ДМУ-А и «Фрегат-2» – машины марки ДМУ-Б.

ДМУ-А – машины, водопроводящий трубопровод которых состоит из труб диаметром 152,4 мм. Для работы на полях с повышенными местными уклонами на трубопроводе этих машин могут быть установлены гибкие вставки; ДМУ-Б – машины, водопроводящий трубопровод которых состоит из труб диаметром 177,8 и 152,4 мм. Гибкие вставки на трубопроводе не устанавливаются [3].

Для ДМ с максимальной длиной диаметр труб по длине машины изменяется от основной опоры как 203 мм, 168 мм и консоль 152,4 и 102 мм соответственно.

Результаты исследований. Анализ технических характеристик конструкций, представленный в табл. 1, свидетельствует о том, что металлоемкость ДМ типа «Кубань-ЛК1», значительно выше ДМ типа «Фрегат» и требует детального анализа и оптимизации параметров.

С увеличением площади полива (рис. 1, 2), охватываемой одной дождевальными машиной, металлоемкость снижается, поскольку значительная масса приходится на основную опору, присутствующую в любой машине независимо от длины, а соответственно площади захвата.

Также хорошо заметно (особенно на примере

ДМ «Кубань-ЛК1М») снижение металлоемкости при увеличении длины пролетов с 48,7 до 59,5 м.

Определим критерий, по которому возможно будет оценить и сравнить совершенство различных типов конструкции и модификации между собой.

Установим конструктивный коэффициент массы машин K [1], т.е. отношение общей массы к массе водопроводящего пояса. В табл. 2 приведены данные коэффициента для различных типов машин. Конструктивный коэффициент массы имеет незначительные колебания между модификациями, составляющий для ДМ «Фрегат» от 4,13 до 4,62 и для ДМ типа «Кубань» 3,17 до 3,97. Поэтому для каждого типа машин можно принять их средние значения. Также анализ показывает следующее:

1. Конструктивный коэффициент массы у машин с переменным диаметром водопроводящего трубопровода при прочих равных условиях («Фрегат-ДМ», «Фрегат-ДМУБ») значительно ниже, чем у машин с постоянным диаметром трубопровода («Фрегат-ДМУА»).

2. Конструктивный коэффициент у машин

Таблица 1

Металлоемкость машин кругового действия

«Фрегат-ДМ»				«Фрегат-ДМУ-А»				«Фрегат-ДМУ-Б»			
Модификация	Масса машины, т	Площадь полива, га	Металлоемкость, т/га	Модификация	Масса машины, т	Площадь полива, га	Металлоемкость	Модификация	Масса машины, т	Площадь полива, га	Металлоемкость
454	15,0	64,7	0,23	199	6,5	12,43	0,52	349	12,20	38,2	0,34
424	14,1	56,4	0,25	299	7,4	28,07	0,26	409	13,20	52,52	0,25
394	13,2	48,7	0,27	253	8,2	20,09	0,1	434	14,00	59,14	0,23
365	12,3	41,8	0,29	293	9,2	26,95	0,34	463	15,00	67,31	0,22
335	11,4	35,2	0,32	308	10,0	29,78	0,33	488	15,80	74,77	0,21
				337	10,3	35,66	0,29	518	16,80	84,25	0,20
				362	11,7	41,14	0,28	542	17,60	92,58	0,19
				392	12,6	48,25	0,26	572	18,60	102,7	0,18
				417	13,4	54,60	0,245				
«Кубань-ЛК1»				«Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)				МДЭК «КАСКАД»			
Модификация	Масса машины, т	Площадь полива, га	Металлоемкость, т/га	Модификация	Масса машины, т	Площадь полива, га	Металлоемкость	Модификация	Масса машины, т	Площадь полива, га	Металлоемкость
212	9,0	14,1	0,64	146	4,4	6,69	0,66	130	3,92	5,30	0,73
251	10,9	19,7	0,55	205	6,2	13,19	0,47	195	5,88	11,93	0,49
300	12,8	28,2	0,45	265	8,0	22,05	0,36	260	7,84	21,22	0,37
358	14,6	40,2	0,36	324	9,8	32,96	0,29	326	9,83	33,37	0,29
397	15,5	49,4	0,32	384	11,6	46,30	0,25	391	11,79	48,00	0,24
435	18,4	59,4	0,31	443	13,4	61,62	0,21	456	13,75	65,29	0,21
474	20,3	70,5	0,28	497	15,1	77,56	0,20	521	15,71	85,23	0,18
512	22,2	82,3	0,27	503	15,2	79,44	0,19				
551	24,1	95,3	0,25	562	17,0	99,17	0,17				
589	25,9	108,9	0,23

Рис. 1. Зависимость металлоемкости от площади полива: 1 – «Фрегат-ДМУ-Б»; 2 – «Фрегат-ДМ»; 3 – «Фрегат-ДМУ-А»

Рис. 2. Зависимость металлоемкости от площади полива: 1 – «Кубань-ЛК1»; 2 – «Кубань-ЛК1М» (пролет длиной 48,7 м); 3 – «Кубань-ЛК1М» (пролет длиной 59,5 м); 4 – ДМ «КАСКАД» (пролет длиной 65,2 м)

с жесткой фермой («Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М») несколько ниже, чем у машин с вантовой подвеской фермы «Фрегат».

3. Общая масса ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и МДЭК КАСКАД с системой пролетов 59,5 и 65,2 снижена по сравнению с ДМ «Кубань-ЛК1» за счет конструктивного исполнения шпренгельной системы подвески и креплений, а также диаметра и толщины трубопровода.

4. Увеличение пролетов с 48,7 до 59,5 и 65,25 м, а соответственно уменьшение количества опорных тележек также способствует снижению общей массы машины и, следовательно, стоимости машины в целом, что особенно видно на примере ДМ «Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» и «КАСКАД» (рис. 3).

Необходимо также отметить, что длина пролетов ограничивается следующими факторами: прочностью системы, массой, оказывающей влияние на глубину колеи и условиями эксплуатации, т.е. рельефом, характеристиками почв. Максимально возможными на сегодняшний день являются пролеты длиной 65,2 м на дождевальной машине «КАСКАД», производимой совместно СГАУ имени Н.И. Вавилова и ООО «Мелио-

ративные машины», г. Саратов [2].

Рассмотрим снижение металлоемкости ферменной конструкции водопроводящего пояса ДМ. В результате прочностного расчета были получены сечения элементов ферм, их массы и всей фермы.

Масса фермы зависит от типа поперечного сечения, числа и размеров элементов (угольников).

В настоящее время для ДМ типа «Кубань» используются два типа ферм. Ферма типа 1, применяемая на ДМ «Кубань-ЛК1» и «Кубань-ЛК1М» с пролетами 48,7 м в поперечном сечении, имеет равносторонний треугольник с разными длинами стоек и раскосов (рис. 4).

Ферма типа 2 (усовершенствованный вариант) установлена на «Кубань-ЛК1М» с пролетами 59,5 м и ДМ «КАСКАД» с пролетами 65,2 м в поперечном сечении также представляет собой равносторонний треугольник с равновеликими тягами и раскосами и креплением в одной точке (рис. 5).

Введем показатель, характеризующий совершенство системы ферменного пояса, как коэффициент металлоемкости фермы, т.е. отношение общего периметра угольников на пролет к длине пролета:

$$K_{\text{ФП}} = \frac{\sum P}{L_{\text{П}}}, \quad (6)$$

где $\sum P$ – общий периметр угольников на пролет, м; $L_{\text{П}}$ – длина пролета, м.

Общий периметр угольников на пролет $\sum P$ определяется для «Кубань-ЛК1» и «Кубань-ЛК1М» с пролетом 48,7 м следующим образом:

$$\sum P = P_2 + 2P_5 + 2P_6 + P_8 = 58,79 \text{ м},$$

где P_2, P_5, P_6, P_8 – периметры соответственно угольников 2, 5, 6, 8.

$$K_{\text{ФП}} = \frac{58,79}{48,7} = 1,2.$$

ДМ «Кубань-ЛК1М» (пролет 59,5 м):

$$\sum P = 2P_1 + 2P_2 + 2P_3 + P_4 = 62,24 \text{ м},$$

где P_1, P_2, P_3, P_4 – периметры соответственно угольников 1, 2, 3, 4.

ДМ «КАСКАД» (пролет 65,2 м):

$$\sum P = 2P_1 + 2P_2 + 2P_3 + 2P_4 = 67,72 \text{ м},$$

где P_1, P_2, P_3, P_4 – периметры соответственно угольников 1, 2, 3, 4.

Таким образом, для ДМ «Кубань-ЛК1» с пролетом 59,5 м и ДМ «КАСКАД» с длиной пролетов 65,2 и 65,2 м $K_{\text{ФП}} = 1,04$. Результаты расчетов сведены в табл. 3.

Заключение. Оптимизация конструкции ферменного пояса позволяет при незначительном увеличении массы фермы на 5–15 % увеличить длину пролета на 22–34 %, а значит, настолько же увеличится площадь орошаемых культур и их урожайность.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что основными направлениями снижения

Конструктивный коэффициент массы машин кругового действия

«Фрегат-ДМ»				«Фрегат-ДМУ А»				«Фрегат-ДМУ Б»			
Модификация	Масса, кг		Конструктивный коэффициент	Модификация	Масса, кг		Конструктивный коэффициент	Модификация	Масса, кг		Конструктивный коэффициент
	машин	водопроводящего пояса			машин	водопроводящего пояса			машин	водопроводящего пояса	
454	15000	3628	4,13	199	6500	1406	4,62	349	12200	2903	4,20
424	14100	3393	4,15	299	7400	1641	4,51	409	13200	3147	4,19
394	13200	3158	4,18	253	8200	1790	4,58	434	14000	3350	4,18
365	12300	2922	4,21	293	9200	2025	4,54	463	15000	3594	4,17
335	11400	2687	4,24	308	10000	2173	4,60	488	15800	3798	4,16
				337	10300	2403	4,52	518	16800	4042	4,15
				362	11700	2557	4,57	542	17600	4245	4,17
				392	12600	2792	4,51	572	18600	4489	4,14
				417	13400	2941	4,55				
K_{cp}			4,18				4,55				4,17
МДЭК «Кубань-ЛК1»				МДЭК «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)				МДЭК «КАСКАД»			
Модификация	Масса, кг		Конструктивный коэффициент	Модификация	Масса, кг		Конструктивный коэффициент	Модификация	Масса		
	машин	водопроводящего пояса			машин	водопроводящего пояса			машин	водопроводящего пояса	Конструктивный коэффициент
212	9045	2273	3,98	12-146,2*	4456	1169	3,81	130**	3922	1025	3,82
251	10929	2800	3,90	15-205,7*	6266	1666	3,76	195**	5884	1570	3,74
300	12815	3326	3,85	20-265,2*	8077	2171	3,72	260**	7845	2357	3,32
358	14695	3852	3,85	27-324,7*	9879	2699	3,66	326**	9832	3005	3,27
397	10572	4350	3,81	24-384*	11688	3228	3,62	391**	11790	3627	3,25
435	18458	4859	3,79	45-443,7*	13477	3785	3,56	456**	13750	4263	3,22
474	20338	5356	3,79	58-503,2*	15259	4347	3,51	521**	15711	4951	3,17
512	22215	5897	3,78	68-562,7*	17052	4928	3,46				
551	24091	6371	3,78	497-90*	15117	4282	3,53				
589	25983	6874	3,78								
K_{cp}			3,83				3,62				3,42

*Консоль 27,2 м; длина пролета 59,5; **длина пролета 65,25 м.

Рис. 3. Зависимость массы машины «Кубань» от длины: 1 — «Кубань-ЛК1» (пролет 48,7 м); 2 — МДЭК «Кубань-ЛК1М» «КАСКАД» (пролет 48,7 м); 3 — «Кубань-ЛК1М» (пролет 59,5 м); 4 — ДМ «КАСКАД» (пролет 65,2 м)

Рис. 4. «Кубань-ЛК1М» (пролет 48,7 м)

Характеристики ферменной конструкции ДМ типа «Кубань»

Показатель	Тип ДМ			
	«Кубань-ЛК»	«Кубань-ЛК1М»	«Кубань-ЛК1М»	«КАСКАД»
Масса шпренгельной системы на пролет, кг	221,05	221,05	234,06	254,62
Периметр шпренгельной системы на пролет, м	58,79	58,79	62,24	67,72
Длина пролета, м	48,7	48,7	59,5	65,2
Коэффициент металлоемкости фермы	1,2	1,2	1,04	1,04
Доля увеличения длины пролета, %	0	0	22,1	33,8

Рис. 5. «Кубань-ЛК1М» и «КАСКАД» (пролет 59,5 м) металлоемкости широкозахватных дождевальных машин являются увеличение длины пролетов между опорными тележками, уменьшение массы водопроводящего трубопровода за счет оптимизации ферменного пояса, шпренгельных систем и применение трубопроводов с переменным диаметром труб по всей длине машины. В результате проведенных мероприятий без боль-

ших энергозатрат, можно увеличить площадь орошаемых земель, а, значит, и их урожайность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губер К. В. Ресурсосберегающие технологии и конструкции оросительных систем при дождевании: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2000. – 48 с.
2. Журавлева Л.А., Попов А.С. «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)-Российская дождевальная машина нового поколения // Исследование в строительстве, теплогазоснабжении: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2016. – С. 123–130.
3. Многоопорные дождевальные машины / С.Х. Гусейн-заде [и др.]. – М.: Колос, 1984. – 191 с.

Абдразаков Фярид Кинжаевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Журавлева Лариса Анатольевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Соловьев Владимир Александрович, аспирант кафедры «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

410056, г. Саратов, ул. Советская, 60.

Тел.: (8452) 74-96-29.

Ключевые слова: дождевальная машина; масса; металлоемкость; ферма; трубопровод; коэффициент; пролет.

RATIONAL REDUCTION OF METAL COMPLEXITY IN THE DESIGN OF WIDE CUT SPRINKLERS

Abdrzakov Fyarrid Kinzhaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the chair "Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Zhuravleva Larisa Anatolievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Technosphere Safety and Transport-Technological Machines", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Solovyov Vladimir Alexandrovich, Post-graduate Student of the chair "Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Keywords: sprinkler; mass; metal consumption; farm; pipeline; coefficient; span.

One of the criteria for assessing the quality of different

types of designs of irrigation machine is a constructive coefficient mass. The smaller it is the better construction. The constructive mass coefficient of the machines with varying diameters pipeline is much lower than those machines with a constant diameter. The constructive mass coefficient of sprinklers with hard farm («Kuban») is lower than in machines with the cable suspension («Frigate»). To assess the quality of the farm was introduced the coefficient of metal equal to the ratio of the total perimeter of the angle on the span to the length of the span. The conducted research allows highlighting the main directions of reducing metal consumption of wide cut sprinkling machines: increasing the span length between the supporting trucks, reducing the weight of the water bearing pipeline through the optimization of farm, and application of the pipeline with variable pipe diameter along the length of the machine.