

# ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БУСТЕРНОГО НАСОСА С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ КРАЙНЕЙ СЕКЦИИ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ

**ЕСИН Александр Иванович**, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

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

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

**В работе представлены результаты теоретического исследования применения бустерного насоса. В работе ставится задача обоснования применения бустерного насоса с электроприводом и дальнеструйным дождевальным аппаратом на крайней секции дождевальной машины в сравнении с целой секцией. В качестве показателей сравнения рассматриваются энергетические затраты, показатель стоимости и эксплуатационных затрат. На основе теоретических исследований найдены зоны применения бустерного насоса по эксплуатационным затратам с учетом показателей энергозатрат, надежности и стоимости, рассчитанных на 10 лет эксплуатации.**

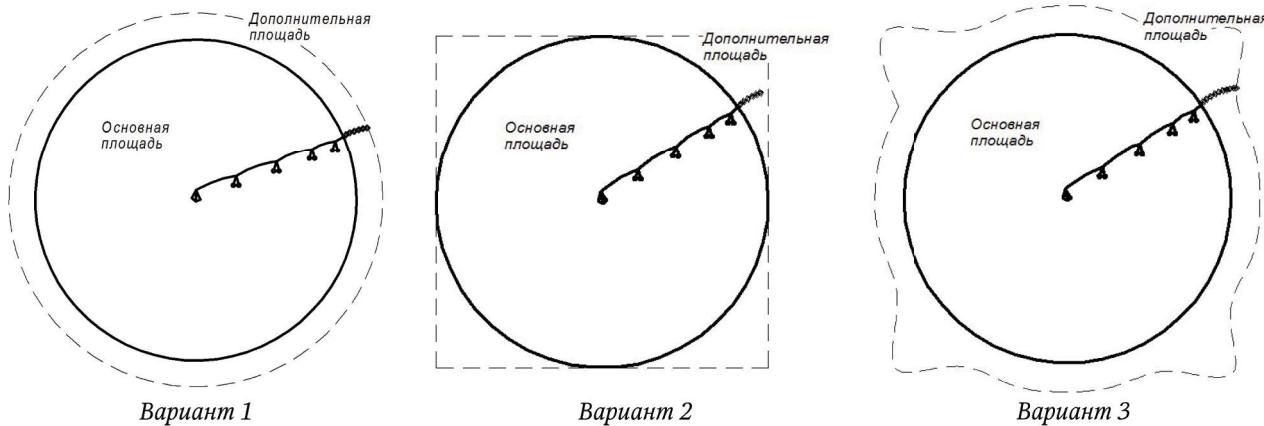
**Введение.** При проектировании полива культурных растений дождевальными машинами (ДМ) кругового действия стремятся охватить максимально возможную площадь.

Обычно на необходимую поливную площадь комплектуют ДМ требуемым количеством секций. Для полива дополнительной площади в конструкцию ДМ добавляют секцию, увеличивая тем самым охват полива. Зарубежные производители ДМ [2–7] предлагают различные варианты исполнения крайней секции, которая может быть поворотной [2, 4] с дополнительно установленным оборудованием (поворотным механизмом с электроприводом и специальной системой автоматизации). Также предлагаются другие варианты исполнения крайней секции [2–7].

Благодаря совместной работе ученых Саратовского ГАУ имени Н. И. Вавилова и инженеров ООО «Мелиоративные машины» предлагается

новый способ увеличения охвата полива путем установки на крайнюю секцию бустерного насоса с электроприводом и дальнеструйным дождевальным аппаратом (ДА). Предварительные данные применения способа показывают, что можно увеличить охват полива по нескольким вариантам (рис. 1) при различных настройках системы управления электроприводом насоса.

Однако данный способ требует установки дополнительного оборудования и подведения электроэнергии. Энергетические затраты определяются режимом работы и мощностью электропривода устанавливаемого насоса с ДА. С другой стороны, дополнительный охват, представленный вариантами 1 и 3 (см. рис. 1), можно обеспечить путем установки дополнительного водораспределительного трубопровода с опорной тележкой. Затраты энергии электропривода на перемещение этой тележки определяются известными зависимостями [1].



**Рис. 1. Варианты дополнительного охвата поливной площади за счет применения бустерного насоса с электроприводом и дальнеструйным ДА**



Поэтому целью работы является обоснование применения бустерного насоса с электроприводом и дальнеструйным ДА на крайнюю секцию ДМ.

**Методика исследования.** Мощность электропривода  $P_{\text{дв}}$ , кВт, опорной тележки для одной секции определяется согласно [8] по выражению

$$P_{\text{дв}} = \frac{F_c r \omega_{\text{дв}}}{i \eta_{\text{пер}} \eta_{\text{дв}}}, \quad (1)$$

где  $F_c$  – сила сцепления в точке касания колеса секции, Н;  $r$  – радиус колеса, м;  $\omega_{\text{дв}}$  – угловая скорость двигателя, рад/с;  $i$  – суммарное передаточное число редуктора, о. е.;  $\eta_{\text{пер}}$  – коэффициент полезного действия передачи, о.е.;  $\eta_{\text{дв}}$  – коэффициент полезного действия электродвигателя, о.е.

Известно, что опорная тележка перемещается дискретно. Регулирование движением определяется режимом автоматического включения электропривода. Энергетические затраты  $W_1$ , кВт·ч, зависят от продолжительности включения, а также от количества пусков

$$W_{\text{kp}} = P_{\text{дв}} t_{\text{рдв}} + z_{\text{дв}} P_{\text{Пдв}} t_{\text{Пдв}}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{рдв}}$  – продолжительность работы электропривода в нормальном режиме, ч;  $z_{\text{дв}}$  – количество

пусков;  $P_{\text{Пдв}}$  – мощность пуска, кВт;  $t_{\text{Пдв}}$  – продолжительность пускового режима, ч;

$$P_{\text{Пдв}} = \bar{k}_{\text{Пдв}} P_{\text{дв}}, \quad (3)$$

где  $\bar{k}_{\text{Пдв}}$  – среднее значение кратности пускового тока.

Тогда затраты энергии на электропривод целой секции можно записать следующим образом:

$$W_{\text{kp}} = P_{\text{дв}} (t_{\text{рдв}} + z_{\text{дв}} \bar{k}_{\text{Пдв}} t_{\text{Пдв}}). \quad (4)$$

При сравнении энергозатрат на перемещение крайней секции с энергозатратами действия бустерного насоса необходимо учитывать площадь охвата рассматриваемых вариантов. Охват полива целой крайней секции, то есть площади поливного участка, зависит от длины трубопровода секции  $l$ , м, и порядкового номера  $n$  (рис. 2).

Поливная площадь крайней секции увеличивается в зависимости от порядкового номера (рис. 3).

**Результаты исследований.** На основе приведенных данных, удельные энергозатраты на единицу поливной площади следует принять в виде показателя  $p_s$ , кВт·ч/га:

$$p_s = \frac{W}{S}, \quad (5)$$

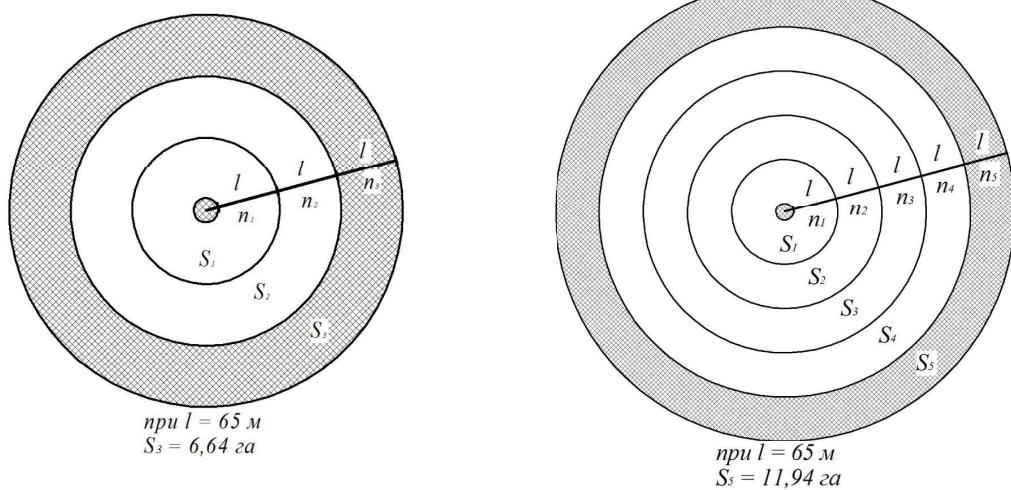


Рис. 2. Охват полива крайней секции с разным порядковым номером  $n$

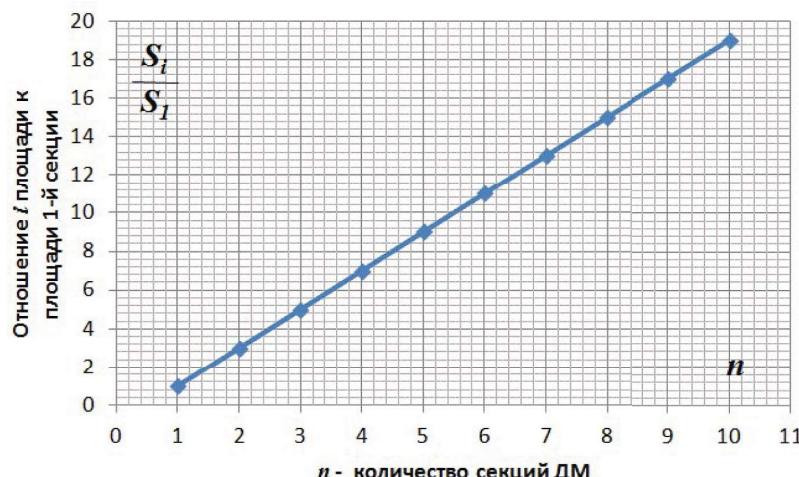


Рис. 3. Зависимость отношения площади полива  $i$ -й секции к площади 1-й секции от количества секций ДМ



где  $W$  – количество электроэнергии требуемой на полив площадью участка  $S$ , га, кВт·ч.

Тогда удельные энергозатраты на электропривод опорной тележки крайней секции

$$p_{\text{дв}S} = \frac{W_{\text{кп}}}{b_n \pi l^2}, \quad (6)$$

где  $b_n$  – коэффициент площади, учитывающий порядковый номер крайней секции из таблицы;  $l$  – длина трубопровода секции, м;

$$b_n = \frac{S_n}{S_1}, \quad (7)$$

где  $S_n$  – площадь полива  $n$ -й секцией, га;  $S_1$  – площадь полива 1-й секцией, га (с учетом того, что длины всех секций ДМ одинаковы  $l_1 = l_2 = \dots = l_n = l$ ).

По аналогии, удельные энергетические затраты бустерного насоса с электроприводом и дальнеструйным ДА на предпоследней секции (вместо крайней) определяются по выражению

$$\omega = \sqrt{\frac{c}{m}}, \text{ рад/с.} \quad (8)$$

где  $W_h$  – количество электроэнергии, требуемое для выполнения работы насоса, кВт·ч;  $S_h$  – площадь охвата полива нагнетательным насосом, га.

Количество электроэнергии для насоса будет зависеть также от количества пусков и кратности пускового тока электродвигателя насоса

$$W_h = P_h(t_{ph} + z_h \bar{k}_{Ph} t_{Ph}). \quad (9)$$

где  $P_h$  – мощность электропривода насоса, кВт;  $t_{ph}$  – продолжительность работы электропривода насоса в нормальном режиме, ч;  $z_h$  – количество пусков насоса;  $P_{Ph}$  – мощность пуска электропривода насоса, кВт;  $t_{Ph}$  – продолжительность пускового режима насоса, ч;  $\bar{k}_{Ph}$  – среднее значение кратности пускового тока электропривода насоса.

Площадь охвата дальнеструйного гидранта  $S_h$  определяется по дальности струи  $l_h$ , а также из положения того, что насос находится на предпоследней секции, что связывает площадь охвата полива струей с коэффициентом площади  $b_n$ . Тогда площадь полива определяется

$$S_h = b_n \pi l_h^2. \quad (10)$$

Дальность струи  $l_h$  зависит от мощности насоса и типа гидранта и также может быть связана с длиной водораспределительного трубопровода  $l$  соотношением (рис. 4)

$$l_h = al, \quad (11)$$

где  $a$  – относительный коэффициент пропорциональности охвата полива насосом и водораспределительным трубопроводом, о.е.

Условием применения бустерного насоса с электроприводом и дальнеструйным ДА будет неравенство

$$p_{hs} < p_{dvs}. \quad (12)$$

Подставим в неравенство (12) значения удельных энергетических затрат

$$\frac{P_h(t_{ph} + z_h \bar{k}_{Ph} t_{Ph})}{b_n \pi (al)^2} < \frac{P_{dvs}(t_{dvs} + z_{dvs} \bar{k}_{dvs} t_{dvs})}{b_n \pi l^2}. \quad (13)$$

Продолжительность работы и число запусков электропривода тележки крайней секции будут зависеть от заданного режима полива. Можно предположить, что режим работы бустерного насоса будет таким же. Примем допущение, что при одинаковом режиме полива  $t_{ph} = t_{dvs}$ ,  $z_h = z_{dvs}$  (кратность пусковых токов и продолжительность пуска незначительно влияют на энергетические затраты), тогда, преобразовав условие (13), получим

$$a > \sqrt{\frac{P_h}{P_{dvs}}}, \quad (14)$$

#### Результаты расчета коэффициента площади по порядковому номеру секции

Номер секции, $n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент площади $b_n$	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19



Рис. 4. Полив бустерным насосом, установленным на предпоследней секции:  
а – с охватом  $l_h < l$ ; б – с охватом  $l_h > l$



или

$$l_h > l \sqrt{\frac{P_h}{P_{дв}}}. \quad (15)$$

Таким образом, условие (15) показывает, что применение бустерного насоса относительно показателя удельных энергозатрат будет оправдано, если охват дальнеструйного гидранта будет больше произведения ширины захвата одной секции водораспределительного трубопровода одной секции на квадратный корень отношения мощностей электроприводов. Определим границу применения бустерного насоса на графике (рис. 5).

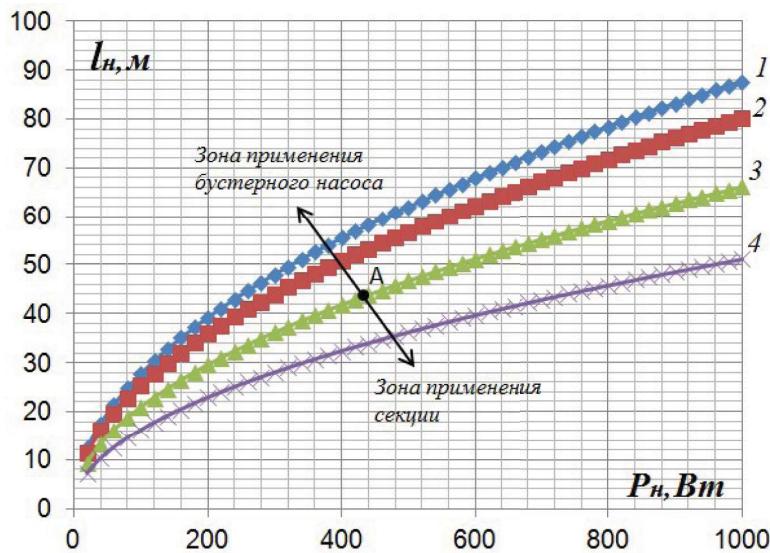


Рис. 5. Граница применения бустерного насоса с электроприводом и дальнеструйным ДА при мощности электропривода секции

$P_{дв} = 550$  Вт и длине трубопровода секции  
(1 –  $l = 65$  м; 2 –  $l = 59,5$  м; 3 –  $l = 49$  м; 4 –  $l = 38$  м)

Применение бустерного насоса будет оправдано относительно энергозатрат, например, если мощность электропривода насоса составляет  $P_h = 440$  Вт, а дальность струи превышает  $l_h > 44$  м (т. А, см. рис. 5). При меньшей дальности струи ДА будет оправдано применение секции. Соответственно, если требуется большая мощность насоса, например,  $P_h = 1000$  Вт, тогда дальность струи должна превышать  $l_h > 88$  м.

Однако граница применения бустерного насоса на рис. 5 учитывает только показатель удельных энергозатрат и не учитывает существенную разницу в стоимости с учетом охвата данных способов. Рассмотрим по аналогии условие применения бустерного насоса по показателю удельной стоимости  $c_s$ , руб./га:

$$c_s = \frac{C_i}{S_i}, \quad (16)$$

где  $C_i$  – стоимость способа полива, руб.

Условием применения бустерного насоса по показателю удельной стоимости будет неравенство

$$l_h > l \sqrt{\frac{C_h}{C_{дв}}}. \quad (17)$$

где  $C_h$  – суммарная стоимость оборудования и монтажных работ бустерного насоса с электроприводом и дальнеструйным ДА, руб.;  $C_{дв}$  – суммарная стоимость оборудования и монтажных работ секции, руб.

Применение бустерного насоса будет оправдано относительно удельной стоимости способов, например, если стоимость оборудования и монтажа насоса составляет  $C_h = 37$  тыс. руб., а дальность струи превышает  $l_h > 13,5$  м в сравнении с секцией стоимостью  $C_{дв} = 467$  тыс. руб. и с длиной трубопровода  $l = 49$  м (т. В, см. рис. 6). Если при этих же данных секции, стоимость оборудования и монтажа насоса будет  $C_h < 10$  тыс. руб., то дальность струи ДА должна быть  $l_h > 7,1$  м.

Другие удельные показатели (затраты на ресурс, надежности, обслуживания рассматриваемых способов и т.п.) могут быть рассчитаны аналогичным образом и значительно отличаться друг от друга. Поэтому рассмотрим условие применения бустерного насоса относительно показателя полных эксплуатационных затрат, рассчитанных на срок 10 лет с учетом капиталовложений (рис. 7):

$$l_h > l \sqrt{\frac{3_h}{3_{дв}}}. \quad (18)$$

где  $3_h$  – полные эксплуатационные затраты бустерного насоса с электроприводом и дальнеструйным ДА, руб./(10 лет);  $3_{дв}$  – полные эксплуатационные затраты на секцию, руб./(10 лет).

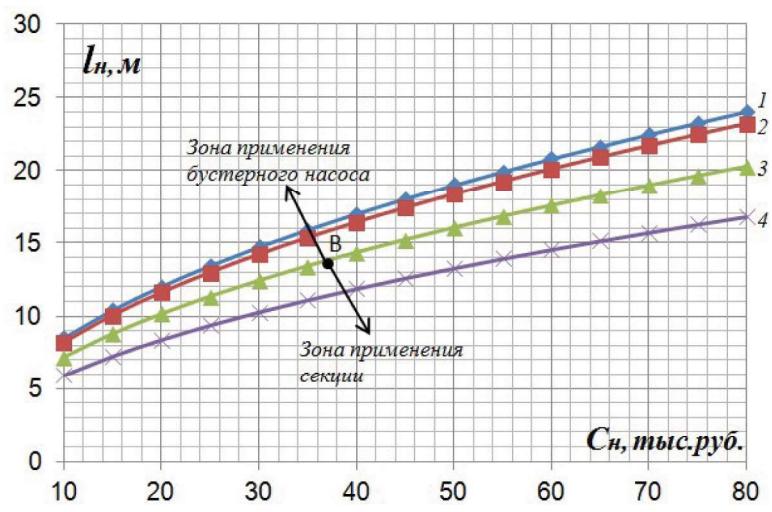


Рис. 6. Граница применения бустерного насоса с электроприводом и дальнеструйным ДА при 1 –  $C_{дв} = 585$  тыс. руб.,  $l = 65$  м; 2 –  $C_{дв} = 526$  тыс. руб.,  $l = 59,5$  м; 3 –  $C_{дв} = 467$  тыс. руб.,  $l = 49$  м; 4 –  $C_{дв} = 410$  тыс. руб.,  $l = 38$  м



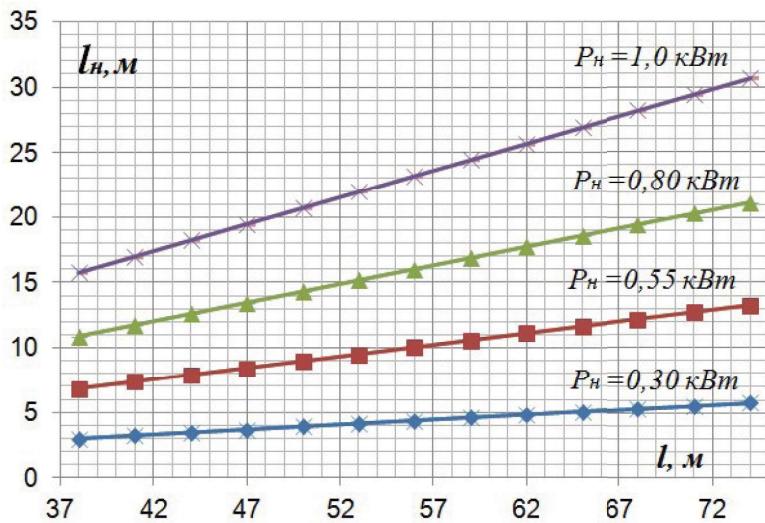


Рис. 7. Граница применения бустерного насоса с электроприводом и дальнеструйным ДА по полным эксплуатационным затратам, рассчитанным на 10 лет эксплуатации ДМ

**Заключение.** Таким образом, применение бустерного насоса с электроприводом и дальнеструйным ДА зависит от показателей удельных энергетических затрат, удельной стоимости оборудования и монтажа, надежности, стоимости и состава работ по обслуживанию, а также мощности электропривода насоса и дальности струи гидранта. Установлено, что относительно полных эксплуатационных затрат, рассчитанных на 10 лет эксплуатации применение бустерного насоса вместо крайней секции длиной трубопровода  $l = 65$  м оправдано при мощности электропривода насоса  $P_n = 550$  Вт, если дальность струи превышает  $l_n > 15$  м.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакиров С. М. Анализ энергозатрат на дождевальную машину // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 10. – С. 95–98.
2. Каталог BAUER. Самая эффективная система под солнцем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.bauer-at.com](http://www.bauer-at.com). – (Дата обращения: 16.10.2019).
3. Каталог ирригационной продукции Zimmatic by Lindsay [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.lindsay.com](http://www.lindsay.com). – (Дата обращения: 23.10.2019).

4. Каталог Lindsay. Повышение урожайности пшеницы за счет применения эффективных решений в области орошения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.lindsay.com](http://www.lindsay.com) – (Дата обращения: 23.10.2019).

5. Каталог. Отличительные особенности ирригационных машин Reinke [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.reinke.com](http://www.reinke.com) – (Дата обращения: 8.10.2019).

6. Каталог T-L Irrigation Company [sales@tlirr.com](mailto:sales@tlirr.com) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.tlirr.com](http://www.tlirr.com) – (Дата обращения: 8.10.2019).

7. Каталог продукции Valley [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [/ www.valmont.com/irrigation](http://www.valmont.com/irrigation) – (Дата обращения: 16.10.2019).

8. Eroshenko, G. P. Optimal power supply synthesis for circular action sprinkler / G. P. Eroshenko, A. I. Esin, D. A. Solyovlev, F. V. Serebrennikov, S. M. Bakirov // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2018. Vol. 10. No. 10 Special Issue. P. 2129–2134.

**Есин Александр Иванович**, д-р техн. наук, проф., кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

**Соловьев Дмитрий Александрович**, д-р техн. наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

**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:** дождевальная машина; энергозатраты; электропривод; дождевальный аппарат; бустерный насос

#### SUBSTANTIATION OF APPLICATION OF THE BOOSTER PUMP WITH THE ELECTRIC DRIVE OF THE EXTREME SECTION OF THE SPRINKLER

**Esin Aleksandr Ivanovich**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the chair “Technosphere Safety and Transport-technological Machines”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

**Soloviev Dmitry Aleksandrovich**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the chair “Technosphere Safety and Transport-technological Machines”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

**Bakirov Sergey Mudariso维奇**, 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.

**Key words:** sprinkler; energy costs; electric drive; sprinkler apparatus; booster pump.

The paper presents the results of a theoretical study of the use of a booster pump. The task of substantiating the use of a booster pump with an electric drive and a long-range sprinkler apparatus at the extreme section of the sprinkler machine in comparison with the whole section is set in the work. Energy costs, an indicator of cost and operating costs are considered as indicators of comparison. Based on theoretical studies, the application areas of the booster pump were found for operating costs, taking into account the indicators of energy consumption, reliability and cost, calculated for 10 years of operation.

