

Габачиев Д. Т., Хажметов Л. М.

Gabachiev J. T., Khazhmetov L. M.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
РАБОЧЕГО МЕХАНИЗМА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ**

**DETERMINATION OF THE MECHANICAL CHARACTERISTICS
OF THE WORKING MECHANISM OF THE SHREDDER**

Создание прочной кормовой базы является главным условием развития животноводства. В настоящее время поголовье крупного рогатого скота (КРС) в Кабардино-Балкарской Республике (КБР) содержится в основном в крестьянских (фермерских) хозяйствах.

Основной причиной сдерживания роста поголовья и повышения его продуктивности является дефицит качественных кормов и несбалансированность кормовых рационов, особенно рационов зимнего периода содержания КРС, когда для откорма сельскохозяйственных животных используются грубые корма.

Для измельчения грубых кормов используются различные технологии и технические средства, в основном предназначенные для измельчения соломы и сена. Общими их недостатками являются низкая универсальность, большая энергоёмкость процесса измельчения и металлоёмкость, большая рыночная стоимость.

Для развития крестьянских (фермерских) хозяйств необходим универсальный измельчитель, обеспечивающий качественное измельчение грубых кормов независимо от их физико-механических характеристик при малых энергозатратах и имеющий небольшую стоимость.

В связи с этим разработан и испытан универсальный измельчитель грубых кормов.

Для определения характеристик был произведен расчет эквивалентной мощности для участка полной нагрузки. По мощности был выбран электродвигатель, произведен расчет эквивалентной мощности для участка полной нагрузки, были вычислены угловая скорость электродвигателя и номинальный момент электродвигателя. Для построения механической характеристики была рассмотрена нагрузочная диаграмма электропривода рабочих органов измельчителя.

Ключевые слова: электродвигатель, угловая скорость, номинальный момент, диаграмма, рабочие механизмы, механические характеристики, мощность.

The creation of a solid forage base is the main condition for the development of animal husbandry. Currently, the number of cattle (cattle) in the Kabardino-Balkarian region (KBR) is kept mainly in peasant (farm) farms.

The main restraint in the growth of livestock and the reason for its productivity is the lack of high-quality feed and unbalanced feed rations, especially rations for the winter period of cattle keeping, when roughage is used to feed farm animals.

Various technologies and technical means are used for crushing roughage, mainly intended for crushing straw and hay. Their common disadvantages are low versatility, high energy consumption of the grinding process and metal consumption, high market value.

The equivalent power was calculated for the full load section, the electric motor was selected by power, the equivalent power was calculated for the full load section, the angular velocity of the electric motor and the rated torque of the electric motor were calculated. To construct a mechanical characteristic, the load diagram of the electric drive of the working bodies of the shredder was considered.

Key words: electric motor, angular velocity, rated torque, diagram, working mechanisms, mechanical characteristics, power.

Габачиев Джамалдин Тамирланович – ассистент кафедры энергообеспечения предприятий, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик
Тел.: 8 960 424 32 04
E-mail: Jantik_07@mail.ru

Хажметов Лиуан Мухажевич – доктор технических наук, профессор кафедры технической механики и физики, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик
Тел.: 8 928 076 14 72
E-mail: hajmetov@yandex.ru

Jamaldin Tamirlanovich Gabachiev – Assistant of the Department Energy Supply of enterprises, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik
Tel.: 8 960 424 32 04
E-mail: Jantik_07@mail.ru

Khazhmetov Liuan Mukhazhevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik
Tel.: 8 928 076 14 72
E-mail: hajmetov@yandex.ru

Введение. Для построения механической характеристики рассмотрим нагрузочную диаграмму электропривода рабочих органов измельчителя (рис. 1). Запуск установки осуществляется на холостом ходу с последующей загрузкой механизма подачи – ленточного транспортера и рабочего органа [1].

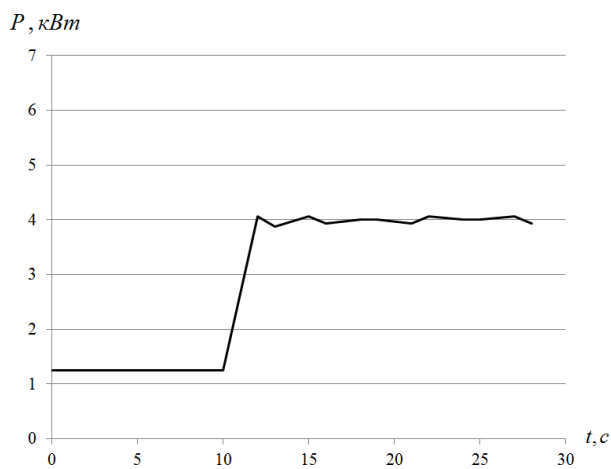


Рисунок 1 – Нагрузочная диаграмма измельчителя

Мощность двигателя измельчителя тратится на мощности: $P_{ИЗМ}$ – мощность измельчения; $P_{ПОД}$ – мощность механизма подачи; $P_{ХХ}$ – мощность холостого хода машины.

Причем соблюдается соотношение: $P_{ИЗМ} : P_{ПОД} : P_{ХХ} = 3:1:1$.

Расчет эквивалентной мощности проводим для участка полной нагрузки. Опреде-

ляем эквивалентный статический момент по формуле:

$$P_{ЭКВ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i + t_{i+1} + t_{i+1}) \cdot t_i}{\sum_{i=1}^{n-1} t_i}} \quad (1)$$

Согласно нагрузочной диаграмме, получим, что $P_{ЭКВ} = 3,86$ кВт.

Высокопроизводительный, надежный и экономически выгодный только такой производственный агрегат, у которого приводной электродвигатель имеет электромеханические свойства, соответствующие характеристикам и технологическим требованиям рабочей машины. Важнейшими признаками двигателя рабочих машин являются их механические характеристики [2].

Результаты исследования. Механические характеристики измельчителя описываются такой эмпирической формулой:

$$M_C = M_0 + (M_{СН} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^X, \quad (2)$$

где:

M_C – момент сопротивления при угловой скорости ω , Н·м;

$M_{СН}$ – момент сопротивления при угловой скорости ω_H , Н·м;

X – показатель степени для измельчителей, характеризующий изменение статического момента при изменении угловой скорости;

M_0 – момент сопротивления трения движущихся частиц (не зависит от скорости), Н·м;

ω, c^{-1} – текущие значения угловой скорости, c^{-1} ;

ω_H – номинальная угловая скорость рабочего органа, c^{-1} .

Момент сопротивления при номинальной угловой скорости рассчитывается по выражению [3]:

$$M_{C.H} = 9550 \frac{P_{XX}}{n_H}, \quad (3)$$

где:

n_H – номинальная частота вращения рабочего органа, об/мин.

При $P_{XX}=1,25$ кВт и $n_H=2000$ об/мин в соответствии с выражением (3) получим, что $M_{C.H} = 5,97$ Н·м.

Для измельчителей, которые запускаются в холостую:

$$\frac{M_0}{M_{C.H}} = 0,3. \quad (4)$$

Отсюда имеем:

$$M_0 = 0,3M_{C.H.OM}. \quad (5)$$

Таким образом, $M_0=1,79$ Н·м.

Номинальная угловая скорость рабочего органа рассчитывается по выражению:

$$\omega_H = \frac{\pi n_H}{30}. \quad (6)$$

С учетом того, что $n_H=2000$ об/мин, получим: $\omega_H = 209c^{-1}$.

Результаты расчета механической характеристики сведены в табл. 1 (рис. 2).

Таблица 1 – Результаты расчета механической характеристики

| ω | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 209 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| M_0 | 1,79 | 1,79 | 1,79 | 1,79 | 1,79 | 1,79 | 1,79 | 1,79 |
| $M_{C.H}$ | 5,97 | 5,97 | 5,97 | 5,97 | 5,97 | 5,97 | 5,97 | 5,97 |
| ω_H | 209 | 209 | 209 | 209 | 209 | 209 | 209 | 209 |
| X | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| M_C | 1,79 | 1,88 | 2,14 | 2,57 | 3,17 | 3,94 | 4,89 | 5,97 |

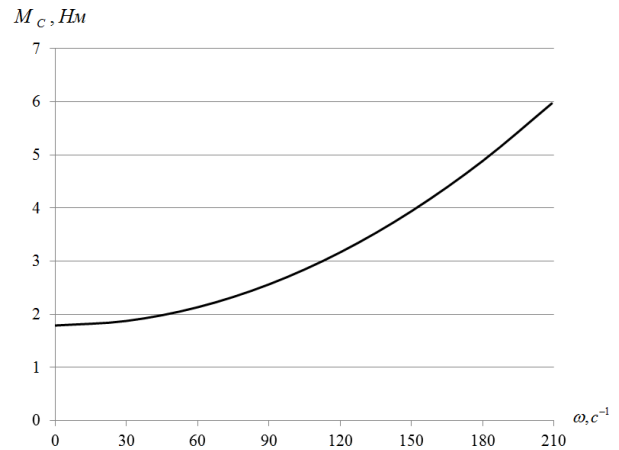


Рисунок 2 – Механическая характеристика электропривода измельчителя

Эквивалентная мощность на валу электродвигателя [4]:

$$P_{\mathcal{E}} = \frac{P_{\mathcal{E}KB}}{\eta_0}, \quad (7)$$

где:

η_0 – общий коэффициент полезного действия всех передач, $\eta_0=0,808$.

Тогда $P_{\mathcal{E}}=4,78$ кВт.

По мощности выбираем электродвигатель по условию:

$$P_H \geq P_{\mathcal{E}}. \quad (8)$$

Выбираем предварительно электродвигатель серии АИМ112М4 с такими техническими характеристиками: $P_{H.DB} = 5,5$ кВт;

$n_{H.DB} = 1500$ об/мин; $I_H = 11,5$ А; $k_{II} = 2,3$;

$k_{\min} = 1,8$; $k_{\max} = 2,8$; $k_i = 7,0$; $J_P = 0,016$ кг·м².

Выполняем проверочный расчет соблюдения условий пуска:

$$M_{H.DB} \geq M_{H.П}. \quad (9)$$

Угловая скорость электродвигателя:

$$\omega_{H.DB} = \frac{\pi n_{H.DB}}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 c^{-1}. \quad (10)$$

Номинальный момент электродвигателя:

$$M_{H.DB} = \frac{P_{H.DB}}{\omega_{H.DB}} = \frac{5,5}{157} = 0,035 \text{ Н·м}. \quad (11)$$

Момент статического сопротивления двигателя, приведенного к валу электродвигателя:

$$M_{CC} = \frac{M_{\max} \omega_H}{\omega_{H.ДВ}} = \frac{0,026 \cdot 209}{157} = 0,035 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (12)$$

где

$$M_{\max} = \frac{P_{\max}}{\omega_{H.ДВ}} = \frac{4,06}{157} = 0,026 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (13)$$

Номинальный момент при пуске двигателя:

$$M_{H.П} = 1,25 \frac{M_{CC}}{k_{\min} U^2} = 1,25 \frac{0,035}{1,8 \cdot 0,8} = 0,03 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (14)$$

где:

$k_{\min} = 1,8$ – кратность минимального момента электродвигателя;

$U = 0-0,925$ – напряжение при пуске электродвигателя, для мощных двигателей берется меньшее значение [5].

Согласно (9):

$$M_{H.ДВ} = 0,035 \geq M_{H.П} = 0,03, \quad (15)$$

т.е. условие пуска выполняется.

Таким образом, окончательно принимаем электродвигатель серии АИМ112М4: асинхронный трехфазный двигатель серии АИМ общего назначения, с высотой оси вращения 112 мм, длинной станиной, с количеством полюсов – 4, УП – пылезащищенный, У2,5 – климатическое исполнение; степень защиты – IP54; конструктивное исполнение по способу монтажа – IM1081; исполнение по взрывозащите – СС0470 П2GEхdПВТ4 [6].

Максимально допустимый, приведенный к валу электродвигателя момент инерции рабочего органа:

$$J_{\max} = KK_m P_{H.ДВ}^{\nu} P^{\gamma}, \quad (16)$$

где:

K – коэффициент, учитывающий конструктивные особенности электродвигателя;

K_m – коэффициент, определяющий зависимость статического сопротивления от угловой скорости;

p – количество пар полюсов;

ν, γ – показатели степени.

Принимаем: $K = 0,045$ (для закрытых электродвигателей); $K_m = 0,85$ (для элек-

тродвигателей с высотой оси вращения до 250 мм); $p = 4/2 = 2$; $\nu = 1$; $\gamma = 2$. Тогда $J_{\max} = 0,842 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Приведенный к валу электродвигателя момент инерции рабочего органа:

$$J_{П.РО} = J_P (F_j - 1), \quad (17)$$

где:

J_P – момент инерции ротора, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

F_j – коэффициент инерции.

Принимаем: $J_P = 0,016 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $F_j = 15$ (для

измельчителей). Тогда $J_{П.РО} = 0,224 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Видно, что:

$$J_{\max} = 0,842 \geq J_{П.РО} = 0,224, \quad (18)$$

т.е. условие выполняется.

При неравномерной нагрузке проверяем выбранный электродвигатель на перегрузочную способность:

$$P_{H.ДВ} \geq 1,33 \frac{P_{\max}}{k_{\max}}, \quad (19)$$

где:

k_{\max} – кратность максимального момента;

та;

Для выбранного электродвигателя $k_{\max} = 2,8$. Тогда:

$$P_{H.ДВ} = 5500 \geq 1,33 \frac{4060}{2,8} = 1928,5.$$

Как видно, условие выполняется.

Активная мощность, потребляемая электродвигателем из сети:

$$P_{A.H} = \frac{P_{H.ДВ} K_3}{\eta_{H.ДВ}}, \quad (20)$$

где:

K_3 – коэффициент загрузки;

$\eta_{H.ДВ}$ – номинальное значение КПД электродвигателя [7].

Для выбранного электродвигателя: $K_3 = 0,8$; $\eta_{H.ДВ} = 0,87$. Тогда:

$$P_{A.H} = \frac{5,5 \cdot 0,8}{0,87} = 5,18 \text{ кВт}.$$

Реактивная мощность, потребляемая электродвигателем:

$$Q_{P.H} = P_{A.H} \operatorname{tg} \varphi_H, \quad (21)$$

где:

$\operatorname{tg} \varphi_H$ – тангенс угла при номинальном значении $\cos \varphi_H$.

Для выбранного электродвигателя:

$\operatorname{tg} \varphi_H = 0,66$ при $\cos \varphi_H = 0,84$. Тогда:

$$Q_{P.H} = 5,18 \cdot 0,66 = 3,42 \text{ квар.} \quad (22)$$

Полная мощность:

$$S_H = \sqrt{P_{A.H}^2 + Q_{P.H}^2} = \sqrt{5,18^2 + 3,42^2} = 6,21 \text{ кВА.} \quad (23)$$

Литература

1. *ГОСТ Р ИСО 6497-2011*. Корма для животных. Отбор проб. – М.: Стандартинформ, 2012. – 15 с.
2. *ГОСТ 12.2.042-2013*. Система стандартов безопасности труда. Машины и технологическое оборудование для животноводства и кормопроизводства. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2014. – 23 с.
3. *Arazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Khazhmetov L.M., Gabachiev D.T.* [и др.] Scientific justification of power efficiency of technological process of crushing of forages // *Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference «Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering (APITECH-2019)»*. – Vol. 1399. – 2019.
4. *Хажметов Л.М., Габачиев Д.Т., Шекихачева Л.З.* Обоснование конструктивно-технологической схемы измельчителя грубых кормов // *АгроЭкоИнфо*. – 2017. – № 2(28). – С. 14.
5. Пат. 168572 Российская Федерация. МПК В02С4/02. Измельчитель грубых кормов / *А.К. Апажев, Л.М. Хажметов, Ю.А. Шекихачев, Д.Т. Габачиев* [и др.]; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова»; – №2016118869; заявл. 16.05.2019; опубл.09.02.2017; Бюл. №4.
6. *Хажметов Л.М., Габачиев Д.Т., Шекихачева Л.З.* Математическое моделирование процесса работы измельчителя грубых кормов // *АгроЭкоИнфо*. 2017. – № 2 (28). –С. 11.
7. *Хажметов Л.М., Габачиев Д.Т., Шекихачева Л.З.* Оптимизация параметров и режимов работы измельчителя кормов // *АгроЭкоИнфо*. – 2017. –№ 4 (30). – С. 37.

References

1. GOST R ISO 6497-2011. Korma dlya zhivotnyh. Otbor prob. – M.: Standartinform, 2012. – 15 s.
2. GOST 12.2.042-2013. Sistema standartov bezopasnosti truda. Mashiny i tekhnologicheskoje oborudovanie dlya zhivotnovodstva i kormoproizvodstva. Obshchie trebovaniya bezopasnosti. – M.: Standartinform, 2014. – 23 s.
3. *Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Khazhmetov L.M., Gabachiev D.T.* [и др.] Scientific justification of power efficiency of technological process of crushing of forages // Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference «Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering (APITECH-2019)». – Vol. 1399. – 2019.
4. *Hazhmetov L.M., Gabachiev D.T., Shekikhacheva L.Z.* Obosnovanie konstruktivno-tekhnologicheskoy skhemy izmel'chitelya grubyyh kormov // AgroEkoInfo. – 2017. – № 2(28). – S. 14.
5. Pat. 168572 Rossijskaya Federaciya.MPK V02S4/02. Izmel'chitel' grubyyh kormov. / *A.K. Apazhev, L.M. Hazhmetov, Yu.A. Shekikhachev, D.T. Gabachiev* [и др.]; zayavitel' i patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Kabardino-Balkarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. V.M.Kokova»; – №2016118869; zayavl. 16.05.2019; opubl. 09.02.2017; Byul. №4.
6. *Hazhmetov L.M., Gabachiev D.T., Shekikhacheva L.Z.* Matematicheskoe modelirovanie processa raboty izmel'chitelya grubyyh kormov // AgroEkoInfo. 2017. – № 2 (28). –S. 11.
7. *Hazhmetov L.M., Gabachiev D.T., Shekikhacheva L.Z.* Optimizaciya parametrov i rezhimov raboty izmel'chitelya kormov // AgroEkoInfo. – 2017. –№ 4 (30). – S. 37.