

растает количество архей, а среднесуточное производство биогаза при этом увеличивается примерно на 25 % [3].

**Заключение.** Использование неадаптированного инокулята для переработки навоза крупного рогатого скота в биогаз неэффективно. Целесообразно перерабатывать навоз без использования инокулята – при этом следует учитывать, что микробному консорциуму требуется время для адаптации к новым условиям среды.

### **Список использованной литературы**

1. Pfeiffer D., Dittrich-Zechendorf, M. Messmethodensammlung Biogas: Methoden zur Bestimmung von analytischen und prozessbeschreibenden Parametern im Biogasbereich. Leipzig, Deutschland: DBFZ GmbH, 2012.
2. VDI 4630. Vergärung organischer Stoffe: Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Düsseldorf: VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt, 2016.
3. Yangin-Gomec C, Sapmaz T, Aydin S. Impact of inoculum acclimation on energy recovery and investigation of microbial community changes during anaerobic digestion of the chicken manure. Environ Technol. 2020; 41(1): 49–58.

УДК 631.3-83:621.313.13

## **МОСТОВОЙ АГРЕГАТ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА С ЛИНЕЙНЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ**

**А. Мухаммадиев, д-р техн. наук, профессор,  
Р.Ф. Юнусов, доцент, Т.М. Байзаков, канд. техн. наук, доцент,  
А.А. Махмудов, студент**

*«Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» – Национальный исследовательский университет,  
г. Ташкент, Республика Узбекистан  
rustem-59@mail.ru*

*Аннотация:* Мостовой метод выполнения транспортно-производственных процессов в растениеводстве и животноводстве является прогрессивным. Эффективным электроприводом мостового агрегата с точки зрения энерго- ресурсосбережения определяется электропривод с линейным асинхронным двигателем. В статье приведена упрощённая методика расчёта линейного асинхронного двигателя.

*Abstract:* The bridge method of carrying out transport and production processes in crop and livestock production is progressive. From the point of view of energy and resource saving, an efficient electric drive of a bridge unit is defined as an electric drive with a linear asynchronous motor. The article presents a simplified method for calculating a linear induction motor.

*Ключевые слова:* Мостовой агрегат, электропривод, линейный асинхронный двигатель, ресурсосбережение, расчётная методика.

*Key words:* Bridge unit, electric drive, linear asynchronous motor, resource saving, design procedure.

**Введение.** В различных отраслях агропро-мышленного комплекса (растениеводство, животноводство, предприятия ремонта техники и переработки сельхозпродукции и др.) в общем комплексе производственных работ транспортные и погрузочно-разгрузочные работы составляют более 35–40 % общих трудозатрат, которые, в свою очередь, объединяют функции транспортных и технологических машин (тяговая и транспортная машины, различные механизмы и орудия для возделывания почвы, разбрасыватели удобрений, кормораздатчики, навозоуборочные установки и др.). В себестоимости произведённой продукции растениеводства и животноводства транспортные расходы составляют до 40 % [1-5].

В растениеводстве на ограниченных площадях одним из перспективных технологических способов возделывания и обработки почвы и выращивания овощей и бахчевых является мостовое земледелие [1]. За последнее десятилетие мостовое земледелие в таких странах как, Япония, Англия, Австралия перешло из стадии научных разработок в производство в первую очередь в овощеводстве закрытого грунта, выращивание риса, корнеплодов и различных технических культур.

Принцип мостового агрегата позволяет разработать электромеханизованную технологию выращивания рассады с созданием идеальных условий растений: оптимальное рыхление почвы, точная заделка семян по глубине, междурядная обработка растений рассады с минимальной защитной зоной. При этом многие рабочие органы (мост и сельхозорудия) эффективно можно электрифицировать посредством электроприводов и различных электротехнологических установок, это обеспечит экологическую чистоту внешней среды и растений.

**Основная часть.** Мостовой агрегат выполнен в виде двухопорной несущей фермы для крепления сельхозорудия. Несущая ферма изготовлена из швеллера, концы которого опираются на транспортные тележки (рис. 1). Электроснабжение мостового агрегата осуществляется через кабельный барабан, установленный над транспортной тележкой. Мостовой агрегат передвигается на обрезиненных колесах по направляющей колее, выполненной из швеллера.

Исходные технические данные мостового агрегата: Масса моста – 2,0 тонны; Высота – 1,4 м; Ширина – 9 м; Диаметр ходовых колес – 600 мм; Максимальная скорость механизма – 1,0 м/с; Минимальная скорость – 0,25 м/с; Требуемое ускорение – 0,8 м/с; Сила сопротивления почвы при рабочей скорости механизма – 4000 Н.

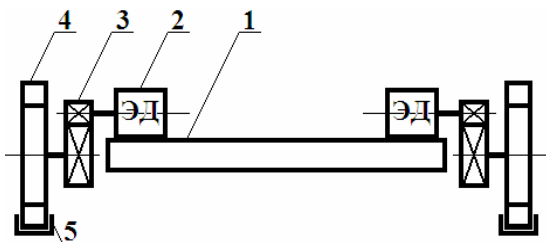


Рисунок 1 – Конструкция мостового агрегата:  
 1 – несущая ферма для крепления сельхозорудия;  
 2 – электродвигатель;  
 3 – редуктор; 4 – колесо;  
 5 – направляющая колеса.

Требования к электроприводу мостового агрегата. Технологический процесс выращивания рассады определяет, что для оптимального его роста необходима высокая точность посева. Отклонение от этой точности приводит к изреженным всходам и неравномерности всхода рассады, точно такая же высокая точность требуется для обработки готовой рассады (междурядная обработка, рыхление, подрезка корней рассады). Высокая точность обработки напрямую зависит от плавности хода мостового электроагрегата.

Обработка почвы мостовым агрегатом происходит в двух направлениях, поэтому необходимо, чтобы электропривод был реверсивным. Схема управления электропривода должна обеспечивать выравнивание нагрузки двигателей, и обеспечивать диапазон скоростей. Также электропривод должен иметь минимальные габаритные размеры и вес, так как он будет устанавливаться на раме мостового агрегата. Простота также играет немаловажную роль, ввиду невысокого уровня обслуживающего персонала.

Обоснование выбора электропривода с линейным асинхронным двигателем для мостового агрегата. Эффективные возможности упрощения конструкции, снижения материало- и энергоёмкостей ряда электроприводов технологических машин и механизмов при использовании линейных асинхронных электродвигателей обусловлены непосредственным преобразованием в них электрической энергии в различные виды и траектории движения (вращательное, поступательное, колебательное и др.) с практически более высокими, чем электроприводы с механическими преобразователями, тяговыми, энергетическими и эргономическими показателями. Проводятся работы по разработке линейного асинхронного электропривода для различного технологического оборудования: платформенных кормораздатчиков, вибрационных смесителей, исполнительных механизмов точного позиционирования [2-5].

Описание упрощенной методики расчёта линейного асинхронного двигателя. Современная практика проектирования электрических машин предполагает использование на разных стадиях проектирования математических моделей различной степени сложности. В инженерной практике важное значение имеют упрощенные, приближённые методики, которые позволяют с малыми затратами времени и средств производить прикидочные расчёты при проектировании опытных образцов машин.

Механизм работает в помещении при отсутствии ветровой нагрузки, поэтому мощность на валу двигателя, необходимая для передвижения мостового агрегата определяется по [3]

$$P = \frac{m \cdot g \cdot V_{\text{mex}}}{10^3 \cdot m_k \cdot \eta} \left( \frac{\varphi_n \cdot d_{\text{cm}} + 2M}{D_k} K_{\rho\delta} \right) + P_n \quad (1)$$

где  $m$  – масса перемещаемого механизма, кг;  $g=9,8$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения;  $V_{\text{mex}}$  – скорость передвижения механизма, м/с;  $\eta=0,015$  – коэффициент трения в подшипниках качения ступиц колес;  $D_k$  – диаметр ходового колеса, м;  $d_{\text{cm}}$  – диаметр ступицы ходового колеса, м;  $\eta$  – КПД механизма;  $m_k=1$  – число механизмов передвижения;  $M=0,5 \times 10^{-3}$  – коэффициент трения качения;  $K_{\rho\delta}=1,3, 1,4$  – коэффициент формы ходового колеса, учитывающий трение ребер ходового колеса.

Мощность (Вт), учитывающая сопротивление почвы

$$P_n = Q \cdot V_{\text{mex}}, \quad (2)$$

где  $Q = 4000$  Н – сила трения инструмента о почву.

Для предполагаемой конструкции вторичного элемента по нижеприведенным выражениям [5-7] рассчитывается электромагнитная добротность  $\varepsilon$

$$\varepsilon = \frac{\mu_0 \gamma_2 k_q s \omega_1 \tau^2 \Delta}{\pi^2 k_\delta k_\mu \delta} = \varepsilon_0 s, \quad (3)$$

где  $k_q$  – коэффициент, учитывающий поперечный краевой эффект;  $\varepsilon_0$  – магнитное число Рейнольдса (электромагнитная добротность) при скольжении  $s = I$ .

Относительный ток намагничивания

$$I_{m^*} = \frac{I}{\cos \psi_2 \sqrt{1 + (\varepsilon + \text{tg} \psi_2)^2}}. \quad (4)$$

Для стального вторичного элемента ток  $I_{m*}$  находится на основании [5,6] после определения линейной токовой нагрузки  $A_1$ . Далее определяются электромагнитные нагрузки.

В зависимости от принятого класса нагревостойкости изоляции и предполагаемой продолжительности включения ЛАД по рекомендациями [5] выбираем фактор нагрева  $A_1 j$ .

Линейная токовая нагрузка индуктора

$$A_1 = k_{12} \sqrt{A_1 j k_{3..m} k_{11} t_{z1}}. \quad (5)$$

Индукция магнитного поля в воздушном зазоре:

$$B_{\delta} = 5,62 \cdot 10^{-7} \frac{k_{o6} \tau A_1 I_{m*}}{k_{\mu} \delta_3}. \quad (6)$$

Максимальная индукция в основании зубца:

$$B_{zmax} = \frac{B_{\delta} k_n}{k_c (1 - k_{12})} \left( \frac{1,05 k_{11} \delta_3}{k_{o6} \tau I_{m*}} + 1 \right). \quad (7)$$

Механическая мощность ЛАД

$$P_m = \frac{6,3}{\mu_0} B_{\delta i}^2 2 b f_1 k_{\mu} \delta_3 p \varepsilon \cos^2 \psi_2 (1 - s) k_F. \quad (8)$$

Удельное тяговое усилие

$$F_{y0} = \frac{1,58}{\mu_0 \tau} B_{\delta}^2 k_{\mu} \delta_3 \varepsilon \cos^2 \psi_2 k_F. \quad (9)$$

Энергетический фактор

$$\eta \cos \varphi = \frac{k_E \varepsilon \cos \psi_2 (1 - s) k_{\eta}}{\sqrt{1 + (\varepsilon + \operatorname{tg} \psi_2)^2}}. \quad (10)$$

Расчёт обмоточных данных индуктора ЛАД производится известными методами [3-7]. По окончании предварительных расчетов уточнение характеристик и показателей ЛАД, а в ряде случаев и корректировку некоторых их параметров можно проводить по более сложным математическим моделям, позволяющим учесть как конструктивные особенности ЛАД, так и особенности режимов их работы.

Наибольшими возможностями при анализе характеристик ЛАД обладает метод, использующий развёрнутые схемы замещения электрических и магнитных цепей, позволяющих рассчитывать двигатели при произвольной схеме обмоток индуктора и различ-

ных схемах питания (например, двутокового или питания от тиристорного преобразователя) с учётом дискретности вторичного элемента, в том числе в нестационарных режимах работы [5-7]. Известно, что выбор той или иной расчётной методики часто ограничивается возможностями вычислительной техники. Предлагаемый выше метод расчёта ЛАД в этом плане выгодно отличается от других, поскольку позволяет менять степень дискретизации математической модели, а значит, изменять трудоёмкость расчётов.

**Заключение.** 1. Мостовой метод выполнения транспортно-технологических процессов в производствах агропромышленного комплекса с электроприводом агрегата на базе линейного асинхронного двигателя является энерго- и ресурсосберегающим.

2. Математическая модель основанная на численном методе детализированных электрических и магнитной схем замещения достаточно адекватно описывает электромагнитные процессы в линейном асинхронном электродвигателе. Проводимые исследования на математических и физических моделях с целью повышения тяговых и энергетических показателей в различных режимах работы линейных асинхронных двигателей с различными схемами соединения обмоток индуктора, конструктивными исполнениями вторичного элемента являются оправданными с технико-экономических позиций.

### **Список использованной литературы**

1. Патент РФ RU 2161386, МКИ<sup>5</sup>А 01 В 49/00, 20.11.97 Агрокомплекс / И.А. Майсов.
2. Юнусов Р.Ф. и др. Платформенный раздатчик кормов. Патент РУз от 22.03.2000 г. МПК<sup>6</sup> А01К5/ 02. – № ИНДР 9900052.1 D/F. Заявл. 03.02.99.
3. Yunusov R.F., Bayzakov T.M., Sattarov N.E., Xaliqnarov U.A., Nazarov O.A., Diniqulov D.U. Linear electric actuator of a sectional plane shut-off of hydrotechnical structures // 1st International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering 2020 (ICECAE 2020). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 (2020) 012017.
4. Электропривод на базе двигателей с разомкнутым магнитопроводом для машин Агропромышленного комплекса: Отчет/ ЧИМЭСХ; Рук. темы А.А.Пястолов. Отв. исполнитель Р.Ф.Юнусов. № ГР 01860022328; Инв. № 2880002765. – Челябинск, 1987. – 49 с.
5. Веселовский О.Н., Коняев А.Ю., Сарапулов Ф.Н. Линейные асинхронные двигатели.- М.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
6. Вольдек А.И. Индукционные магнитогидродинамические машины с жидкометаллическим рабочим телом. – Л.: Энергия, 1970. – 272 с.
7. Muhammadiev A., Yunusov R.F., Bayzakov T.M., Sattarov N.E., Yusupov Sh.B., Xaliqnarov U.A., Sattarov M.N. Liner motor drive of cattle farm feeders // 1st International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering 2020 (ICECAE 2020). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 614 (2020) 012013.