

ческих наук / под редакцией Н. С. Низамутдиновой. – Челябинск, 2022. – С. 64-68.

7. Захарова, Е. Б. Влияние уплотнения почвы тракторами на урожайность ячменя и сои / Е. Б. Захарова. – Текст: непосредственный // Техника в сельском хозяйстве. – 2001. – № 5. – С. 36-37.

8. Лубянкин, А. Н. К вопросу снижения влияния движителей сельскохозяйственной техники на почву / А. Н. Лубянкин, А.В. Алехин. – Текст: непосредственный // Наука и образование. – 2020. – Т. 3, № 2. – С. 39-40.

9. Слюсаренко, В. В. Влияние движителей машинно-тракторных агрегатов на урожай сельскохозяйственных культур / В. В. Слюсаренко, А. В. Русинов, Т.В. Федюнина. – Текст: непосредственный // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – Ч. 3, № 3 (45), март. – С. 120-122.

10. Lipiec, J., Hatano, R. (2003). Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma*. 116. 107-136. DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00097-1.

#### References

1. Panasiuk A.N., Epifantsev V.V. Vybór etalonnogo agregata dlia otsenki tekhnogennogo mekhanicheskogo vozdeistviia na pochvu v tekhnologiiakh rastenievodstva // Agropromyshlennyi kompleks: problemy i perspektivy razvitiia: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. (Blagoveshchensk, 20–21 apreliia 2023 g.). – Blagoveshchensk: Dalnevostochnyi GAU, 2023. – S. 174–181.

2. Ksenevich I.P., Skotnikov V.A., Liasko M.I. Khodovaia sistema – pochva – urozhai. – Moskva: Agropromizdat, 1985. – 304 s.

3. Samsonov V.A. Osnovy teorii mobilnykh selskokhoziaistvennykh agregatov / V.A. Samsonov, A.A. Zangiev, Iu.F. Lachuga, O.N. Didmashidze. – Moskva, Kolos, 2000. – 247 s.

4. Panasiuk A.N. Raschet ekologicheskikh porogov normalnogo davleniia kolesnykh dvizhitelei mashin na polevykh rabotakh na glinistykh pochvakh / Panasiuk A.N., Lipkan A.V. // Selskokhoziaistvennye mashiny i tekhnologii. – 2020. – Т. 14, No. 4. – С. 43-48.

5. Vliianie parametrov khodovykh sistem kolesnykh mashin na izmenenie plotnosti pochvy / Shilo I.N., Romaniuk N.N., Kruk I.S., Orda A.N. i dr. // Traktory i selkhoz mashiny. – 2021. – Т. 88, No. 5. – С. 30-37.

6. Negativnye posledstviia neratsionalnogo raspredeleniia vesa po osiam koles traktora / A.V. Susanin // Aktualnye voprosy agroinzhenernykh i agronomicheskikh nauk. Pod redaktsiei N.S. Nizamutdinovoi. – Cheliabinsk, 2022. – С. 64-68.

7. Vliianie uplotneniia pochvy traktorami na urozhainost iachmenia i soi / E.B. Zakharova // Tekhnika v selskom khoziaistve. – 2001. – No. 5. – С. 36-37.

8. K voprosu snizheniia vliianiia dvizhitelei selskokhoziaistvennoi tekhniki na pochvu / Lubiankin A.N., Alekhin A.V. // Nauka i Obrazovanie. – 2020. – Т. 3, No. 2. – С. 39-40.

9. Sliusarenko V.V. Vliianie dvizhitelei mashinno-traktornykh agregatov na urozhai selskokhoziaistvennykh kultur / Sliusarenko V.V. Rusinov A.V. Fediunina. T.V // Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. – 2020. – No. 3 (45). – Ch. 3. – С. 120-122.

10. Lipiec, J., Hatano, R. (2003). Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma*. 116. 107-136. DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00097-1.



УДК 621.43

DOI: 10.53083/1996-4277-2023-228-10-87-93

Р.В. Даманский

R.V. Damanskiy

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕСУРСА ПРЕЦИЗИОННЫХ ПАР РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ФОРСУНОК АВТОТРАКТОРНЫХ ДВС

### MATHEMATICAL MODEL OF SERVICE LIFE OF PRECISION INJECTION NOZZLE PAIRS OF MOTOR-AND-TRACTOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES

**Ключевые слова:** ресурс, распылитель, форсунка, прецизионная пара, математическая модель, диссипация энергии, автомобиль, трактор, ДВС.

Приведено теоретическое описание процесса изнашивания прецизионных пар распылителей форсунок дизельных двигателей на основе учета различных вкладов в диссипацию энергии удара иглы о седло клапана. Для оценки различных факторов, влияющих на изнашивание и ресурс прецизионных пар, в работе представлена функ-

циональная (физическая) модель прецизионного сопряжения форсунки, позволяющая определить ресурс ее деталей. В разработанной модели учтены различные факторы изнашивания: свойства материалов деталей сопряжения; микронеровности поверхностного слоя деталей (шероховатости); свойства слоя топлива в рабочем зазоре форсунки; усталостные процессы в поверхностном слое деталей и др. Обозначена цель исследования, заключающаяся в необходимости теоретического обоснования, математического моделирования и исследования

параметров работоспособного состояния прецизионных пар распылителей форсунок дизельных двигателей. Приведена функциональная зависимость гидроплотности прецизионных пар распылителя, определенная с учетом эксплуатационных свойств топлива, влияющих на величину зазора в прецизионном сопряжении «игла-корпус распылителя». Теоретические зависимости диссипации энергии удара иглы о седло корпуса распылителя, скорости изменения зазора между конусными поверхностями иглы и корпуса распылителя и иные позволяют описать процесс изнашивания деталей сопряжения. Установлено, что износ поверхностного слоя деталей распылителя в основном обусловлен усталостной прочностью материала.

**Keywords:** *service life, injector nozzle, injector, precision pair, mathematical model, energy dissipation, automobile, tractor, internal combustion engine.*

This paper discusses a theoretical description of the wear process of precision injection nozzle pairs of diesel engine injectors taking into account various contributions to the

dissipation of the needle impact energy against the valve seat. To evaluate the influence of various factors affecting the wear and service life of precision pairs, the paper presents a functional (physical) model of precision injector mating which allows determining the service life of its parts. The developed model takes into account the influence of various factors of wear: material properties of mating parts; part surface patterns (roughness); fuel layer properties in the nozzle working gap; fatigue processes in the surface layer of parts, etc. The research goal consists in the necessity of theoretical substantiation, mathematical modeling and research of parameters of serviceable condition of precision injection nozzles of diesel engine injectors. The functional dependence of hydraulic density of precision injection nozzles is determined taking into account the operational properties of fuel affecting the gap in the precision mating of "needle - nozzle body". Theoretical dependences of energy dissipation of the needle impact on the nozzle body seat, the rate of change of the gap between the cone surfaces of the needle and the nozzle body, etc. allow describing the wear process of the mating parts. It is revealed that the wear of the surface layer of the nozzle parts is mainly due to the fatigue strength of the material.

**Даманский Роман Викторович**, к.т.н., науч. сотр., ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», г. Омск, Российская Федерация, e-mail: damanskiy@anc.ru.

**Damanskiy Roman Viktorovich**, Cand. Tech. Sci., Researcher, Omsk Agricultural Scientific Center, Omsk, Russian Federation, e-mail: damanskiy@anc.ru.

### Введение

Прецизионные пары распылителей форсунок автотракторных дизельных двигателей при эксплуатации на дизельном топливе подвергаются изнашиванию вследствие значительных механических нагрузок. Дизельное топливо, с уже имеющимися в процессе изготовления в нём присадками, при транспортировке и хранении теряет свои эксплуатационные свойства и становится малоэффективным в работе машинно-тракторного парка в условиях АПК. Изнашивание деталей топливной аппаратуры, а именно прецизионных сопряжений распылителей форсунок при работе на таком топливе, ведёт к снижению мощностных и экономических показателей работы тракторов при агрегатировании сельскохозяйственных машин, поэтому низкие эксплуатационные свойства дизельных топлив не обеспечивают долговечность прецизионных пар распылителей форсунок, что снижает эксплуатационные показатели дизельного двигателя [1, 2].

Ресурс прецизионных пар распылителей форсунок может быть повышен различными способами: выбором материалов деталей сопряжения или улучшением упруго-пластических свойств их поверхностного слоя; снижением шероховатости поверхности деталей; изменением свойств слоя топлива в рабочем зазоре форсунки (подогрев/охлаждение, применение присадок); контролируемым (программируемым) изменением давления топлива в форсунке на различных стадиях рабочего цикла и др. [3-5]. Однако в настоящее время отсутствует модель, описывающая долговечность прецизионных пар распы-

лителей форсунок и учитывающая различные факторы изнашивания.

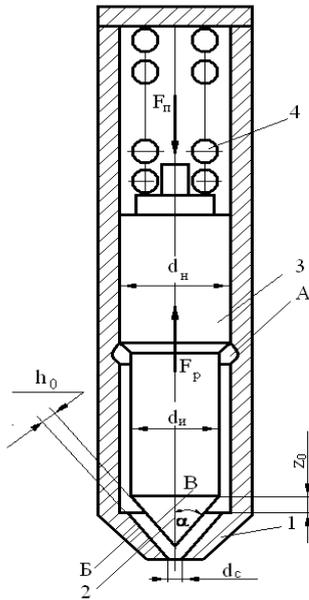
**Цель** исследования – теоретическое обоснование и разработка математической модели ресурса прецизионных пар распылителей форсунок дизельных автотракторных ДВС на основе учета вклада различных процессов, происходящих в форсунке, в диссипацию энергии удара иглы о седло клапана.

### Объект и методы исследования

Для оценки различных факторов, влияющих на изнашивание и ресурс прецизионных пар, в работе представлена функциональная (физическая) модель прецизионного сопряжения форсунки, позволяющая определить ресурс ее деталей.

Известно, что изменение зазора и гидроплотности прецизионных пар распылителей является следствием воздействия кинетической энергии удара на запорный клапан «игла-седло» в момент запираания, зависит от многих факторов: нагрузки на пружину форсунки; массы иглы; высоты подъёма иглы; количества циклов нагружения поверхности седла распылителя; прочностных свойств иглы и седла распылителя; микрогеометрии конусных поверхностей иглы и седла [1, 3, 5].

Оценка изменения зазора в сопряжении «игла-корпус распылителя» форсунки проведена на примере физической модели прецизионного сопряжения форсунки, изнашивания – на основе принципа диссипации энергии удара, а ресурса – за счет учета количества циклов нагружения при работе форсунки (рис.).



**Рис. Схема нагруженных и геометрических параметров распылителя форсунки при ударной нагрузке:**  
**А** – полость подвода топлива;  
**Б** – поверхность контакта седла и иглы;  
**В** – полость пружины; **1** – корпус распылителя,  
**2** – запорный конус иглы распылителя,  
**3** – направляющая часть иглы распылителя,  
**4** – пружина форсунки

При подаче топлива в цилиндр двигателя под действием давления топлива  $P$  в полости  $A$  запорный клапан «игла» поднимается на высоту  $Z_0$ . При этом деформация пружины составляет величину  $Z_0$ . После отсечки топлива запорный клапан перемещается под действием силы пружины  $F_{пр}$  и силы собственного веса иглы  $G$  и воздействует на седло  $2$  по образующей поверхности запорного конуса. При этом скорость иглы в момент касания запорного конуса равна  $0$  [2, 4].

При посадке иглы на седло корпуса возникает энергия удара  $E_u$ . Из неё  $E_n$  расходуется на пластическую деформацию поверхности деталей сопряжения,  $E_{yn}$  – на упругую деформацию микронеровностей, энергия  $E_T$  – на преодоление силы сопротивления топлива,  $E_n$  накапливается в поверхностном слое соприкасающихся деталей.

Тогда на основе принципа диссипации суммарная энергия удара выразится зависимостью [5-7, 11]:

$$E_u = E_n + E_{yn} + E_m + E_n, \quad (1)$$

где  $E_n$  – энергия, расходуемая на пластическую деформацию поверхности сопряжения «игла-корпус распылителя» форсунки;

$E_{yn}$  – энергия, расходуемая на упругую деформацию микронеровностей сопряжения «игла-корпус распылителя» форсунки;

$E_m$  – энергия, расходуемая на преодоление силы сопротивления топлива;

$E_n$  – энергия, накапливающаяся в поверхностном слое соприкасающихся деталей сопряжения «игла-корпус распылителя» форсунки.

**Разработка модели.** Распишем составляющие уравнения (1). Энергия удара иглы равна её кинетической энергии и, в соответствие с рисунком, определяется как:

$$E_{и} = \frac{m_{и} w^2}{2} = \frac{c z_0^2}{2}, \quad (2)$$

где  $m_{и}$  – масса иглы, кг;

$w$  – скорость иглы в момент удара, м/с;

$c$  – жесткость пружины, Н/м;

$z_0$  – высота подъема иглы распылителя, м.

Энергия, расходуемая на преодоление сопротивления топлива [8, 9]:

$$E_T = a \left[ (p_1 \vartheta_1 - p_2 \vartheta_2) + \vartheta \frac{\Delta \sigma^2}{2E} \right], \quad (3)$$

где  $a$  – коэффициент пропорциональности;

$p_1, p_2$  – абсолютное давление в начале и конце движения иглы во время запираения форсунки, МПа;

$\vartheta_1, \vartheta_2$  – объём топлива в зазоре в начале и конце запираения форсунки, мм<sup>3</sup>;

$\vartheta$  – объём вытесненного топлива в процессе запираения форсунки, мм<sup>3</sup>;

$\Delta \sigma$  – изменение эквивалентного напряжения в материалах деталей, МПа;

$E$  – модуль упругости материалов распылителя, МПа.

Энергия удара иглы, расходуемая на деформацию поверхностных слоёв деталей, определяется из уравнения [10]:

$$E_u - E_m = \frac{m_{и} w^2}{2} - a \left[ (p_1 \vartheta_1 - p_2 \vartheta_2) + \vartheta \frac{\Delta \sigma^2}{2E} \right], \quad (4)$$

где  $m_{и}$  – масса иглы, кг;

$w$  – скорость иглы в момент удара, м/с;

$a$  – коэффициент пропорциональности;

$p_1, p_2$  – абсолютное давление в начале и конце движения иглы во время запираения форсунки, МПа;

$\vartheta_1, \vartheta_2$  – объём топлива в зазоре в начале и конце запираения форсунки, мм<sup>3</sup>;

$\vartheta$  – объём вытесненного топлива в процессе запираения форсунки, мм<sup>3</sup>;

$\Delta \sigma$  – эквивалентное напряжение в материале деталей распылителя, МПа;

$E$  – модуль упругости материала деталей распылителя, МПа.

Преобразуя зависимость (4) с учётом (1), получаем:

$$\frac{m_{и} w^2}{2} - a \left[ (p_1 \vartheta_1 - p_2 \vartheta_2) + \vartheta \frac{\Delta \sigma^2}{2E} \right] = E_n + E_{yn} + E_n, \quad (5)$$

где  $m_{и}$  – масса иглы, кг;

$w$  – скорость иглы в момент удара, м/с;

$a$  – коэффициент пропорциональности (0,000986-0,002);

$p_1, p_2$  – абсолютное давление в начале и конце движения иглы во время запираания форсунки, МПа;

$\mathcal{V}_1, \mathcal{V}_2$  – объём топлива в зазоре в начале и конце запираания форсунки, мм<sup>3</sup>;

$\mathcal{V}$  – объём вытесненного топлива в процессе запираания форсунки, м<sup>3</sup>;

$\Delta\sigma$  – изменение эквивалентного напряжения, МПа;

$E$  – модуль упругости материала деталей распылителя, Па (в пределах (21...22)·10<sup>10</sup> Па);

$E_n$  – энергия удара иглы, расходуемая на пластическую деформацию поверхности деталей;

$E_{yn}$  – энергия иглы, расходуемая на упругую деформацию поверхности деталей;

$E_n$  – энергия удара иглы, накапливаемая в соударяющихся деталях.

В результате единичного соударения запорного клапана «иглы» и «седла корпуса» распылителя происходит деформация микронеровностей поверхностного слоя деталей на величину  $\lambda$ .  $E_n$  и  $E_{yn}$  в уравнении (5) равны работе, затрачиваемой на упругую деформацию микро- и макроструктуры соударяющихся деталей и изменение проходного сечения. Энергия, затрачиваемая на пластическую и упругую деформацию деталей распылителя, может определяться как [11]:

$$E_d = E_n + E_{yn}. \quad (6)$$

$E_n$  вызывает изменение площади проходного сечения в результате пластической деформации поверхностей деталей сопряжения «игла-корпус распылителя» форсунки.  $E_{yn}$  вызывает изменение площади проходного сечения в результате упругой деформации поверхностей деталей сопряжения.

В общем виде скорость иглы в момент удара определяется дифференциальным уравнением [12]:

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = \frac{cz_0}{m_u} + g + f \rightarrow 0, \quad (7)$$

где  $\frac{cz_0}{m_u}$  – ускорение иглы, создаваемое пружиной,

м/с<sup>2</sup>;

$g$  – ускорение иглы под действием силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$f$  – ускорение, создаваемое в результате действия на иглу поверхностного слоя топлива, при условии:  $t = 0 \quad dz/dt = w = 0, \quad z = z_0$ .

В результате интегрирования и преобразований выражение для скорости изменения зазора между конусными поверхностями иглы и корпуса распылителя определяется зависимостью [13, 14]:

$$\frac{dz}{dt} = w_s = \left( \frac{cz_0}{m_u} + g + f \right) t, \quad (8)$$

тогда время, в течение которого игла проходит расстояние  $z_0$ ,

$$t_y = \sqrt{\frac{z_0}{\frac{cz_0}{m_u} + g + f}}, \quad (9)$$

где  $z_0$  – высота подъема иглы распылителя, м;

$\frac{cz_0}{m_u}$  – ускорение иглы, создаваемое пружиной,

м/с<sup>2</sup>;

$g$  – ускорение иглы под действием силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$f$  – ускорение, создаваемое в результате действия на иглу поверхностного слоя топлива.

Изменение площади проходного сечения в сопряжении «игла-корпус распылителя» форсунки на участке приработки определяется как:

$$S^1 = l_k (h - \lambda), \quad (10)$$

где  $l_k$  – длина линии контакта в сопряжении «игла-корпус распылителя» форсунки, м;

$h$  – зазор в сопряжении «игла-корпус распылителя» форсунки, м;

$\gamma$  – величина деформация микронеровностей поверхностного слоя деталей распылителя.

Поскольку фактическая площадь контакта составляет 2/3 от номинальной, то контактные напряжения сопоставимы с пределом прочности материалов деталей сопряжения «игла-корпус распылителя» форсунки.

Количество циклов нагружения материала:

$$N = k \cdot n \cdot t, \quad (11)$$

где  $k$  – переходной коэффициент,  $k = 120$ ;

$n$  – частота вращения коленчатого вала ТНВД, мин.<sup>-1</sup>;

$t$  – наработка, мин.

При контакте иглы с седлом корпуса распылителя энергия удара приводит к рассеиванию тепла в поверхностном слое деталей. Износ поверхностного слоя деталей распылителя обусловлен усталостной прочностью материала. Кинетическая энергия, от действия иглы распылителя, вызывает зону наклепанного слоя металла на поверхности материала корпуса. Это и приводит к разрушению поверхностного слоя металла корпуса [12, 15].

Отношение накопленной энергии в поверхностном слое к энергии пластической и упругой деформации принята как  $\beta$ , тогда доля кинетической энергии от действия иглы, накапливающаяся в поверхностном слое материала,  $1 - \beta$ . Таким образом,

$$L_d = E_n + E_{yn} = (1 - \beta) \cdot (E - E_m); \quad (12)$$

$$E_n = \beta(E - E_m), \quad (13)$$

где  $E_n$  – энергия удара иглы, расходуемая на пластическую деформацию поверхности деталей;

$E_{yn}$  – энергия иглы, расходуемая на упругую деформацию поверхности деталей;

$E_n$  – энергия удара иглы, накапливаемая в ударяющихся деталях;

$(1-\beta)$  – кинетическая энергия, накапливаемая в поверхностном слое материала деталей сопряжения «игла-корпус распылителя» форсунки.

### Результаты расчетов, моделирования, исследования

Согласно проведённому теоретическому обоснованию процесса изнашивания деталей сопряжения «игла-корпус распылителя» форсунки можно рассчитать энергию упругой деформации поверхностных слоёв за время одного впрыска, которая составляет:

$$E_n = (1-\beta) \left\{ \left( \frac{m_n w^2}{2} \right) - a \left[ (\Delta p \Delta \vartheta) + \vartheta \frac{\Delta \sigma^2}{2E} \right] \right\}, \quad (14)$$

где  $(1-\beta)$  – кинетическая энергия, накапливаемая в поверхностном слое материала деталей сопряжения «игла-корпус распылителя» форсунки;

$m_n$  – масса иглы, кг;

$w$  – скорость иглы в момент удара, м/с;

$a$  – коэффициент пропорциональности ( $a = 0,217$  для условия упругого контакта);

$\Delta p, \Delta \vartheta$  – абсолютное давление, объём топлива в зазоре во время запираания форсунки, Па;

$\vartheta$  – объём вытесненного топлива в процессе запираания форсунки, м<sup>3</sup>;

$\Delta \sigma$  – изменение эквивалентного напряжения, Па;

$E$  – модуль упругости топлива, Па (находится в пределах  $(21...22) \cdot 10^{10}$  Па).

Полученная зависимость позволяет определять накопление энергии в поверхностном слое детали клапана распылителя.

За наработку  $t$  форсунки, при числе воздействия запорного клапана иглы по седлу корпуса распылителя  $Z$ , изменение внутренней энергии составляет:

$$E_n = kn(1-\beta) \left\{ \left( \frac{m_n w^2}{2} \right) - a \left[ (\Delta p \Delta \vartheta) + \vartheta \frac{\Delta \sigma^2}{2E} \right] \right\} t, \quad (15)$$

где  $k$  – переходной коэффициент,  $k = 120$ ;

$n$  – частота вращения коленчатого вала ТНВД, мин.<sup>-1</sup>;

$(1-\beta)$  – кинетическая энергия, накапливаемая в поверхностном слое материала деталей сопряжения «игла-корпус распылителя» форсунки;

$m_n$  – масса иглы, кг;

$w$  – скорость иглы в момент удара, м/с;

$a$  – коэффициент пропорциональности ( $a = 0,217$  для условия упругого контакта);

$\Delta p, \Delta \vartheta$  – абсолютное давление, объём топлива в зазоре во время запираания форсунки, Па;

$\vartheta$  – объём вытесненного топлива в процессе запираания форсунки, м<sup>3</sup>;

$\Delta \sigma$  – изменение эквивалентного напряжения, Па;

$E$  – модуль упругости топлива, Па (находится в пределах  $(21...22) \cdot 10^{10}$  Па);

$t$  – наработка, мин.

Тогда при  $E_n = E_0$ , ресурс сопряжения «игла-корпус распылителя» форсунки определяется как:

$$t(p_1, p_2, \vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta) = \frac{E_0}{kn(1-\beta) \left\{ \frac{m_n w^2}{2} - a \left[ (\Delta p \Delta \vartheta) + \vartheta \frac{\Delta \sigma^2}{2E} \right] \right\}}, \quad (16)$$

причем:  $m; w; a; \vartheta = \text{const}$ .

Полученные уравнения (7), (8), (11), (16) связаны друг с другом и представляют собой искомую теоретическую зависимость (математическую модель) ресурса прецизионных пар распылителей форсунок автотракторных ДВС, учитывающую влияние на изнашивание их деталей различных факторов: свойств материалов деталей сопряжения; микронеровностей поверхностного слоя деталей (шероховатости); свойств слоя топлива в рабочем зазоре форсунки; усталостных процессов в поверхностном слое деталей и др.

### Выводы

1. Проведено описание процесса изнашивания прецизионных пар распылителя, влияющего на ресурс данного сопряжения, на основе принципа диссипации энергии удара иглы распылителя.

2. Учет разных энергетических составляющих позволил теоретически связать скорость изнашивания деталей сопряжения с упруго-пластической деформацией, деформацией микронеровностей  $\lambda$ , свойствами топлива, а также с усталостными напряжениями, возникающими при эксплуатации деталей форсунки в упругой, агрессивной топливной среде.

3. Полученные уравнения математической модели процесса позволяют рассчитывать: скорость иглы в момент удара, скорость изменения зазора между конусными поверхностями иглы и корпуса распылителя, количество циклов нагружения материала деталей форсунки, а также связанный с ними ресурс исследованной прецизионной пары.

### Библиографический список

1. Антипов, В. В. Износ прецизионных деталей и нарушение характеристики топливной аппаратуры дизелей / В. В. Антипов. – 2-е изд. – Москва: Машиностроение, 1972. – 177 с. – Текст: непосредственный.

2. Ждановский, Н. С. Надежность и долговечность автотракторных двигателей / Н. С. Ждановский, А. В. Николаенко. – Ленинград: Колос, 1981. – 295 с. – Текст: непосредственный.

3. Загородских, Б. П. Ремонт и регулирование топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей / Б. П. Загородских, В. П. Лялякин, П. А. Плотников. – Москва: Росинформагротех, 2006. – 212 с. – Текст: непосредственный.

4. Николаенко, А. В. Повышение эффективности использования тракторных дизелей в сельском хозяйстве / А. В. Николаенко, В. Н. Хватов. – Ленин-

град: Агропромиздат, 1986. – 191 с. – Текст: непосредственный.

5. Лазарев В.Е. Повышение ресурса распылителей топлива в дизелях снижением нагруженности прецизионных сопряжений: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.04.02 / Лазарев Владислав Евгеньевич. – Челябинск, 2008. – 340 с. – Текст: непосредственный.

6. Реологические свойства водотопливных эмульсий,готавливаемых методом впрыска воды в дизельное топливо / Л. С. Керученко, Е. И. Мальцева, С. П. Прокопов, А. С. Союнов. – DOI 10.48136/2222-0364\_2022\_1\_129. – Текст: непосредственный // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2022. – № 1 (45). – С. 129-138.

7. Быченин, А. П. Повышение ресурса плунжерных пар топливного насоса высокого давления тракторных дизелей применением смесового минерально-растительного топлива: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.20.03. / Быченин Александр Павлович. – Пенза, 2007. – 184 с. – Текст: непосредственный.

8. Subramanian, K. (2011). A comparison of water-diesel emulsion and timed injection of water into the intake manifold of a diesel engine for simultaneous control of NO and smoke emissions. *Energy Conversion and Management*. 52. 849-857. DOI: 10.1016/j.enconman.2010.08.010.

9. ГОСТ 325. Топливо дизельное. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 10 с. – Текст: непосредственный.

10. Оптимизация полевых севооборотов и структуры использования пашни при возделывании яровой пшеницы в Омской области / Л. В. Юшкевич, В. В. Чибис, А. Г. Щитов [и др.]. – Омск: ИП Максеева Е.А., 2020. – 43 с. – Текст: непосредственный.

11. Михальцов, Е. М. О повышении эффективности эксплуатации тракторов в сельском хозяйстве / Е. М. Михальцов, Р. В. Даманский. – Текст: непосредственный // Перспективные технологии в аграрном производстве: человек, "цифра", окружающая среда (AgroProd 2021): материалы Международной научно-практической конференции (г.Омск, 28 июля 2021 года). – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 2021. – С. 317-321.

12. Веденяпин, Г. В. Общая методика экспериментальных исследований и обработки опытных данных / Г. В. Веденяпин. – Москва: Колос, 1973. – 199 с. – Текст: непосредственный.

13. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2004). Топливо дизельное Евро. Технические условия. – 2006. – 8 с. – Текст: непосредственный.

14. Керученко, Л. С. Изменение зазора в запорном сопряжении распылителя форсунки двигателя /

Л. С. Керученко, Т. Ю. Гурин, Р.В. Даманский. – Текст: непосредственный // Сельский механизатор. – 2017. – № 11. – С. 36-37.

15. Keruchenko L.S., Damanskiy R.V. Improvement of antiwear properties of diesel fuels by compounding with additive based on tall and linseed oil. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019; 8 (5): 2174-2177.

## References

1. Antipov V.V. Iznos pretsizionnykh detalei i narushenie kharakteristiki toplivnoi apparatury dizelei. 2-e izd. – Moskva: Mashinostroenie, 1972. – 177 s.

2. Zhdanovskii N.S., Nikolaenko A.V. Nadezhnost i dolgovechnost avtotraktornykh dvigatelei. – Leningrad: Kolos, 1981. – 295 s.

3. Zagorodskikh B.P., Lialiakin V.P., Plotnikov P.A. Remont i regulirovanie toplivnoi apparatury avtotraktornykh i kombainovykh dizelei. – Moskva: Rosinformagrotekh, 2006. – 212 s.

4. Nikolaenko A.V., Khvatov V.N. Povyshenie effektivnosti ispolzovaniia traktornykh dizelei v selskom khoziaistve. – Leningrad: Agropromizdat, 1986. – 191 s.

5. Lazarev V.E. Povyshenie resursa raspylitelei topliva v dizeliakh snizheniem nagruzhennosti pretsizionnykh sopriazhenii: dissertatsiia ... d-ra tekhn. nauk: 05.04.02 – Teplovye dvigateli. – Cheliabinsk, 2008. – 340 s.

6. Keruchenko L.S., Maltseva E.I., Prokopov S.P., Soiunov A.S. Reologicheskie svoistva vodotoplivnykh emulsii, prigotovliaemykh metodom vpryska vody v dizelnoe toplivo // Vestnik Omskogo GAU. – 2022. – No. 1 (45). – S. 129-138. DOI 10.48136/2222-0364\_2022\_1\_129.

7. Bychenin A.P. Povyshenie resursa plunzhernykh par toplivnogo nasosa vysokogo davleniia traktornykh dizelei primeneniem smesovogo mineralno-rastitelnogo topliva: dissertatsiia ... kand. tekhn. nauk: 05.20.03. – Penza, 2007. – 172 s.

8. Subramanian, K. (2011). A comparison of water-diesel emulsion and timed injection of water into the intake manifold of a diesel engine for simultaneous control of NO and smoke emissions. *Energy Conversion and Management*. 52. 849-857. DOI: 10.1016/j.enconman.2010.08.010.

9. GOST 325 Topливо dizelnoe. Tekhnicheskie usloviia. – Moskva: Standartinform, 2014. – 10 s.

10. Iushkevich L.V., Chibis V.V., Shchitov A.G. i dr. Optimizatsiia polevykh sevooborotov i struktury ispolzovaniia pashni pri vzdelyvanii iarovoii pshenitsy v Omskoi oblasti. – Омск: ИП Максеева Е.А., 2020. – 43 s.

11. Mikhaltsov, E.M. O povyshenii effektivnosti ekspluatatsii traktorov v selskom khoziaistve / E.M. Mikhaltsov, R.V. Damanskiy // Perspektivnye tekhnologii v agrarnom proizvodstve: chelovek, "tsifra", okruzhaiushchaia sreda (AgroProd 2021): Materialy

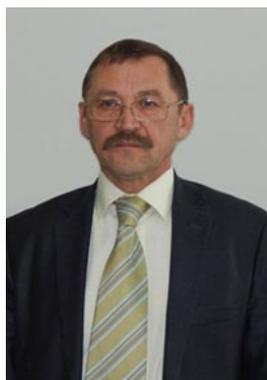
mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Omsk, 28 iulia 2021 goda. – Omsk: OmGAU, 2021. – S. 317-321.

12. Vedeniapin G.V. Obshchaia metodika eksperimentalnykh issledovaniy i obrabotki opytnykh dannykh. – Moskva: Kolos, 1973. – 199 s.

13. Natsionalnyi standart RF GOST R 52368–2005 (EN 590:2004). Topливо dizelnoe Evro. Tekhnicheskie usloviia. – 2006. – 8 s.

14. Keruchenko L.S., Gurin T.Iu., Damanskii R.V. Izmenenie zazora v zapornom sopriazhenii raspylitelia forsunki dvigatel'ia // Selskii mekhanizator. – 2017. – No. 11. – S. 36–37.

15. Keruchenko L.S., Damanskiy R.V. Improvement of antiwear properties of diesel fuels by compounding with additive based on tall and linseed oil. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019; 8 (5): 2174-2177.



УДК 631.363.7.681.332.6  
DOI: 10.53083/1996-4277-2023-228-93-97

**В.В. Матюшев, А.В. Семенов, И.А. Чаплыгина**  
**V.V. Matyushev, A.V. Semenov, I.A. Chaplygina**

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСТРУДАТОВ ПУТЁМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОРАЩИВАНИЯ ЗЕРНА

### INCREASING THE EFFICIENCY OF EXTRUDATE PRODUCTION TECHNOLOGY BY IMPROVING EQUIPMENT FOR GRAIN SPROUTING

**Ключевые слова:** зерно, пшеница, проращивание, пророщенное зерно, смесь, оборудование, конструкция, технология, экструзия, экструдат.

Актуальными являются исследования, направленные на совершенствование технологии получения экструдатов из смеси нативных и пророщенных зерновых компонентов, позволяющих повысить пищевые и кормовые свойства зерна. Целью исследования является повышение эффективности технологии получения экструдатов путём совершенствования оборудования для проращивания зерна и повышения пищевой ценности готового продукта. В задачу исследования входила разработка оборудования для проращивания зерна и технологической линии получения экструдатов. На основании проведенного анализа литературных источников и патентной информации было установлено, что используемые в производственной практике установки для проращивания зерна имеют значительную материалоемкость, сложность конструкции и продолжительное время получения готового продукта. В связи с этим было разработано, запатентовано, изготовлено устройство для проращивания зерна. Исследования проводились в Красноярском ГАУ на базе Инжинирингово-

го центра, используя зерно пшеницы Новосибирская 15. В предлагаемой конструкции по сравнению с существующим способом проращивания зерна (прототип) время сокращается с 72 до 42 ч. Это обусловлено проведением предварительной подготовки зерна и обеззараживанием воздуха и воды, используемых в устройстве в процессе проращивания. Насыщение предварительно обеззараженного атмосферного воздуха, проходящего через слой предварительно обеззараженной воды, создает внутри корпуса устройства оптимальный для проращивания температурный и влажностный режим. Пророщенное зерно смешивали в смесителе лопастного типа в количестве 10, 15, 20 и 25% от объема нативной пшеницы, затем осуществляли экструзионную обработку на экструдере шнекового типа ЭК-100. Охлаждали измельченный полученный экструдат до размеров, необходимых для использования в пищевых или кормовых целях. В результате проведенных исследований было установлено, что оптимальным по пищевой и энергетической ценности является продукт, полученный из смеси, включающей 15% пророщенных зерен.