

8. Makarychev Yu.M., Ryzhov S.Yu. Elektromagnitnye sily v elektricheskikh apparatakh. – Moskva: MEI, 1984. – 88 s.

9. Mityunin, A.A. Razrabotka elektromagnitnogo separatora s postoyannymi magnitami

dlya ochistki semyan maslyachnykh kultur ot metallomagnitnykh primesey (na primere podsolnechnika): diss. na soiskanie uch. stepeni kand. tekhn. nauk. – Chelyabinsk, 2019. – 169 s.



УДК 631.31

С.М. Бакиров, С.В. Шлюпиков  
S.M. Bakirov, S.V. Shlyupikov

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СПОСОБА ПИТАНИЯ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ ОТ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ С ЗАРЯДОМ ОТ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

### THE SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF THE METHOD FOR POWERING THE SPRINKLING MACHINE FROM BATTERIES WITH A CHARGE FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES

**Ключевые слова:** *дождевальная машина, аккумуляторный способ питания, питание от возобновляемых источников энергии, энергетические затраты дождевальной машины, повторность включения дождевальной машины, продолжительность работы дождевальной машины, опорная тележка секции, электропривод опорной тележки, тяговая аккумуляторная батарея, солнечная батарея, ветрогенератор, энергия.*

В последнее время все больше возрастает роль дождевальных машин в системе орошения земель. Одним из главных сдерживающих факторов широкого их распространения является удаленность от централизованной сети электроснабжения. Известно, что при удаленности до 5 км прокладка кабельной или воздушной линии еще может быть экономически целесообразной. Решение проблемы видится в использовании автономных источников питания с зарядом от возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Несмотря на новизну и экономическую целесообразность дождевальные машины с аккумуляторным способом питания не находят практического применения. В первую очередь, это связано с отсутствием исследований взаимосвязи агротехнических условий с параметрами системы питания, а также рекомендаций и инструкции по их эксплуатационной надежности. Для определения возможности использования аккумуляторного способа питания с зарядом от ВИЭ рассмотрена модель дождевальной ма-

шины, состоящей из четырех секций. Учитывая, что каждая опорная тележка дождевальной машины проходит различный путь, то каждая секция должна быть укомплектована необходимым количеством аккумуляторных батарей. Наибольшую продолжительность работы будет иметь последняя опорная тележка, а время ее работы будет зависеть от длины водопроводящего трубопровода своей секции. При этом минимальное количество энергии на перемещение опорной тележки будет зависеть от продолжительности включения и параметров батареи. Это позволило вывести зависимость количества аккумуляторных батарей от количества секций дождевальной машины. Потребляемую энергию аккумуляторных батарей необходимо восполнять для восстановления емкости. С вероятностью  $M(t) = 0,9$  энергия может быть получена от ВИЭ (солнечной, ветровой). Для работы электропривода опорной тележки крайней секции дождевальной машины с повторностью включения, равной 100%, для полного заряда аккумуляторных батарей потребуется 5-7 дней (что по длительности совпадает с технологическими простоями между поливами), а при повторности включения, равной 10%, – 1 день. Это доказывает возможность питания дождевальной машины от аккумуляторных батарей с зарядом от ВИЭ.

**Keywords:** *sprinkling machine, battery-powered supply, powering from renewable energy sources, sprinkling machine energy costs, repeated activation of a*

*sprinkling machine, sprinkling machine operating time, section support trolley, support trolley electric drive, traction battery, solar battery, wind generator, energy.*

Recently, the role of sprinkling machines in the irrigation system of the land has increased. One of the main constraints to their widespread distribution is remoteness from a centralized power supply network. It is known that at a distance of up to 5 km, cable or overhead line installation may still be economically feasible. The solution to the problem is the use of autonomous power sources charged from renewable energy sources (RES). Despite the novelty and economic expediency, battery-powered sprinklers do not find practical application. This is primarily due to the lack of studies on the correlation of agro-technical conditions and the parameters of the power supply system, as well as recommendations and instructions on their operational reliability. In order to determine the possibility of using a battery power supply method with a charge from RES, a model of a sprinkling machine consisting of four sections is considered. Given that each sprinkler support trolley runs a

different path, each section must be equipped with the necessary number of batteries. The last support trolley will be characterized by the longest duration of operation, and its operation time will depend on the length of the water supply pipeline of its section. At the same time the minimum amount of energy for the support trolley movement will depend on the duration of the activation and battery parameters. This made it possible to make the number of batteries dependent on the number of sections of the sprinkling machine. Battery power consumption must be replenished to restore capacity. With a probability of  $M(t) = 0.9$ , energy may be obtained from renewable energy (solar, wind). In case the operation of the electric drive of the support trolley of the extreme section of the sprinkler with a activation frequency equal to 100%, a full charge of batteries will take 5-7 days (which is the same duration as the technological downtime between irrigation), in case the repetition of activation equals to 10% - 1 day. This proves the possibility of powering the sprinkling machine from batteries with a charge from renewable energy sources.

**Бакиров Сергей Мударисович**, к.т.н., доцент, доцент каф. «Инженерная физика, электрооборудование и электротехнологии», Саратовский государственный аграрный университет им. Н.В. Вавилова. Тел.: (8452) 73-57-63. E-mail: s.m.bakirov@mail.ru.

**Шлюпиков Сергей Владимирович**, к.т.н., доцент каф. «Инженерная физика, электрооборудование и электротехнологии», Саратовский государственный аграрный университет им. Н.В. Вавилова. Тел.: (8452) 73-57-63. E-mail: sergey678s64@yandex.ru.

**Bakirov Sergey Mudarisovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Engineering Physics, Electrical Equipment, and Electrotechnology, Saratov State Agricultural University named after N.I. Vavilov. Ph.: (8452) 73-57-63. E-mail: s.m.bakirov@mail.ru.

**Shlyupikov Sergey Vladimirovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Engineering Physics, Electrical Equipment, and Electrotechnology, Saratov State Agricultural University named after N.I. Vavilov. Ph.: (8452) 73-57-63. E-mail: sergey678s64@yandex.ru.

## Введение

Особенностью эксплуатации электрифицированных дождевальных машин является их удаленность от централизованной сети электроснабжения порядка на 1÷20 км (рис. 1). Согласно [1] при удаленности меньше 5 км прокладка кабельной или воздушной линии экономически целесообразна. В других случаях используют автономные источники энергии. Самым распространенным является переносной генератор с двигателем внутреннего сгорания на жидком топливе. Однако при производственной и технической эксплуатации переносных генераторов возникает ряд дополнительных издержек предприятия: затраты на приобретение топлива, периодический контроль и до-

ливка топлива, обслуживание двигателя внутреннего сгорания и т. п. Такое положение привело к рассмотрению новых автономных источников питания.

В настоящее время активно развивается применение аккумуляторного способа питания с зарядом от возобновляемых источников энергии [2-4]. Однако несмотря на новизну и экономическую целесообразность дождевальные машины с аккумуляторным способом питания не находят практического применения. В первую очередь, это связано с отсутствием исследований взаимосвязи агротехнических условий с параметрами системы питания, а также рекомендаций и инструкции по их эксплуатационной надежности.

Поэтому **целью** работы является обоснование параметров способа питания дождевальных машин на аккумуляторных батареях с зарядом от их возобновляемых источников энергии, а также их связи с условиями полива.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд **задач**:

- оценить зависимость требуемого количества аккумуляторных батарей для дождевальных машин;
- обосновать зависимость параметров аккумуляторной батареи с параметрами возобновляемых источников энергии на примере солнечной батареи;
- оценить продолжительность восстановления заряда аккумуляторной батареи.



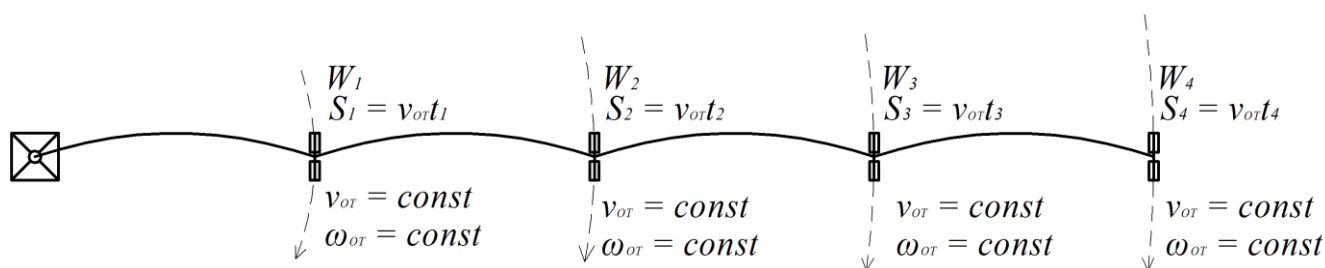
**Рис. 1.** Удаленность дождевальной машины кругового действия от централизованной сети электроснабжения в Марковском районе Саратовской области

В качестве **объекта** исследования примем дождевальную машину (ДМ) кругового действия, состоящую из  $j$  секций. В состав секции входят водопроводящий трубопровод и опорная тележка с электроприводом, прибором синхронизации движения в линию (ПСЛ).

### Результаты исследований

Согласно [5] каждая опорная тележка ДМ проходит различный путь, пропорционально которому требуется обеспечить различную

продолжительность работы электропривода опорных тележек каждой секции и, соответственно, укомплектовать необходимым количеством аккумуляторных батарей. Следует принять тяговую аккумуляторную батарею (ТАБ) [6]. Рассмотрим пропорциональность затрат времени каждой секции при одновременном поливе на рисунке 2, если на каждой опорной тележке установлены электроприводы с электродвигателями одинаковой мощности и частотой оборотов [5].



**Рис. 2. Внешний вид и динамические характеристики выполнения перемещения каждой секции ДМ:**

$W_{1,2,3,4}, S_{1,2,3,4}$  – соответственно, затраты энергии и пройденный путь 1, 2, 3, 4 секциями;  
 $v_{or}$  и  $\omega_{or}$  – линейная и угловая скорости перемещения опорных тележек секций

Рассчитаем продолжительность работы электропривода на примере первой опорной тележки секции ДМ. Продолжительность работы первой опорной тележки секции зависит от длины водопроводящего трубопровода секции  $l_1$ :

$$t_{p1} = \frac{s_1}{v_{or}} = \frac{2\pi l_1}{v_{or}}, \quad (1)$$

где  $v_{or}$  – линейная скорость перемещения, м/с (линейная скорость перемещения зависит от частоты вращения колес и, соответственно, частоты вращения электродвигателя; тогда линейная скорость будет зависеть от продолжительности цикла повторного включения электропривода).

Минимальное количество энергии на перемещение опорной тележки первой секции при  $t \rightarrow \min$  будет определяться через энергию аккумуляторной батареи по выражению [7, 8]:

$$W_1 = P_{\text{дв}T1} t_{p1} = (ПВ\%) \frac{2\pi l_1 P_{\text{дв}T1}}{v_{or}} = (ПВ\%) n_{\text{акб}} E_1 m_{\text{акб}} C_{N1} = W_{1\text{акб}}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{дв}T1}$  – мощность электродвигателя в составе электропривода опорной тележки первой секции, Вт;

$ПВ\%$  – показатель повторного включения цикла, о.е.;

$n_{\text{акб}}$  – количество последовательно соединенных аккумуляторов, шт.;

$m_{\text{акб}}$  – количество параллельно соединенных аккумуляторов, шт.;

$E_1$  – электродвижущая сила (ЭДС) одного аккумулятора, В;

$C_{N1}$  – емкость одного аккумулятора, А\*ч;

$W_{1\text{акб}}$  – энергия аккумуляторной батареи первой секции, Вт\*ч.

Для опорной тележки второй секции, с учетом того, что нагрузка на электропривод одинакова, то есть  $P_{\text{дв}T1} = P_{\text{дв}T2}$ , а длины трубопроводов секций равны  $l_1 = l_2$ , затраты энергии составят

$$W_2 = P_{\text{дв}T1} t_{p2} = (ПВ\%) \frac{2\pi(l_1 + l_2)P_{\text{дв}T1}}{v_{or}} = 2(ПВ\%) n_{\text{акб}} E_1 m_{\text{акб}} C_{N1} = 2W_{1\text{акб}}. \quad (3)$$

Для опорной тележки  $j$ -той секции

$$W_j = P_{\text{дв}T1} t_{pj} = (ПВ\%) \frac{2\pi(l_1 + l_2 + \dots + l_j)P_{\text{дв}T1}}{v_{or}} = j(ПВ\%) n_{\text{акб}} E_1 m_{\text{акб}} C_{N1} = jW_{1\text{акб}}. \quad (4)$$

Общее количество энергии

$$\Sigma W = W_{1\text{акб}} + 2W_{1\text{акб}} + \dots + jW_{1\text{акб}} = P_{\text{дв}T1} t_{pDM} = \left( \frac{j(j+1)}{2} \right) W_{1\text{акб}}, \quad (5)$$

где  $t_{pDM}$  – продолжительность одного полного оборота ДМ, состоящей из  $j$  секций, ч.

Дождевальная машина, как отмечалось ранее, движется дискретно в повторнократковременном режиме. По выражениям (2÷4) видно, что максимальная скорость полива осуществляется при  $ПВ\% = 100\%$ , а

также что продолжительность работы электропривода крайней секции будет равна продолжительности одного полного оборота ДМ:

$$t_{рДМ} = t_{рj}, \quad (6)$$

где  $t_{рj}$  – продолжительность работы крайней (последней) опорной тележки  $j$ -той секции, ч.

Тогда в таком же режиме опорная тележка предпоследней секции работает

$$t_{р-j-1} = \frac{j-1}{j} t_{рj} = t_{рj} - t_{np-j-1}, \quad (7)$$

где  $t_{np-j-1}$  – продолжительность простоя опорной тележки  $j-1$  секции, ч.

Продолжительность работы остальных электроприводов опорных тележек будут задействованы пропорционально меньший промежуток времени в соответствии с выражением (7), что подтверждается выражением (1).

Когда требуется выполнить максимальную поливную норму  $m_{пн-мах}$ , повторность включения уменьшают. Например,  $ПВ\% = 10\%$ , тогда продолжительность работы всей дождевальной машины увеличивается на промежуток времени простоя

$$t_{рДМ} = t_{рj} + t_{0j}, \quad (8)$$

где  $t_{0j}$  – продолжительность простоя опорной тележки крайней секции, ч.

В данном случае продолжительность работы опорных тележек предыдущих секций будет пропорционально сдвинута на  $t_{0j}$ .

В момент простоя опорной тележки секции энергия не потребляется, то есть при рассмотрении параметров АКБ для всех секций ДМ достаточно рассматривать движение в повторно-кратковременном режиме  $ПВ\% = 100\%$ . Отсюда следует, что общее количество ТАБ для выполнения одновременного полива (или полного оборота) дож-

девальной машиной можно определить по выражению

$$N_{акбДМ} = \left( \frac{j(j+1)}{2} \right) n_{акб} m_{акб}, \quad (9)$$

где  $j$  – количество секций (опорных тележек) дождевальной машины, шт.;

$N_{акбДМ}$  – суммарное число аккумуляторов, зависящее от индивидуальной продолжительности работы электроприводов каждой опорных тележек, шт.

Количество ТАБ для дождевальной машины  $N_{акбДМ}$  зависит от числа секций  $j$  (рис. 3).

Потребляемую энергию аккумуляторных батарей необходимо восполнять для восстановления емкости  $C_{N1}$ , напряжения на зажимах  $U$ . Из различных литературных источников [9-11] известно, чтобы восполнить энергию, переданную аккумулятором нагрузке, требуется энергия для заряда в соотношении

$$W_з = (1,2 \div 1,3) W_p, \quad (10)$$

где  $W_з$  и  $W_p$  – соответственно, количество энергии заряда и разряда, кВт\*ч.

Примем допущение, что от возобновляемых источников энергии, например, от солнечной батареи стандартного типоразмера [12], можно получить в сутки для каждой секции энергию заряда  $(0,2 \div 0,4) W_p$  с вероятностью  $M(t) = 0,9$  [12, 13]. Или же такое же количество энергии заряда можно получить от ветрогенератора.

Определим продолжительность восстановления энергии источника питания ДМ между одновременными поливами в двух случаях, когда электропривод опорной тележки крайней секции работает в режимах  $ПВ\% = 100\%$  и  $ПВ\% = 10\%$  с различным уровнем потребления энергии аккумуляторных батарей.

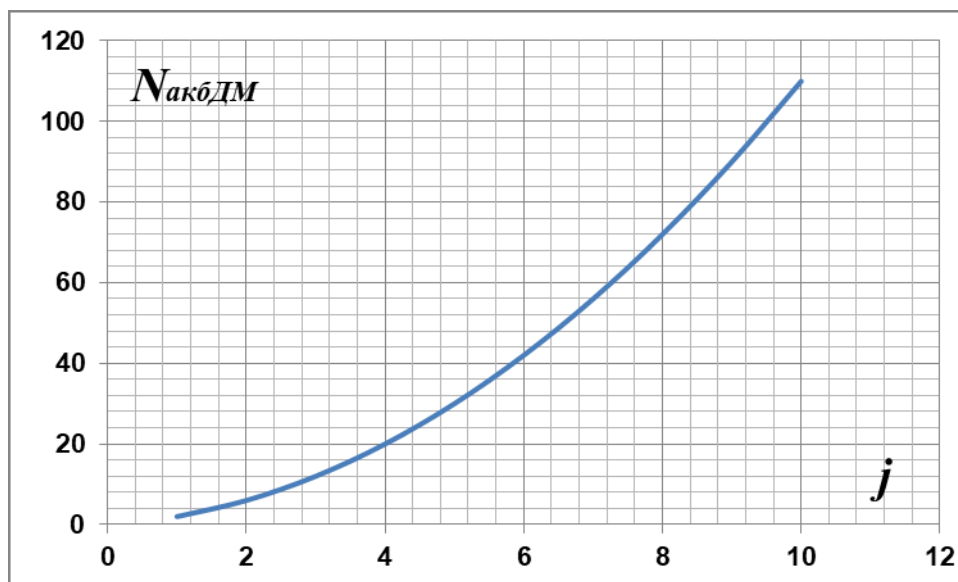


Рис. 3. Зависимость количества ТАБ от количества секций ДМ

Рассчитаем количество затрат и получения энергии от возобновляемых источников энергии (ВИЭ) при  $PВ\% = 100\%$  за 1 сут. Остаточная энергия в АКБ рассчитывается

$$W_1 = W_{1p} - W_{13} = P_{\text{двГТ1}} t_{p\text{-сут}} - W_{\text{ВИЭ}}, \quad (11)$$

где  $t_{p\text{-сут}}$  – продолжительность работы ДМ в сутки, ч;

$W_{\text{ВИЭ}}$  – количество энергии, полученное от возобновляемого источника энергии,  $Вт \cdot ч$ .

Если представить количество энергии от ВИЭ в сутки как

$$W_{\text{ВИЭ}} = \frac{k_3}{k_{\text{экв}}} W_{1p} = \frac{k_3}{k_{\text{экв}}} P_{\text{двГТ1}} t_{p\text{-сут}}, \quad (12)$$

где  $k_3$  – коэффициент получения энергии от ВИЭ относительно затраченной энергии,  $k_3 = 0,2 \div 0,3$  с вероятностью  $M(t) = 0,9$ ;

$k_{\text{экв}}$  – коэффициент эквивалентного заряда емкости АКБ,  $k_6 = 1,2 \div 1,3$  [9], тогда разница этих энергий при  $PВ\% = 100\%$ :

$$W_{1(100\%)} = P_{\text{двГТ1}} t_{p\text{-сут}(100\%)} \left( 1 - \frac{k_3}{k_{\text{экв}}} \right). \quad (13)$$

Разница этих энергий при  $PВ\% = 10\%$ :

$$W_{1(10\%)} = P_{\text{двГТ1}} t_{p\text{-сут}(10\%)} \left( 0,1 - \frac{k_3}{k_{\text{экв}}} \right). \quad (14)$$

Если  $t_{p\text{-сут}} = t_p = 24$  ч, то продолжительность восстановления (количество суток)  $y$  определяется по выражению

$$y = \frac{W_{1p} - W_{\text{ВИЭ}}}{W_{\text{ВИЭ}}} = \frac{P_{\text{двГТ1}} t_p \left( PВ\% - \frac{k_3}{k_6} \right)}{P_{\text{двГТ1}} t_p \frac{k_3}{k_6}} = \frac{k_{\text{экв}} PВ\%}{k_3} - 1. \quad (15)$$

Изобразим восстановление энергетической характеристики источника питания ДМ на АКБ (рис. 4).

Таким образом, полученные исследования дают возможность сделать вывод о том, что аккумуляторный источник питания позволяет эксплуатировать ДМ в условиях, сложных для подведения централизованного питания. В сравнении с переносным генератором, АКБ можно устанавливать на передвижных опорных тележках, что исключает использование дорогостоящих элементов: токосъемника, кабельной линии для передачи энергии и т.п. С аккумуляторным питанием управление движением машины можно выполнить на более низком энергетическом уровне, например, питание всех приборов ПСЛ от 12 В постоянного тока, что снизит

потребление энергии на устройство управления. Для реализации такого способа пита-

ния разработана физическая модель (рис. 5) и получен патент на полезную модель [14].

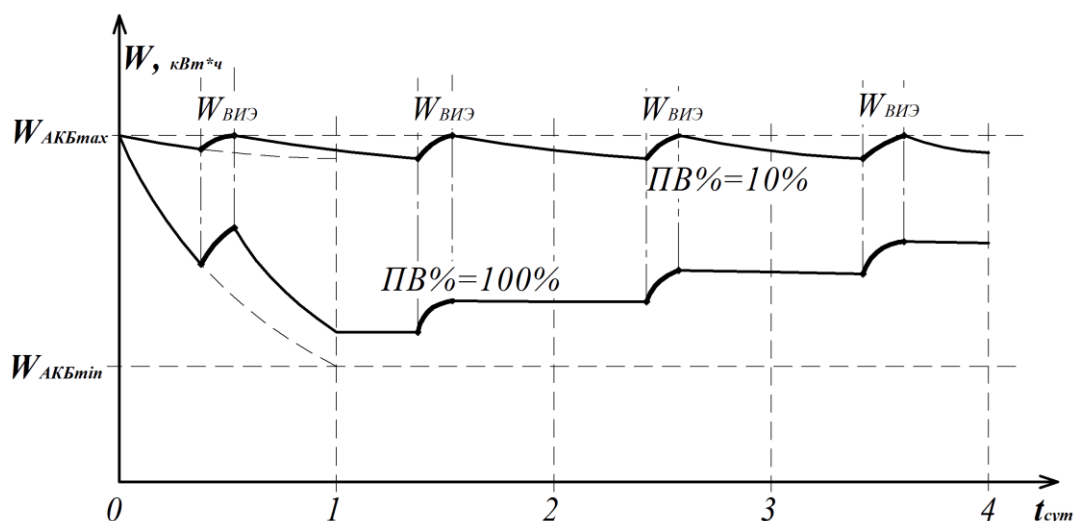


Рис. 4. Продолжительность восстановления заряда АКБ при получении 20% от ВИЭ с ПВ% = 10% и ПВ% = 100%



а



б

Рис. 5. Внешний вид секции ДМ с аккумуляторным питанием и солнечными батареями: а – стенд длиной трубопровода 6 м; б – секция длиной трубопровода 42 м

### Заключение

Установлено, что при выборе параметров аккумуляторного способа питания (напряжение на зажимах нагрузки, емкости, схем последовательного и параллельного соединения) следует учитывать продолжительность выполнения движения крайней секции в режиме непрерывного хода, когда ПВ% = 100%. Также установлено, что при-

менение возобновляемых источников энергии для заряда ТАБ на 15±20% в сутки с вероятностью  $M(t) = 0,9$  позволит избежать затрат на ресурс (на электроэнергию централизованной сети или затраты на горючее топливо) в структуре общих эксплуатационных затрат. В режиме работы электропривода опорной тележки крайней секции ДМ с ПВ% = 100% для полного заряда ТАБ потре-

буется 5÷7 дней (что по длительности совпадает с технологическими простоями между поливами), а при  $PВ\% = 10\%$  – 1 день.

### Библиографический список

1. Рекомендации по научно обоснованным технологиям орошения сельскохозяйственных культур кукурузы на зерно, картофеля, лука и моркови современными стационарными широкозахватными круговыми и фронтальными дождевальными машинами Reinke и Valley в условиях центральной орошаемой зоны Ростовской области / под редакцией Н. А. Иванова; Новочерк. гос. мелиор. акад. – Новочеркасск, 2013. – 30 с. – Текст: непосредственный.
2. Каталог продукции Valley. – URL: [www.valmont.com/irrigation](http://www.valmont.com/irrigation) (дата обращения: 16.11.2019). – Текст: электронный.
3. Каталог. Отличительные особенности ирригационных машин Reinke. – URL: [www.reinke.com](http://www.reinke.com) – (дата обращения: 8.11.2019). – Текст: электронный/
4. Шепелев, А. Е. Зарубежные системы орошения / А. Е. Шепелев, В. Э. Завалюев. – Текст: непосредственный // Проблемы и перспективы развития мелиорации в современных условиях: сборник научных трудов по материалам научно-практической конференции ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» (г. Энгельс, 25-27 мая 2016 г.) / редколлегия: В. А. Шадских (председ.) [и др.]. – Энгельс, 2016. – С. 134-140.
5. Eroshenko, G.P., Solovyev, D.A., Glukharev, V.A., Bakirov, S.M., Startsev, S.V. (2018). Modes and Parameters of Circular Action Sprinkler Electric Drives. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 10. Special Issue: 2123-2128.
6. Хрусталева, Д. А. Аккумуляторы / Д. А. Хрусталева. – Москва: Изумруд, 2003. – 224 с.: ил. – Текст: непосредственный.
7. Аносов, В. Н. Динамическая модель тяговой аккумуляторной батареи автономного транспортного средства / В. Н. Аносов. – Текст: непосредственный. // Электротехника. – Москва: Фирма Знак, 2007. – Вып. № 9. – С. 41-44.
8. ГОСТ Р МЭК 61056-1 – 2012 Батареи свинцово-кислотные общего назначения (типы с регулирующим клапаном). Часть 1. Общие требования, функциональные характеристики. Методы испытаний. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 15 с. – Текст: непосредственный.
9. Кашкаров, А. П. Аккумуляторы: справочное пособие / А. П. Кашкаров. – Москва: ИП РадиоСофт, 2014. – 192 с. – Текст: непосредственный.
10. Коняк, М. Математическая модель оценки электрических параметров аккумуляторной батареи автономного транспортного средства / М. Коняк, А. А. Козинский, А. Черепицки // Перспективы развития транспортного комплекса: материалы II Международной заочной научно-практической конференции. – Минск: Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника», 2016 – С. 247-252.
11. Сериков, С. А. Идентификация математической модели тяговой аккумуляторной батареи гибридного автомобиля / С. А. Сериков. – Текст: непосредственный // Автомобильный транспорт (Харьков). – 2010. – С. 23-30.
12. Рауншенбах, Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Г. Рауншенбах; [перевод с английского]. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – 360 с. – Текст: непосредственный.
13. Амерханов, Р. А. Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов



энергии / Р. А. Амерханов. – Москва: КолосС, 2003. – 532 с. – Текст: непосредственный.

14. Патент № 189495 Российская Федерация, МПК А01G 25/09, СПК А01G 25/09, Y02P 60/122. Автономная электрифицированная секция дождевальная машины кругового действия / Бакиров С. М., Ерошенко Г. П., Трушкин В. А., Соловьев Д. А., Елисеев С. С.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ имени Н. И. Вавилова (RU). – № 2019103591; заявл. 08.02.2019; опубл. 24.05.2019, Бюл. № 15. – 6 с.: ил. – Текст: непосредственный.

### References

1. Rekomendatsii po nauchno obosnovannym tekhnologiyam orosheniya selskokhozyaystvennykh kultur kukuruzy na zerno, kartofelya, luka i morkovi sovremennymi statsionarnymi shirokozakhvatnymi krugovymi i frontalnymi dozhdevalnymi mashinami Reinke i Valley v usloviyakh tsentralnoy oroshaemoy zony Rostovskoy oblasti / pod red. N.A. Ivanova; Novoчерк. gos. melior. akad. – Novoчерkassk, 2013. – 30 s.

2. Katalog produktsii Valley [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: / www.valmont.com/irrigation – (Data obrashcheniya: 16.11.2019).

3. Katalog. Otlichitelnye osobennosti irrigatsionnykh mashin Reinke [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: www.reinke.com. – (Data obrashcheniya: 8.11.2019).

4. Shepelev, A.E. Zarubezhnye sistemy orosheniya / A.E. Shepelev, V.E. Zavalyuev. – Problemy i perspektivy razvitiya melioratsii v sovremennykh usloviyakh: Sb. nauch. trudov po mater. nauchno-prakt. konf. FGBNU «VolzhNIIGiM». – Engels, 25-27 maya 2016 g.; redkol.: V.A. Shadskikh (predsed.) i dr. – Engels, 2016. – S. 134-140.

5. Eroshenko, G.P., Solovyev, D.A., Glukharev, V.A., Bakirov, S.M., Startsev, S.V. (2018). Modes and Parameters of Circular Action Sprinkler Electric Drives. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 10. Special Issue: 2123-2128.

6. Khrustalev, D.A. Akkumulyatory / D.A. Khrustalev – Moskva: Izumrud, 2003. – 224 s.: il.

7. Anosov, V.N. Dinamicheskaya model tyagovoy akkumulyatornoy batarei avtonomnogo transportnogo sredstva // *Elektrotehnika*. – 2007. – No. 9. – S. 41-44.

8. GOST R MEK 61056-1 – 2012 Batarei svintsovo-kislotnye obshchego naznacheniya (tipy s reguliruyushchim klapanom). Chast 1. Obshchie trebovaniya, funktsionalnye kharakteristiki. Metody ispytaniy. – Moskva: Standartinform, 2014. – 15 s.

9. Kashkarov, A.P. Akkumulyatory: spravochnoe posobie. – Moskva: IP RadioSoft, 2014. – 192 s.

10. Konyak, M. Matematicheskaya model otsenki elektricheskikh parametrov akkumulyatornoy batarei avtonomnogo transportnogo sredstva / M. Konyak, A.A. Kozinskiy, A. Cherepitski // *Perspektivy razvitiya transportnogo kompleksa. Materialy II Mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. – Minsk: Belorusskiy nauchno-issledovatel'skiy institut transporta «Transtekhnika», 2016. – S. 247-252.

11. Serikov, S.A. Identifikatsiya matematicheskoy modeli tyagovoy akkumulyatornoy batarei gibridnogo avtomobilya // *Avtomobilnyy transport (Kharkov)*. – 2010. – S. 23-30.

12. Raunshenbakh, G. Spravochnik po proektirovaniyu solnechnykh batarey: [per. s angl.]. – M.: Energoatomizdat, 1983. – 360 s.

13. Amerkhanov, R.A. Optimizatsiya selskokhozyaystvennykh energeticheskikh

ustanovok s ispolzovaniem vozobnovlyaemykh vidov energii. – Moskva: KolosS, 2003. – 532 s.

14. Pat. No. 189495 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A01G 25/09, SPK A01G 25/09, Y02P 60/122. Avtonomnaya elektrifitsirovannaya sektsiya dozhdevalnoy mashiny krugovogo deystviya / S.M. Bakirov, G.P. Eroshenko,

V.A. Trushkin, D.A. Solovev, S.S. Eliseev; zayavitel i patentoobladatel FGBOU VO Saratovskiy GAU imeni N.I. Vavilova (RU). – No. 2019103591; zayavl. 08.02.2019; opubl. 24.05.2019. Byul. No.15. – 6 s.: il.



УДК 629.083

Е.М. Таусенев  
Ye.M. Tausenev

## ОБ УСТАНОВКЕ ОХЛАДИТЕЛЯ ТОПЛИВА НА ТРАКТОР К-744P2 С ДИЗЕЛЕМ 8481.10 ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РЕМОНТНО-ОБСЛУЖИВАЮЩИХ РАБОТ

### THE FUEL COOLER INSTALLATION ON THE TRACTOR K-744P2 WITH DIESEL 8481.10 DURING MAINTENANCE WORKS

**Ключевые слова:** трактор сельскохозяйственный, надёжность, мощность, дизельный двигатель, топливная система, охлаждение топлива, ремонтно-обслуживающие работы.

Обосновывается установка охладителя топлива с целью увеличения мощности и надёжности дизеля 8481.10 для трактора К-744P2. Выполнены расчёты на режимах номинальной мощности и максимального крутящего момента. Температура топлива в распылителе форсунки изменялась от +380 К до +303 К. Эффективная мощность  $N_e$  и часовой расход  $G_T$  с уменьшением температуры топлива постоянно возрастают. Максимальный прирост  $N_e$  составил 18%, максимальный крутящий момент  $M_{max}$  стал равным 1777 Н·м и превысил  $M_{max}$  дизеля OM460LA E3A/5 (1750 Н·м). Появляется возможность повышения тягового класса до 6-го в комплектации с дизелем 8481.10, также как с дизелем OM460LA E3A/5. Расход топлива  $g_e$  снижается на величину не более 2 г/(кВт·ч). Дымность по шкале Хартриджа имеет минимальное значение при температуре топлива +353 К. Выбросы диоксида углерода изменяются незначительно (до 1%), выбросы оксида азота при охлаждении топлива постепенно увеличиваются на 8%. Все эти изменения характерны для тракторов в зимних условиях эксплуатации. Установка охладителя топлива на К-744P2 является обоснованной и может выполняться при ремонтно-обслуживающих работах. Возможная температура топлива будет

ограничиваться маркой применяемого топлива и мощностью охладителя. Рекомендуется температура топлива в распылителе не более +343 К (с учётом смазывающих свойств дизельного топлива, уменьшения закоксовывания распылителя и полученных результатов).

**Keywords:** agricultural tractor, reliability, power, diesel engine, fuel system, fuel cooling, maintenance works.

The installation of fuel cooler to increase the power output and reliability of the diesel engine 8481.10 for the tractor K-744P2 is substantiated. The calculations at rated power and maximum torque modes were made. The fuel temperature in the nozzle varied from +380 K to +303 K. The effective power  $N_e$  and the hourly flow rate  $G_T$  as the fuel temperature decreased were constantly increasing. The maximum growth of  $N_e$  made up 18%; the maximum torque  $M_{max}$  became equal to 1777 N·m and exceeded  $M_{max}$  of the diesel OM460LA E3A/5 (1750 N·m). There is an opportunity to increase the traction class to the 6th class in the configuration with the diesel 8481.10, as well as with the diesel OM460LA E3A/5. The fuel consumption  $g_e$  is reduced by not more than 2 g per (kW·h). The Hartridge scale smoking has a minimum value at a fuel temperature of 353 K. Carbon dioxide emissions are changing slightly (up to 1%), and nitrogen oxide emissions from fuel cooling are gradually increasing by 8%. All these changes are typical for tractors un-