

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 629.366

*П. А. Амельченко, Д. А. Дубовик, И. Н. Жуковский*

### ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫЕ ТРАКТОРЫ: СТРУКТУРА, ПРОИЗВОДСТВО И ПОТРЕБНОСТИ АПК БЕЛАРУСИ

UDC 629.366

*P. A. Amelchenko, D. A. Dubovik, I. N. Zhukovsky*

### POWER-SATURATED TRACTORS: THEIR STRUCTURE, PRODUCTION AND NEEDS OF THE BELARUSIAN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

#### Аннотация

Рассмотрены назначение, особенности и параметры энергонасыщенных сельскохозяйственных тракторов, структура и объёмы их производства в Республике Беларусь, структура и состояние тракторного парка агропромышленного комплекса (АПК) страны и пути их совершенствования. Выявлены основные недостатки тракторного парка АПК, установлены наиболее вероятные причины этих недостатков, предложены пути их устранения.

#### Ключевые слова:

тракторы, единичная эксплуатационная мощность, удельная энергонасыщенность, средняя рабочая скорость, производство, агропромышленный комплекс, тракторный парк.

#### Abstract

The paper considers the purpose, features and parameters of power-saturated agricultural tractors, the structure and volumes of their production in the Republic of Belarus, the structure and state of the tractor fleet of the agro-industrial complex (AIC) of the country and the ways of their improvement. The main problems of the AIC tractor fleet are revealed, the most probable causes of these problems are identified, and the ways of their elimination are proposed.

#### Keywords:

tractors, unit operating power, specific power saturation, average operating speed, production, agro-industrial complex, tractor fleet.

Как энергетические средства для дальнейшего повышения производительности труда в растениеводстве на стыке 70–80-х гг. прошлого века появились энергонасыщенные тракторы. До настоящего времени они продолжают занимать все большее распространение в модельных рядах тракторов ведущих производителей. Повышение энергонасыщенности обеспечивается за счет наращивания мощности двигателей тракторов, а также дополнения модель-

ных рядов гусеничными тракторами нового технического уровня, близко унифицированными с колесными моделями аналогичной мощности [1]. При этом мировые производители тракторной техники продолжают поисковые исследования и интенсивные НИОКР по проработке концепции сельскохозяйственного трактора с двигателем мощностью свыше 500 л. с.

Энергонасыщенные тракторы предназначены для агрегатирования с



комбинированными многооперационными агрегатами, в состав которых входят сельскохозяйственные машины с активными рабочими органами [2]. В этих тракторах мощность двигателя резервируется для её постоянного отбора на привод активных рабочих органов сельхозмашин и при штатной эксплуатационной массе трактора не может быть полностью реализована в тяговом режиме работы. При этом трактор из тягового превращается в тягово-приводной [3].

Целью настоящей работы явилось исследование соответствия структуры и объёмов производства энергонасыщенных тракторов в Республике Беларусь структуре и объёмам потребности сельскохозяйственных организаций АПК страны, выявление основных недостатков тракторного парка АПК, установление наиболее вероятных причин этих недостатков и выработка предложений по их устранению.

Энергонасыщенные тракторы характеризуются двумя основными параметрами – единичной эксплуатационной мощностью  $N_{\text{э}}$  и удельной энергонасыщенностью [4, 5]. Последняя определяется из выражения

$$\mathcal{E}_T = \frac{N_{\text{э}}}{m_{\text{э}} \cdot g}, \quad (1)$$

где  $m_{\text{э}}$  – штатная эксплуатационная масса трактора (без балласта);  $g$  – ускорение свободного падения.

Величина удельной энергонасыщенности  $\mathcal{E}_T$  (1) имеет размерность кВт/кН = м/с и представляет собой условную теоретическую скорость движения трактора под воздействием мощности  $N_{\text{э}}$  при преодолении суммарного сопротивления движению, равного сцепной силе (весу)  $G_C = m_{\text{э}} \cdot g$ .

Определим взаимосвязь удельной энергонасыщенности трактора с важнейшими эксплуатационными параметрами его движения – рабочей ско-

ростью  $V_P$  и номинальным тяговым усилием  $P_{\text{крН}}$ :

$$\begin{aligned} V_P &= \frac{N_{\text{э}} \cdot \eta_{T \max}}{P_{\text{крН}}} = \\ &= \frac{N_{\text{э}} \cdot \eta_{T \max}}{m_{\text{э}} \cdot g \cdot \varphi_{\text{крН}}} = \mathcal{E}_T \cdot V_{\text{бн}}, \quad (2) \end{aligned}$$

где  $\eta_{T \max}$  – максимальный тяговый КПД;  $\varphi_{\text{крН}}$  – номинальное значение коэффициента использования сцепной силы на крюке;  $V_{\text{бн}}$  – номинальное значение безразмерной скорости движения трактора,  $V_{\text{бн}} = \frac{\eta_{T \max}}{\varphi_{\text{крН}}}$ .

Для энергонасыщенных тракторов «Беларус» максимальный тяговый КПД  $\eta_{T \max} = 0,625$ , номинальное значение коэффициента использования сцепной силы на крюке  $\varphi_{\text{крН}} = 0,4$ , и, соответственно, номинальное значение безразмерной скорости движения трактора  $V_{\text{бн}} = \frac{0,625}{0,4} = 1,5625$  [5].

Выражение (2) позволяет определить границу удельной энергонасыщенности, при которой трактор из тягового превращается в тягово-приводной. За граничное значение удельной энергонасыщенности  $\mathcal{E}_{TГ}$  можно принять то значение, при котором реализуется номинальное тяговое усилие трактора  $P_{\text{крН}}$  на средней рабочей скорости  $V_{\text{СР}}$  наиболее энергоёмкой почвообрабатывающей операции – пахоте.

На пахоте величина рабочих скоростей может изменяться в интервале значений от  $V_{p \min} = 6$  км/ч до  $V_{p \max} = 12$  км/ч [6]. При этом численное значение средней рабочей скорости  $V_{\text{СР}}$  трактора равно 9 км/ч (2,5 м/с).

Следовательно, граничная энергонасыщенность определится отношением значения средней рабочей скорости  $V_{\text{СР}}$



к номинальному значению безразмерной скорости движения трактора  $V_{\text{бн}}$ :

$$\mathcal{E}_{\text{ТГ}} = \frac{V_{\text{СР}}}{V_{\text{бн}}} = \frac{2,5}{1,5625} = 1,6 \text{ кВт/кН.} \quad (3)$$

Все сельскохозяйственные тракторы по удельной энергонасыщенности можно разделить на три группы:

- 1) малой удельной энергонасыщенности  $\mathcal{E}_{\text{ТМ}}$ ;
- 2) средней удельной энергонасыщенности  $\mathcal{E}_{\text{ТС}}$ ;
- 3) высокой удельной энергонасыщенности  $\mathcal{E}_{\text{ТВ}}$ .

В основу такой градации положен интервал значений рабочих скоростей  $V_{\text{Р}}$  на пахоте от 6 до 12 км/ч, разделенный на три скоростные группы:  $(7 \pm 1)$ ,  $(9 \pm 1)$  и  $(11 \pm 1)$  км/ч  $((1,94 \pm 0,28)$ ;  $(2,5 \pm 0,28)$  и  $(3,06 \pm 0,28)$  м/с) [7]. При этом града-

ция сельскохозяйственных тракторов по удельной энергонасыщенности будет иметь вид, соответствующий табл. 1.

Первыми энергонасыщенными тракторами «Беларус» стали колесные тракторы МТЗ-100 мощностью 100 л. с. и массой 3 750 кг (рис. 1, а) и МТЗ-142 мощностью 150 л. с. и массой 4 800 кг (рис. 1, б), которые были созданы ГСКБ Минского тракторного завода в конце 70-х гг.

Впоследствии на основе тракторов МТЗ-100 и МТЗ-142 ГСКБ Минского тракторного завода были разработаны и освоены в производстве тракторы серии 1000 (рис. 2, а), серии 1200 (рис. 2, б), серии 1500 (рис. 2, в) и серии 2000 (рис. 2, г) тяговых классов 1,4; 2,0 и 3,0 [9].

Табл. 1. Градация тракторов по удельной энергонасыщенности

Группа удельной энергонасыщенности трактора	$\mathcal{E}_{\text{ТМ}}$ , кВт/кН
Малая $\mathcal{E}_{\text{ТМ}}$	1,067...1,422
Средняя $\mathcal{E}_{\text{ТС}}$	1,423...1,777
Высокая $\mathcal{E}_{\text{ТВ}}$	1,778...2,133

а)



б)



Рис. 1. Тракторы модели МТЗ-100 (а) и МТЗ-142 (б) [8]





Рис. 2. Тракторы «Беларус» серии 1000 (а), серии 1200 (б), серии 1500 (в) и серии 2000 (г) [10]

В настоящее время к энергонасыщенным тракторам принято относить тракторы с единичной эксплуатационной мощностью  $N_{\text{э}} = 150$  л. с. (110 кВт) и выше. Технические характеристики белорусских современных сельскохозяйственных тракторов приведены в табл. 2.

В практике эксплуатации энергонасыщенных тракторов при отсутствии необходимых комбинированных агрегатов с активными рабочими органами и для реализации всей эксплуатационной мощности трактора в тяговом режиме работы приходится применять балластирование и спаривание ведущих колес. Это повышает эксплуатационную массу трактора до 20 % и выше её штатного значения по ТУ, снижает реальную энергонасыщен-

ность и превращает тягово-приводной трактор в тяговый.

Эксплуатация энергонасыщенных тракторов в тяговом режиме экономически и энергетически неэффективна. В МТА мощность трактора к агрегатируемым сельхозмашинам может подводиться через тягово-сцепное устройство и (или) через вал отбора мощности (ВОМ). В первом случае мощность передается с тяговым КПД ( $\eta_{T \max} = 0,625$ ) [11], а во втором – с КПД привода ВОМ, который у тракторов «Беларус»  $\eta_{\text{ВОМ}} = 0,94 \dots 0,96$  или в 1,5 раза больше  $\eta_{T \max}$ .

Таким образом, отбор мощности на привод активных рабочих органов повышает общий КПД трактора. В тяговом режиме работы общий КПД тракто-

ра равен тяговому КПД, а в тягово-приводном режиме – общему КПД трактора [12]:

$$\eta_{TP} \approx \eta_T \cdot (1 - \gamma_0) + \eta_0 \cdot \gamma_0, \quad (4)$$

где  $\gamma_0$  – относительная величина отбора мощности,  $\gamma_0 = \frac{N_0}{N_3}$ ;  $\eta_0$  – КПД при-

вода ВОМ;  $N_0$  – мощность, расходуемая на привод ВОМ.

В табл. 3 приведены максимально возможные значения общего КПД трактора, подсчитанные по выражению (4) при максимальном значении тягового КПД и различных относительных величинах отбора мощности.

Табл. 2. Технические характеристики тракторов «Беларус» серийного и опытного производства

Модель	Заявленный тяговый класс по ТУ	$N_{об}$ , кВт	$m$ , кг	$P_{кр}$ при $\eta_{Tmax}$	$\mathcal{E}_H$ , кВт/кН	Реализованная расчётная скорость при $\eta_{Tmax}$ , м/с (км/ч)
512	1,4	41,9	3640	14,56	1,151	1,8 (6,47)
522	1,4	45,6	3640	14,56	1,253	1,96 (7,05)
82.1	1,4	59,6	4100	16,4	1,454	2,27 (8,18)
892	1,4	65,4	4250	17	1,539	2,40 (8,66)
922	1,4	65,4	4300	17,2	1,521	2,38 (8,56)
923	1,4	65,4	4500	18	1,453	2,27 (8,17)
1021	1,4	73,5	4675	18,7	1,572	2,46 (8,84)
1025	1,4	77	4675	18,7	1,647	2,57 (9,26)
1126	1,4	77	4635	18,54	1,661	2,60 (9,34)
1220	2	90	5500	22	1,636	2,56 (9,20)
1221	2	95,6	5570	22,28	1,716	2,68 (9,65)
1222	2	100	6240	24,96	1,6	2,5 (9,00)
1223	2	95,6	6000	24	1,593	2,49 (8,96)
1523	3	110,3	6000	24	1,838	2,87 (10,34)
1523 (балласт)	3	110,3	7200	28,8	1,532	2,39 (8,62)
1525	3	109	6000	24	1,817	2,84 (10,22)
2022	3	154,4	7290	29,16	2,118	3,31 (11,91)
2022.3	3	156	7290	29,16	2,14	3,34 (12,04)
2022.4	3	168	7290	29,16	2,304	3,6 (12,96)
2422	4	156	8370	33,48	1,864	2,91 (10,48)
2422 (балласт)	4	156	9570	38,28	1,63	2,55 (9,17)
2522.1	5	195	11500	46	1,695	2,65 (9,54)
2822ДЦ	5	205	11500	46	1,783	2,78 (10,03)
3022.1	5	220,6	11500	46	1,918	3,00 (10,79)
3022ДЦ	5	223	11500	46	1,939	3,03 (10,91)
3522	5	275	12300	49,2	2,115	2,30 (11,9)
3522 (балласт)	6	275	13800	55,2	1,993	3,11 (11,21)



Табл. 3. Максимально возможные значения общего КПД трактора

$\gamma_0$	0	0,15	0,30	0,45	0,5	0,6	0,7
$\eta_{TP}$	0,625	0,675	0,7255	0,7757	0,7925	0,826	0,8595

В настоящее время машиностроительный комплекс Республики Беларусь производит энергонасыщенные тракторы тяговых классов 3, 4, 5 и 6 с двигателем мощностью от 150 до 450 л. с. (110...330 кВт). Однако их количественное производство не может удовлетворить современные потребности АПК республики.

Так, в планах производства сельскохозяйственных тракторов на 2019 г. предусматривалось поставить в страны СНГ, включая Республику Беларусь, 19 257 тракторов (рис. 3), в числе которых энергонасыщенные тракторы со-

ставили 1 317 ед. или 6,7 %. В общем количестве энергонасыщенных тракторов тракторы тягового класса 3 (серии 1500 и 2000) составили 839 ед. или 63,7 %, тракторы тяговых классов 5 и 6 (серии 3000, 3500 и 4000) – 478 ед. или 36,295 %. При этом тракторов тягового класса 2 (серия 1200) планировалось произвести 2 759 ед. или 14,327 %, тракторов тягового класса 1,4 (серии 800, 900 и 1000) – 14 223 ед. или 73,859 %, тракторов тяговых классов 0,6–0,9 (серии 200, 300, 400 и 600) – 958 ед. или 4,868 %.



Рис. 3. Диаграмма производства тракторов в Республике Беларусь для поставок в страны СНГ в 2019 г.

Такая структура производства тракторов в «МТЗ-Холдинг» отражается на структуре тракторного парка АПК Беларуси.

По данным [13], в структуре тракторного парка АПК (рис. 4) энергонасыщенные тракторы тяговых классов 5–6 с мощностью двигателя 250 л. с. и бо-

лее составляют 18,2 % (7,2 тыс. ед.), тракторы тяговых классов 3–4 с мощностью двигателя 150...180 л. с. – 3,3 % (1,3 тыс. ед.), тракторы тягового класса 2 с мощностью двигателя 120...130 л. с. – 21,9 % (8,7 тыс. ед.). Основной состав тракторного парка АПК составляют тракторы тяговых



классов 0,6–1,4 с мощностью двигателя 30...100 л. с. – 56,6 % (22,4 тыс. ед.).

Основным поставщиком тракторов для белорусского АПК является «МТЗ-Холдинг», на долю которого приходится 94,8 % (37,4 тыс. ед.) всего тракторного парка сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь (рис. 5). Остальная часть тракторов

(5,2 %, 2,1 тыс. ед.) поставлена в республику из России (С-ПТЗ, 2,7 %, 1,1 тыс. ед.), стран дальнего зарубежья («Джон Дир», «Фенд», «Нью-Холланд», 2,5 %, 1 тыс. ед.). Все поставленные белорусским сельскохозяйственным организациям зарубежные тракторы имеют тяговый класс 5 или 6 (рис. 6).

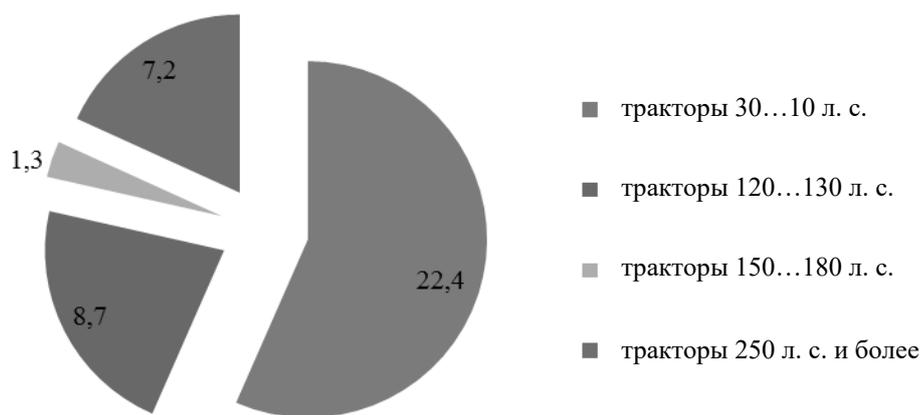


Рис. 4. Диаграмма тракторного парка АПК Республики Беларусь

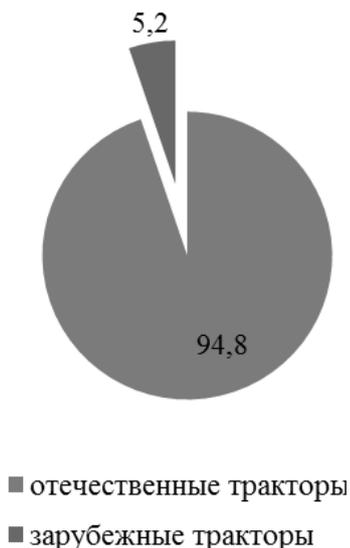


Рис. 5. Доля тракторов отечественного производства в тракторном парке АПК Республики Беларусь

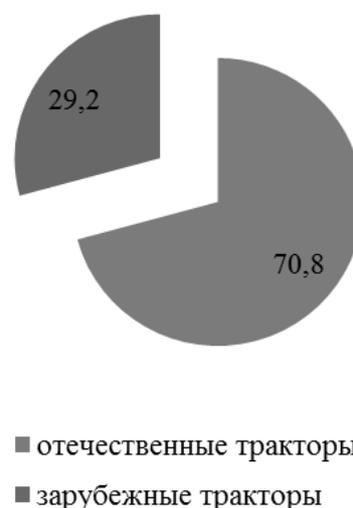


Рис. 6. Доля отечественных тракторов тяговых классов 5–6 в Республике Беларусь

За последние 5 лет (в период с 2014 г. по 2019 г.) выбытие тракторов в сельскохозяйственных организациях АПК республики превышает их поступление на 767 ед. (38,7%). Поступление энергонасыщенных тракторов увеличилось на 223 ед. При этом обеспеченность тракторами тяговых классов 5–6 находится на уровне 65,6% от их нынешней технологической потребности в количестве 10,9 тыс. ед. Причём 74% состава тракторного парка имеет срок эксплуатации выше нормативного ( $T_{НС} = 8...10$  лет). Среди энергонасыщенных тракторов тяговых классов 5–6 нормативный срок службы выработали 5,4 тыс. ед. или 75%. Из приведенного анализа видно, что основными недостатками существующего тракторного парка АПК являются несоответствие его структуры реальным технологическим потребностям и его предельная изношенность  $I = 74...75\%$ .

Допустимая ежегодная изношенность тракторного парка может быть описана выражением

$$I_{д} = \frac{1}{T_{НС}} \cdot 100\% \quad (5)$$

При нормативном сроке эксплуатации  $T_{НС} = 8...10$  лет допустимая еже-

годная изношенность тракторного парка

$$I_{д} = \frac{1}{8...10} \cdot 100\% = 12,5...10\%.$$

К сожалению, причины указанных недостатков в [13] не анализируются и пути устранения не предлагаются.

К наиболее вероятным причинам указанных недостатков в тракторном парке АПК могут быть отнесены несоответствия структуры и объёмов производства тракторов в «МТЗ-Холдинг» технологическим потребностям АПК, а также недостаточное финансовое обеспечение пополнения парка тракторов по мере их выбытия.

По мнению авторов, устранение отмеченных недостатков возможно двумя взаимодополняемыми путями:

1) совершенствование структуры и объёмов производства отечественных сельскохозяйственных тракторов и приведение их к технологическим потребностям АПК;

2) своевременное организационное и финансовое обеспечение, пополнение парка тракторов по мере выработки их ресурса и внедрения новых технологий в растениеводстве.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современные тенденции сельхозтракторостроения / П. А. Амелъченко, Д. А. Дубовик, А. В. Ключников, А. В. Ващула // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2018. – Т. 63, № 1. – С. 76–92.
2. Дубовик, Д. А. Основные направления развития автотракторокомбайностроения / Д. А. Дубовик, О. М. Еловой, Л. Ю. Бакалова. – Минск: ОИМ НАН Беларуси, 2014. – 176 с.
3. Основные тенденции развития современного сельскохозяйственного тракторостроения / П. А. Амелъченко, Д. А. Дубовик, Л. Ю. Бакалова, А. В. Ващула // Наука, образование и производство в XXI веке: Современные тенденции развития: материалы юбилейной Междунар. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2016. – С. 157–158.
4. О классификации энергонасыщенных сельскохозяйственных тракторов и расширении их тяговых возможностей / П. А. Амелъченко, И. Н. Жуковский, А. Г. Стасилевич, А. И. Жуковский // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 7. – С. 3–7.
5. Тракторы XXI века: состояние и перспективы / С. Н. Поддубко [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 207 с.
6. Выбор типа и параметров современной тракторной трансмиссии / П. А. Амелъченко [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 8. – С. 14–19.



7. **Дубовик, Д. А.** Скоростной класс тракторов / Д. А. Дубовик // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2018. – С. 38.

8. Экономичные и высокопроизводительные – это трактора МТЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pro-traktor.ru/traktory/mtz.html>. – Дата доступа: 25.03.2020.

9. **Дубовик, Д. А.** Тенденции развития уборочной сельхозтехники / Д. А. Дубовик, Л. Ю. Бакалова, А. С. Шантыко // Новые материалы, оборудование и технологии в машиностроении: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2018. – С. 39.

10. Семейство тракторов «Беларус» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://steh.info/samohodnaya-tekhnika/traktory/traktor-belarus-modeli.html#belarus-1000>. – Дата доступа: 25.03.2020.

11. **Высоцкий, М. С.** Коэффициент полезного действия ходовых систем колесных машин / М. С. Высоцкий, Д. А. Дубовик // Доклады НАН Беларуси. – 2007. – Т. 51, № 2. – С. 91–94.

12. **Анилович, В. Я.** Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов / В. Я. Анилович, Ю. Т. Водолаженко. – Москва: Машиностроение, 1966. – 34 с.

13. Совершенствование структуры парка сельскохозяйственных машин для реализации инновационных технологий / Н. Г. Бакач, В. И. Володкевич, А. В. Шах, П. А. Амелченко // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24–25 окт. 2019 г. – Минск: БГАТУ, 2019. – Ч. 1. – С. 263–267.

*Статья сдана в редакцию 19 мая 2020 года*

**Петр Адамович Амелченко**, д-р техн. наук, проф., Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси. Тел.: +375-172-84-15-62.

**Дмитрий Александрович Дубовик**, д-р техн. наук, доц., Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси. E-mail: [ddubovik@oim.by](mailto:ddubovik@oim.by).

**Иосиф Николаевич Жуковский**, инженер.

**Petr Adamovich Amelchenko**, DSc (Engineering), Prof., Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus. Tel.: +375-172-84-15-62.

**Dmitry Aleksandrovich Dubovik**, DSc (Engineering), Associate Prof., Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus. E-mail: [ddubovik@oim.by](mailto:ddubovik@oim.by).

**Iosif Nikolayevich Zhukovsky**, engineer.