DOI УДК 631.3.076

# АНАЛИЗ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ДОЖДЕВАЛЬНУЮ МАШИНУ

**БАКИРОВ Сергей Мударисович,** *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

***В статье рассматривается проблема энергообеспечения полива. Выявлены затраты энергии в двух составляющих вариантах дождевальной машины кругового действия. Сравниваются два традиционных способа доставки воды на поливной участок – с помощью трубопровода и водовоза. Для каждого из способов приводятся выражения затрат мощности на доставку воды до поливного участка. На основе выполненного анализа установлено, что затраты энергии на доставку воды по трубопроводу в 2,38...3,48 раза меньше, чем водовозом.***

***Введение.*** Применение дождевальных машин дает существенную прибавку урожая. Вместе с тем, потребляются значительные разнообразные ресурсы: водные, энергетические, трудовые и т.п. Среди них наибольшая доля приходится на энергетические ресурсы. Поэтому ведется поиск способов снижения энергозатрат [2, 5].

Важно оценить возможный минимум электропотребления. Рассмотрим эту проблему на примере дождевальной машины кругового действия (ДМКД). В таких машинах выделяются подводящий и распределительный элементы. В первом из них вода подается из водоема по трубопроводу к центру размещения машины, во втором – распределительный трубопровод с помощью тележек подает воду на поле к растениям.

Рабочий процесс дождевальной машины выполняется при условии создания давления на входе в трубопровод водонапорным насосом, который, как правило, располагается у водоема. Расстояние от водоема до центра ДМ может быть различным, но не меньше захвата ДМ, поскольку она движется по кругу. Тогда, с энергетической точки зрения, водоподача не относится к дождевальной машине. Однако при создании низкого давления на входе в водопроводящий пояс требуется устанавливать дополнительный насос на входе ДМ, иначе при низком давлении (до 1,5 кг/см$^2$) не будут образовываться капли с требуемой кинетической энергией [5–7]. В этом случае потребление энергии дополнительным насосом будет относиться к ДМ.

Основная функция ДМ – доставить требуемое количество воды на каждый участок площадью *S* ее захвата (рис. 1). В этом случае затраты энергии распределяются между составляющими затрат на нагнетание воды в трубопроводе ДМ *W1* и затрат энергии на перемещение этого трубопро-

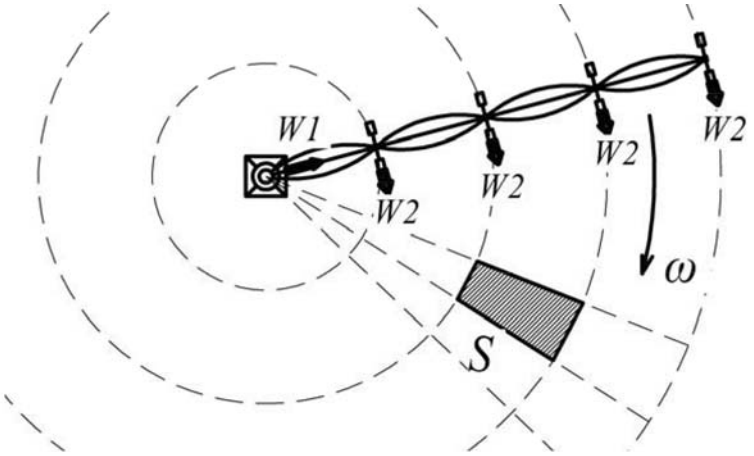


***Рис. 1. Фрагмент рабочего процесса и структура затрат энергии ДМ***

вода с помощью ходовой части опорных тележек *W2*. Данный комбинированный вид энергозатрат объясняется традиционным видом построения дождевальных машин. Анализируя составляющие этих энергозатрат, нетрудно понять, что затраты на доставку воды с помощью тележек будут всегда больше затрат доставки по трубопроводу. Данное положение поднимает интерес поиска разницы затрат энергии по трубопроводу и с помощью тележек.

Поэтому целью данной работы является проведение анализа энергозатрат дождевальной машины путем моделирования доставки воды по трубопроводу и с помощью тележек в отдельности на один и тот же участок поливной площади, а также наглядно рассмотреть эти способы и найти ориентир энергоэффективности дождевальных машин кругового действия.

***Методика исследований.*** Для решения поставленной цели воспользуемся теорией математического анализа, сравнением и анализом полученных результатов.

***Результаты исследований.*** Сравним энергетические затраты двух вариантов доставки воды на участок (рис. 2).

Примем положение, что в обоих вариантах необходимо доставить одинаковое количество воды $m_в$, кг, одинакового состава и плотности ρ, кг/м³, на участок площадью *S*, м². Вместе с этим примем следующее положение, что расходуется один вид энергии – электроэнергия, которая в первом случае (рис. 2, а) потребляется электродвигателем привода колес, в данном случае – водовоза, а во втором случае – электроприводом водонапорного насоса (рис. 2, б). На рис. 2, а указан водовоз, поскольку затраты энергии на электропривод опорных тележек ДМ можно равноценно сравнить с электроприводом любого транспортного средства, например, водовоза.

Принимая во внимание эти положения, определим мощность в обоих вариантах доставки [1, 2]:

$$P_1 = \frac{mg\mu r\omega_{дв}}{i\eta_{пер}}, \qquad (1)$$

где $P_1$ – мощность, потребляемая электродвигателем привода колес водовоза, Вт; *m* – общая масса водовоза с поливной водой, кг; *g* – ускорение свободного падения, *g* = 9,817 м/с²; μ – коэффициент сцепления колес с дорожным покрытием, о.е.; *r* – радиус колес, м; $\omega_{дв}$ – частота вращения электродвигателя, рад/с; *i* – суммарное передаточное число, о.е.; $\eta_{пер}$ – коэффициент полезного действия передачи, о.е.

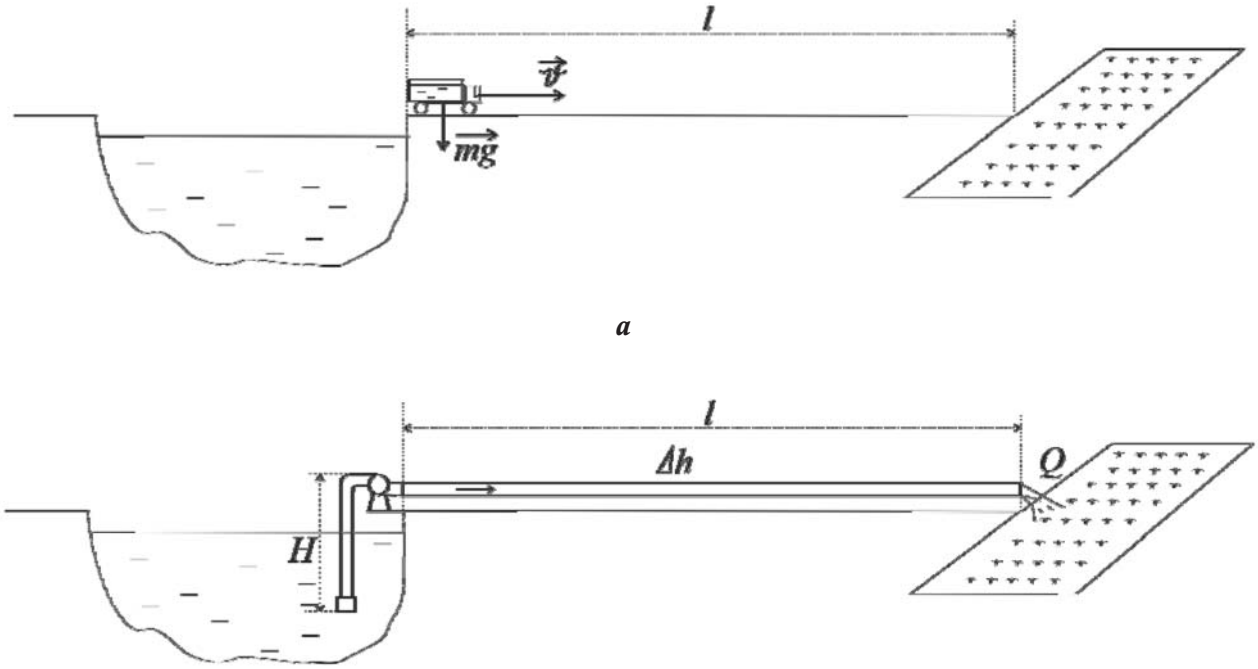


***Рис. 2. Варианты доставки воды на поливной участок: а – с помощью водовоза; б – с помощью трубопровода***

$$P_2 = \frac{k_з \rho g Q_н H}{\eta_н \eta_{пер}}, \qquad (2)$$

где $P_2$ – мощность, потребляемая электродвигателем привода насоса, Вт; $k_з$ – коэффициент запаса по мощности, о.е.; ρ – плотность воды [3] $\rho \approx 1000$ кг/м$^3$; $Q_н$ – производительность насоса (расход), м$^3$/с; $H$ – общий напор, создаваемый насосом, м; $\eta_н$ – коэффициент полезного действия насоса, о.е.

Преобразуя угловую скорость электродвигателя и радиус колес в скорость движения водовоза, выражение (1) примет вид

$$P_1 = a m_в g \mu \upsilon, \qquad (3)$$

где $a$ – коэффициент, учитывающий отношение массы водовоза к массе поливной воды, *о.е.*; υ – скорость движения водовоза как материальной точки, м/с.

Преобразуем выражение (2) для мощности электродвигателя насоса. Напор $H$, м, насоса рассчитаем по выражению из [1]

$$H = H_с + H_в + \Delta h, \qquad (4)$$

где $H_с$ – статистический напор, который является суммой напоров всасывания и нагнетания, м; $H_в$ – напор на выходе трубопровода, м; $\Delta h$ – потери напора, зависящие от типа трубы, длины и диаметра, м.

Тогда мощность электродвигателя насоса:

$$P_2 = \frac{b m_в g}{t}\left(H_0 + \frac{\lambda l \upsilon_в^2}{2dg}\right), \qquad (5)$$

где $b$ – коэффициент преобразованных детерминированных параметров, о.е.; $d$ – диаметр трубопровода, м; $l$ – длина трубопровода, м; $H_0$ – сумма статистического напора и напора на выходе трубопровода, м; λ – коэффициент гидравлических потерь на трения движения воды в трубопроводе, о.е.; υ – скорость движения воды в трубопроводе, м/с.

Зависимость затрат энергии от удаленности поливного участка от водоема показана в таблице.

**Анализ энергозатрат способов доставки воды**

| Способ доставки воды и наименование параметров | Значения показателей | |
|---|---|---|
| | на 1000 м | на 4000 м |
| Водовозом | | |
| Скорость перемещения, м/с | 16,7 | 16,7 |
| Продолжительность доставки 1000 кг воды, с | 59 | 239 |
| Затраты мощности P, кВт, при | | |
| твердом грунте (μ = 0,65) | 141 | 141 |
| мягком грунте (μ = 0,48) | 105 | 105 |
| Затраты энергии W, кВт·ч, при | | |
| твердом грунте (μ = 0,65) | 2,35 | 9,41 |
| мягком грунте (μ = 0,48) | 1,74 | 6,95 |
| Трубопроводом | | |
| Скорость движения воды, м/с | 1,5 | 1,5 |
| Площадь поперечного сечения трубопровода, м$^2$ | 0,019 | 0,019 |
| Продолжительность доставки 1000 кг воды, с | 33 | 33 |
| Затраты мощности P, кВт, при | | |
| пластиковом трубопроводе (λ = 0,024) | 72 | 150 |
| металлическом трубопроводе (λ = 0,033) | 81 | 161 |
| Затраты энергии W, кВт·ч, при | | |
| пластиковом трубопроводе (λ = 0,024) | 0,73 | 2,70 |
| металлическом трубопроводе (λ = 0,033) | 0,82 | 2,95 |

По таблице видно, что наименьшие затраты энергии для доставки воды на поливной участок получаются при использовании пластикового трубопровода, у которого низкое сопротивление трения движению жидкости $\lambda = 0{,}024$. Затраты энергии на доставку воды с помощью водовоза гораздо выше затрат энергии доставки по трубопроводу и отличаются лишь в зависимости от поверхности дорожного покрытия. На мягкой грунтовой дороге затраты в 1,35 раза ниже, чем на твердом грунте.

***Заключение.*** Таким образом, наименьшие удельные затраты энергии составляют порядка 0,73 $\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т} \cdot \text{км}}$ – это ориентир затрат энергии на доставку воды массой $m_в = 1$ т на $l = 1$ км удаленности поливного участка от водоема. Это выполняется с помощью электродвигателя водонапорного насоса с трубопроводом, выполненного из пластиковой трубы, например, марки ПНД, и высотой всасывания и нагнетания $H_0 = 3$ м. При этих же условиях доставки воды для поливного участка с помощью водовоза требуется 2,35 $\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т} \cdot \text{км}}$ электроэнергии при перемещении по твердой грунтовой дороге, что в 3,21 раза выше.

Энергетические затраты на полив значительно зависят от выбранного способа доставки воды на поливной участок. Разработка и совершенствование оросительных систем, в том числе дождевальной техники, ориентированы на наименьшие энергетические затраты, относительный предел которых определяется по наилучшему способу выполнения процесса полива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. *Коломиец А.П., Кондратьева Н.П., Владыкин И.Р.* Электропривод и электрооборудование. – М.: КолосС, 2008. – 328 с.

2. Режимы и параметры электроприводов дождевальной машины кругового действия / Г.П. Ерошенко [и др.] // Jr of Adv Research in Dynamical & Control Systems, 2018, Vol. 10, 10-Special Issue.

3. Руководство по эксплуатации. Техническое описание и инструкции. Машина дождевальная электрифицированная круговая «Кубань – ЛК1М» (каскад) / ООО «Мелиомаш». – Саратов, 2012. – 66 с.

4. *Тирринг* В. Курс математической и теоретической физики / пер. с нем. – Киев: Timpani, 2004. – 264 с.

5. *Фокин Б.П., Носов А.К.* Современные проблемы применения многоопорных дождевальных машин. – Ставрополь, 2011. – 80 с.

6. *Sonrell H.* Zeitgemusse Beregnung Verringerung des Wasser – und Energienaufwandes bei mobilen Beregnung maschinen // Landtechnik. 1991, Vol. 46, No. 5, S. 209–219.

7. *Vepraskas M.* A method to estimate the probability that subsoiling will increase crop yield // Soil Science Society of America Journal, 1988, Vol. 52, No. 3, P. 229–232.



**Бакиров Сергей Мударисович,** *канд. техн. наук, доцент кафедры «Инженерная физика, электрооборудование и электротехнологии», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

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

*Тел.: (8452) 24-94-47.*



***Ключевые слова:*** *энергозатраты; мощность; дождевальная машина; полив; электроэнергия.*


**ANALYSIS OF ENERGY COSTS FOR THE SPRINKLER**


**Bakirov Sergey Mudarisovich,** *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Engineering Physics, Electrical Equipment, and Electrotechnology", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*



***Keywords:*** *energy costs; power; sprinkler; irrigation; electric power.*



***The article considers the problem of energy supply for irrigation. The energy expenditures are revealed in two component variants of the sprinkler of circular action. Two traditional methods of delivering water to an irrigation site are compared - using a pipeline and a water carrier. For each of the methods, expressions of the cost of power for the delivery of water to the irrigation site are given. Based on the analysis, it was found out that the energy cost of delivering water through the pipeline is 2.38 ... 3.48 times less than with a water carrier.***