

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН ФРОНТАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Юлдашев З.Ш., д.т.н., профессор, Камолов Т.М., к.т.н., доцент, ТАУ им. Ш. Шотемур

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, энергоемкость полива, дождевальная машина.

Основной критерий энергоэффективности - энергоемкость продукции - определяется как отношение всей потребленной энергии (включая топливо) к объему произведенной продукции.

Одним из энергоемких технологических процессов в АПК является орошение дождеванием, которое остается приоритетным способом полива сельскохозяйственных культур. Широкозахватная дождевальная машина (ШДМ) «Кубань-Л» фронтального действия, предназначена для полива дождеванием сельскохозяйственных культур, включая высокостебельные. Особенность ШДМ «Кубань-Л», как действующей технической системы, заключается в том, что технологический процесс выполняется в движении, и в качестве источника энергии используется дизельное топливо, а в качестве ресурса - оросительная вода.

Для решения задачи повышения энергоэффективности энерготехнологического процесса (ЭТП) полива ШДМ «Кубань-Л» использовался интегральный подход - проектирования системы как единого целого.

Разработан адаптированный расчетно-графический метод конечных отношений (МКО) для мобильных действующих технических систем, позволяющий определять энергоемкость выполнения ЭТП [1].

Для множества машинно-тракторных агрегатов и агрокомплексов, где используются различные виды энергии для получения продукции, выбор критерия оптимизации является сложной задачей [2].

На основе анализа существующих критериев по оптимизации энергетических затрат представляется актуальным решение задачи оптимизации энергетических параметров с использованием адаптированного МКО для мобильных автономных агрегатов АПК, на примере ПЭС ШДМ «Кубань-Л» по единому критерию - энергоемкости выполнения ЭТП полива [3].

Действующая техническая система - ШДМ «Кубань-Л» состоит: из энергетической установки, представляющей собой ДВС (ЯМЗ-238 НД); редуктора; водяного насоса; трехфазного генератора (2СН42/13-4У2); водопроводящего трубопровода диаметром 203-153 мм, на котором равномерно установлены дождевальные насадки (307 шт.), 18 опорных тележек с электроприводом; систем синхронизации в линию (ССЛ) и стабилизации курса (ССК) и водозаборного устройства. Оросительная вода при помощи дождевальных насадок, установленных на водопроводящем трубопроводе, дробится на капли и распределяется в виде дождя на орошаемом участке поля (рис. 1).

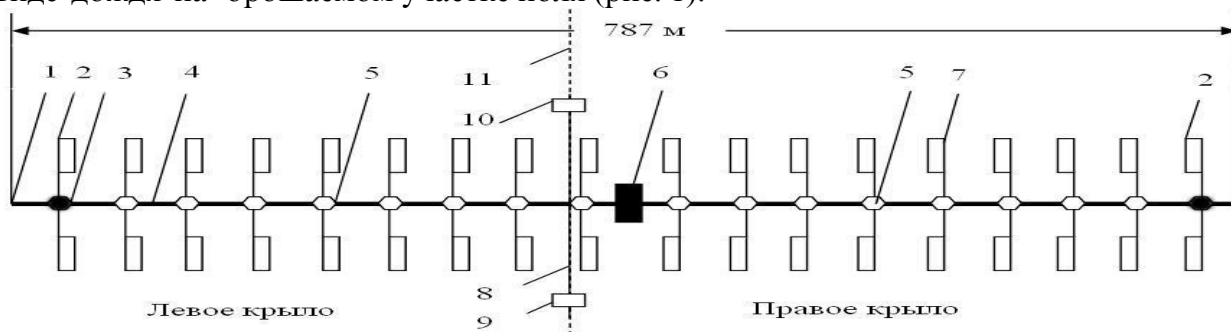


Рис. 1. Схема расположения регуляторов на ШДМ «Кубань-Л»: 1 – консоль; 2 – крайние ведущие опорные тележки; 3 – регулятор крайних ведущих опорных тележек; 4 – водопроводящий трубопровод; 5 – регулятор ССЛ; 6 – энергетическая установка; 7 – промежуточные опорные тележки; 8 – балка прибора стабилизации курса (ПСК); 9 – ПСК (задний, используется при реверсе); 10 – ПСК (передний); 11 – направляющий тррос.

Получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур связано с тем, что полив необходимо проводить в соответствии с потребностью растений и влажность почвы должна изменяться в определенном интервале, исключающем переполив и недополив. По результатам исследований, проведенных В.С. Краснощекковым, установлено, что при снижении коэффициента равномерности полива, например, до 0,4, прибавка урожая снижается на 20% при оросительной норме, равной биологическому оптимуму [4].

При различных значениях скорости движения ШДМ в полевых условиях проводилась регистрация следующих параметров: боковое отклонение от направляющего троса; моменты выработки сигналов коррекции крыльев; длительность включения приводов всех опорных тележек; напор в водопроводящем трубопроводе; напряжение на клеммах генератора и АД; линия положения опорных тележек относительно перпендикуляра к направляющему тросу; пройденный путь опорными тележками; температура нагрева АД и другие.

На основании анализа результатов исследований были разработаны конструкции устройств и алгоритмы управления движения и полива ШДМ, которые направлены на повышение равномерности движения и полива [4].

В отличие от стационарных ПЭС, на выходе которых - продукция, выходным параметром ПЭС мобильного является результат выполнения ЭТП полива – обеспечение сельскохозяйственной культуры необходимой нормой полива.

Применительно к ПЭС мобильного автономного агрегата можно назвать три основных ЭТП использования потребленной энергии: ЭТП-1 – результатом является подача оросительной воды R_1 ; ЭТП-2 – результат является перемещение ШДМ на орошаемом участке поля R_2 ; ЭТП-3 – результат является световая сигнализация работы ШДМ и освещение рабочей зоны R_3 [5].

На входе ПЭС ШДМ находятся источник энергии – дизельное топливо и ресурс – оросительная вода, а на выходе - объем оросительной воды, внесенной на площадь орошаемого участка поля за один проход.

С учетом требований МКО разработана ПЭС базового варианта энергоснабжения ШДМ для определения показателей энергоэффективности ее работы (рис. 2).

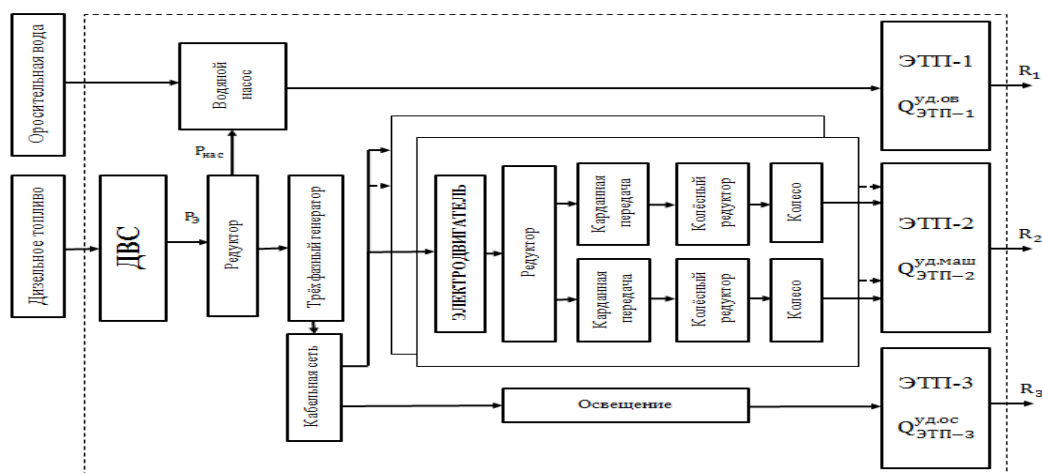


Рис. 2. Потребительская энергетическая схема базового варианта энергоснабжения ШДМ

ПЭС энергоснабжения ШДМ позволяет определять распределение энергии по ЭТП, контролировать расход энергии на результат R каждого ЭТП и всей потребляемой энергии. Наиболее энергоемкими элементами, которые входят в ПЭС ШДМ, являются ДВС, трехфазный генератор, водяной насос и асинхронный двигатель.

На основании анализа ПЭС базового варианта ШДМ и повышения энергоэффективности ЭТП полива, предложен альтернативный (разработанный) вариант энергоснабжения ШДМ, в котором в качестве источника энергии используется трехфазная электрическая сеть. При использовании альтернативного варианта ШДМ отпадает необходимость использования редуктора, трехфазного генератора и ДВС. Для электроснабжения ШДМ потребуется трансформаторная подстанция, АД для привода

водяного насоса и установка контактной сети вдоль оросительного канала. Используя адаптированный МКО, определим энергоэффективность альтернативного варианта ШДМ (рис. 3).

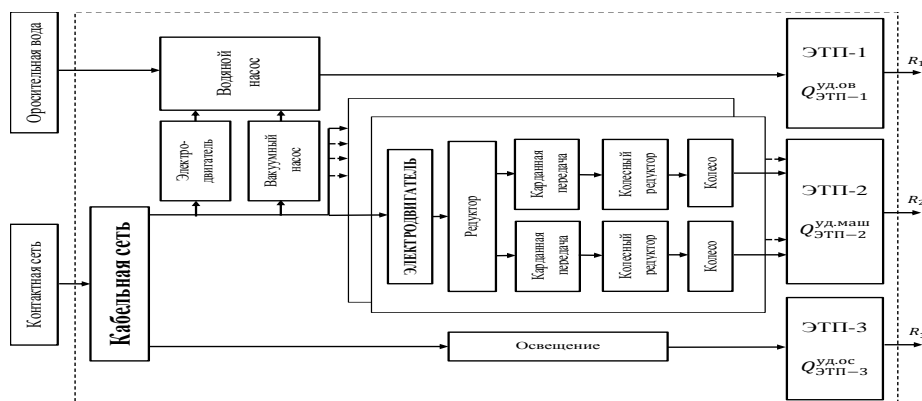


Рис. 3. Потребительская энергетическая схема альтернативного варианта энергоснабжения ШДМ

На входе ПЭС альтернативного варианта ШДМ находятся источник энергии – электрическая сеть и ресурс – оросительная вода.

Инжиниринг в ЭТП-2 и ЭТП-3 показал преимущество альтернативного варианта энергообеспечения ШДМ (табл. 1).

Таблица 1.

Удельные абсолютные энергоемкости ЭТП на базовом и альтернативном вариантах энергоснабжения ШДМ

Наименование параметра	Удельные абсолютные энергоемкости ЭТП	
	базового варианта ШДМ	альтернативного варианта ШДМ
Удельная абсолютная энергоемкость ЭТП-1, МДж/м ³	0,35316	0,35316
Удельная абсолютная энергоемкость ЭТП-2, МДж/м	0,40436	0,16452
Удельная абсолютная энергоемкость ЭТП-3, МДж/м	0,00682	0,00114

Как видно из таблицы 1, результаты расчета проведенного инжиниринга показывают, что при одинаковых значениях результатов ЭТП удельная абсолютная энергоемкость ЭТП-2 в 2,5 раза, а удельная абсолютная энергоемкость ЭТП-3 в 6 раз ниже по сравнению с базовым вариантом энергоснабжения ШДМ.

Расчеты по определению энергоэффективности выполнения ЭТП полива для двух вариантов ПЭС ШДМ выполнены при режиме движения РД=15%, что соответствует заданной норме полива $m=521,75 \text{ м}^3/\text{га}$, которая является типичной задаваемой нормой полива сельскохозяйственных культур ($\Pi = 720 \text{ м}^3/\text{час}$, $H=36 \text{ м}$ и $L=300 \text{ м}$) (табл. 2).

Таблица 2.

Результаты расчета потребления энергии ЭТП полива ШДМ

Название параметра	Единица измерения	Расчетные параметры ШДМ		Отношение базового к альтернативному варианту
		базовый вариант	альтернативный вариант	
Время полива, $T_{\text{пол}}$	с	63157,9	63157,9	1
Энергоемкость ЭТП	$Q_{\text{э}}^{\text{ЭТП-1}}$	1,411	1,843	0,77
	$Q_{\text{э}}^{\text{ЭТП-2}}$	2,824	1,889	1,49
	$Q_{\text{э}}^{\text{ЭТП-3}}$	1,558	1,042	1,50
$Q_{\text{э}}^{\text{ДВС}}$	-	2,883	-	-
$Q_{\text{сумм}}^{\text{потр}}$	МДж	19140,889	8315,546	2,30
$Q_{\text{э}}^1$	МДж/га	790,619	343,476	2,30
$Q_{\text{э}}^{1\text{м}^3}$	МДж/м ³	1,52	0,658	2,30

Энергоемкость полива 1 га площади орошаемого участка поля $Q_3^{1га}$ и энергоемкость подачи и распределения 1 м³ оросительной воды $Q_3^{1м^3}$ при заданной норме полива m определяются по формулам:

$$Q_3^{1га} = 10^4 Q_{сумм.}^{потр.} / F, \quad Q_3^{1м^3} = Q_{сумм.}^{потр.} / R_1,$$

где F – площадь полива; $Q_{сумм.}^{потр.}$ – суммарная потребленная энергия

Энергоемкость выполнения ЭТП полива на альтернативном варианте энергоснабжения ШДМ в 2,30 раза ниже по отношению к базовому варианту ШДМ. Энергоемкость подачи и распределения 1 м³ оросительной воды на базовом ШДМ составляет $Q_{э(баз.)}^{1м^3} = 1,52$ МДж/м³, а на альтернативном варианте энергоснабжения ШДМ составляет $Q_{э(альт.)}^{1м^3} = 0,658$ МДж/м³, что на 63,4% меньше.

Расчеты по определению энергоэффективности ЭТП полива за проход ШДМ выполнены для базового варианта энергоснабжения ШДМ преобладающая доля потребленной энергии в ЭТП полива расходуется на выполнение ЭТП-1.

-при изменении напора оросительной воды ($H=27, 30, 33, 36$ м) и постоянной производительности водяного насоса $P_p = 720$ м³/час;

-при изменении производительности водяного насоса ($P_p=540, 600, 660$ и 720 м³/час.) и постоянном напоре оросительной воды $H=36$ м;

-при синхронном изменении напора оросительной воды ($H=27, 30, 33, 36$ м) и производительности водяного насоса ($P_p=540, 600, 660$ и 720 м³/час.).

Разработана инновационная энергосберегающая система автоматизированного управления ШДМ фронтального действия для точного полива на базе ШДМ «Кубань-Л», которая признана изобретением. Использование данной системы позволяет регулировать вносимую оросительную воду на каждый квадратный (прямоугольный) участок поля в соответствии с требуемой нормой полива данного участка поля (рис. 4).

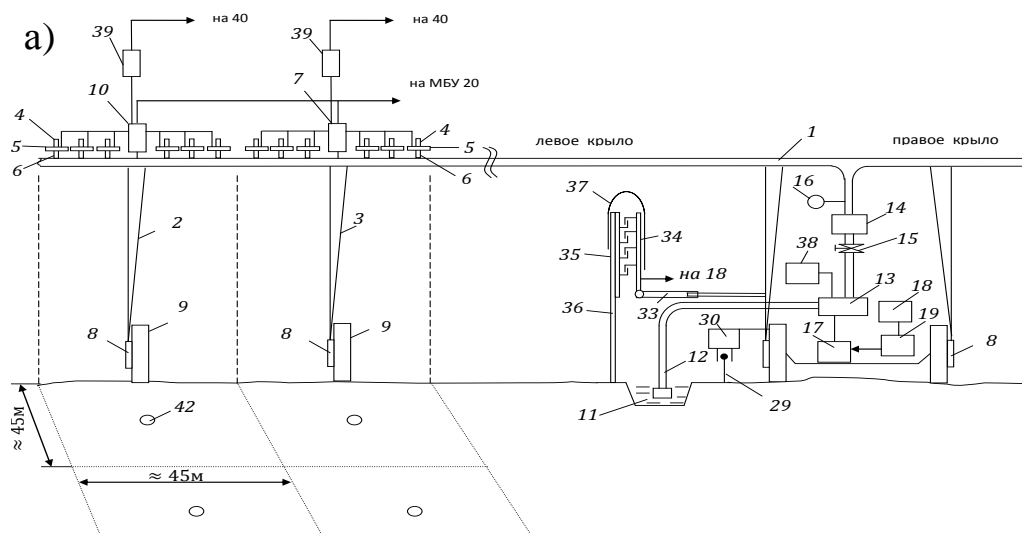


Рис. 4. Энергосберегающая система автоматизированного управления ШДМ фронтального действия для точного полива: а – функциональная схема; б - структурная схема; в- передача сигналов; 1 – водопроводящий трубопровод; 2 – крайние ведущие опорные тележки; 3 – промежуточные опорные тележки; 4 – дождевальные насадки; 5 – электроуправляемые клапаны; 6 – патрубок; 7 – регулятор ССЛ; 8 – электропривод; 9 – колесо; 10 – регулятор ССК; 11 – оросительный канал; 12 – водозаборное устройство; 13 – насос; 14 – расходомер; 15 – электрогидроаппарат; 16 – манометр; 17 – АД; 18 – щит управления; 19 – пульт управления; 20 – МБУ; 21 – счетчик энергии; 22 – контактор; 23 – таймер; 24 – частотный преобразователь; 25 – задатчик нормы полива; 26 – задатчик длины участка полива; 27 – ССЛ; 28 – ССК; 29 – направляющий трос; 30 – ПСК; 31 – датчик пути; 32 – ИУ; 33 – телескопический механизм; 34 –

токосъемник; 35 – контактная сеть; 36 – стойка; 37 – кожух; 38 – вакуум-насос; 39 – блок управления поливом; 40 – блок анализа сигналов; 41 – GLONASS-приемник; 42 – измеритель влажности; 43 – GLONASS-спутник; 44 – сенсорный экран; 45 – система управления поливом.

Исследования показали, что разработанная система позволяет эффективно использовать оросительную воду, производить полив на участках с необходимой нормой полива без образования участков переполива.

Для синхронного измерения энергетических параметров на входе и на выходе элементов и ЭТП, архивировании, визуализации на дисплее и программной обработки данных с целью определения энергоемкости элементов и ЭТП по алгоритмам МКО разработаны различные виды информационно-измерительные системы, конструкции которых признаны изобретениями. В зависимости от цели проведения исследований ШДМ и решаемой задачи оперативного контроля и управления, алгоритмы обработки по получению показателей энергоэффективности могут быть заданы по каналам связи.

Сложность и трудоемкость исследований, направленных на энерготехнологическое совершенствование ШДМ, обуславливает необходимость создания математической модели движения и решения многовариантных задач оценки показателей энергоэффективности (расход энергии и расход оросительной воды) и качества полива при различных значениях конструктивных и настроечных параметров и алгоритмов управления.

Факторы, влияющие на показатели качества и энергоэффективность ЭТП полива, условно можно разделить на две группы:

-независящие от характера движения ШДМ - статические, например, разновидность дождевальных насадок, форма дождевого облака, ширина захвата дождем, производительность и напор водяного насоса и др.;

-связанные с неравномерностью движения ШДМ - динамические, например, разброс скоростей движения опорных тележек, режимы работы крайних ведущих опорных тележек, значения настроечных параметров регуляторов и др.

Наибольшую актуальность представляет исследование второй группы факторов, влияющих на показатели качества и энергоэффективности полива.

Разработанная математическая модель движения ШДМ позволяет проводить исследования, направленные на повышение энергоэффективности ЭТП полива и равномерности полива, а также решать задачи оптимизации настроечных параметров ССЛ и ССК: ширины захвата дождем, количества опорных тележек и длины пролетов, длины балки ПСК, различные алгоритмы управления движением и формы дождевого облака, коэффициента замедления скорости движения крайних ведущих опорных тележек.

Заключение.

1. Для определения показателей энергоэффективности на мобильной автономной ШДМ «Кубань-Л» фронтального действия, производящей полив в движении, предложен модифицированный расчетно-измерительный метод конечных отношений (МКО) по единому системному показателю - энергоемкости выполнения ЭТП полива.

2. Разработаны ПЭС мобильных автономных ШДМ для базового и альтернативного вариантов энергоснабжения, которые состоят из технических элементов, образующих энергетические линии, завершающие ЭТП. ПЭС, где формируется системный показатель - энергоемкость выполнения ЭТП, позволяет определять и анализировать всю потребленную энергию.

3. Разработана математическая модель движения и полива ШДМ, которая позволяют исследовать влияние различных алгоритмов управления движением, ширины захвата дождем, форм дождевого облака и настроечных параметров регуляторов на показатели энергоэффективности и качество полива машины.

4. Исследования показали, что на базовом варианте энергоснабжения ШДМ расход энергии на выполнение ЭТП полива на орошаемом участке поля составляет: на ЭТП-1 - подача и распределение оросительной воды 96,5% (при РД=10%) и 73% (при РД=100%), а на ЭТП-2 и ЭТП-3 - перемещение и освещение ШДМ 3,5% (при РД=10%) и 27% (при

РД=100%). При этом эффективная мощность на валу ДВС составляет: 103,31 кВт при РД=10% и 136,16 кВт при РД=100%. Предпочтительными режимами движения ШДМ являются РД=15-30%, при которых образование поверхностного стока будет минимальным.

Получены первичные зависимости энергоемкости полива 1 га площади и распределения 1 м³ оросительной воды от режима движения ШДМ (при норме полива $m=521,75 \text{ м}^3/\text{га}$):

-при уменьшении напора насоса на 25% (с 36 до 27 м) энергоемкости полива 1 га площади и распределения 1 м³ оросительной воды за проход снижаются на 14,5%, также снижается на 24% эффективная мощность на валу ДВС;

-при уменьшении производительности насоса на 25% (с 720 до 540 м³/час) интенсивность дождя снижается с 1,30 до 0,978 мм/мин., что позволит использовать ШДМ при поливе различных культур на различных по структуре почвах, без образования поверхностного стока. Энергоемкость полива 1 га площади и распределения 1 м³ оросительной воды за проход снижается на 14,5%, также снижается на 24% эффективная мощность на валу ДВС. Для обеспечения оросительной нормы растет количество проходов за сезон на величину, кратную кратности уменьшения производительности насоса;

-при синхронном уменьшении напора и производительности насоса на 25% снижаются интенсивность дождя - с 1,30 до 0,978 мм/мин., энергоемкость полива 1 га площади и распределения 1 м³ оросительной воды за проход - на 25,4% и эффективная мощность на валу ДВС - на 41%, при этом растет количество проходов за сезон. Рекомендуется заменить ДВС на соответствующую мощность. Полив с интенсивностью дождя, которая исключает образование стока на почве, приводит к повышению урожайности культуры и снижению энергоемкости выращиваемой культуры.

5. Установлено, что на альтернативном варианте энергоснабжения ШДМ, где используется электрическая энергия, системная энергоемкость в 2,3 раза ниже, чем на базовом варианте энергоснабжения ШДМ, где используется ДВС.

Литература

1. Карпов, В.Н., Юлдашев, З.Ш. Показатели энергетической эффективности действующих агроинженерных (технических) систем -СПб.: СПбГАУ, 2014. -160 с. ISBN 978-5-85983-1681.
2. Kabanen, T.V., Karpov, V.N., Yuldashev, Z. Sh., Nemsev, A.A., Nemsev I.A. Fundamentals of the theory and method of managing energy efficiency in consumer systems / Agronomy Research 14(5), 1619-1625, 2016.
3. Карпов, В.Н., Юлдашев, З.Ш. Повышение энергоэффективности мобильных автономных агрегатов - дождевальных машин фронтального действия. - СПб.: СПбГАУ, 2019. -187 с. ISBN 978-5-85983-319-1.
4. Юлдашев, З.Ш. Повышение энергоэффективности в технологиях мобильных автономных агрегатов (на примере дождевальных машин фронтального действия): дисс. ...д-ра техн. наук: 05.20.02 / Юлдашев Зарифджан Шарифович. - Санкт-Петербург, 2018. -433 с.
5. Юлдашев, З.Ш. Эффективное энергообеспечение для устойчивого развития сельского хозяйства / В.Н. Карпов, З.Ш. Юлдашев // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». -Вып. 2 (53), 2012. -С.27-29

АННОТАЦИЯ

БАЛАНД БАРДОШТАНИ САМАРАНОКИИ ЭНЕРГЕТИКИИ МОШИНҲОИ ОБПОШИИ ҲАРАКАТАШОН ФРОНТАЛИ

Дар мақола натиҷаи тадқиқоти таҷрибавию назариявӣ оид ба энергосамаранокии

ичрои раванди энерготехнологӣ дар истеҳсолоти кишоварзӣ дар мисоли агрегатҳои худкори мобилӣ - мошинҳои обпошии тамғаи «Кубань-Л» оварда шудааст. Натиҷаи ҳисоби энергоғунҷоиши иҷрои раванди энерготехнологии обпошӣ ҳангоми ҳаракати ҷарҳҳои канорӣ бо суръатҳои гуногун ва қимматҳои гуногуни фишори оби пошидани насоси обкашӣ ва ҳосилнокии он дар вариантҳои асосӣ ва алтернативии энерготяъминкунии мошини обпошӣ оварда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: *энергосарфақунӣ, самаранокии энергетикӣ, энергоғунҷоиши обкашӣ, мошини обпошӣ.*

АННОТАЦИЯ ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН ФРОНТАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

В статье приведены результаты экспериментально-теоретических исследований по определению энергоэффективности выполнения энерготехнологического процесса в сельскохозяйственном производстве на примере мобильных автономных агрегатов - дождевальных машин типа "Кубань-Л". Приведены результаты расчета энергоемкости выполнения энерготехнологического процесса полива, при движении с различными скоростями и различных значениях напора, и производительности водяного насоса оросительной воды для базового, и альтернативного вариантов энергообеспечения дождевальных машин.

Ключевые слова: *энергосбережение, энергоэффективность, энергоемкость полива, дождевальная машина.*

ANNOTATION ENHANCING ENERGY EFFICIENCY FRONT ACTION RAINING MACHINES

The article presents the results of experimental-theoretical studies on the energy efficiency of the energy process in agricultural production using the example of mobile autonomous units - rain-making machines of the type "Kuban-L". The results of the calculation of the energy intensity of the energy-technology watering process when moving at different speeds and different values of pressure and performance of the water pump irrigation water for the basic and alternative energy supply options of rain machines are presented.

Key words: *energy saving, energy efficiency, energy intensity of irrigation, sprinkler.*