

УДК 621.001.25

**Кобець А.С.**, д-р екон. наук, професор,  
**Улексін В.О.**, канд. техн. наук, доцент,  
**Мельниченко В.І.**, канд. техн. наук, доцент,  
**Яцук В.М.**, аспірант  
(ДДАЕУ)

### **ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ДИЗЕЛЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БІОПАЛИВА**

**Кобець А.С.**, д-р екон. наук, професор,  
**Улексін В.А.**, канд. техн. наук, доцент,  
**Мельниченко В.И.**, канд. техн. наук, доцент,  
**Яцук В.М.**, аспірант  
(ДГАЭУ)

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОТОПЛИВА**

**Kobets A.S.**, D. Sc. (Ec.), Professor,  
**Uleksin V.O.**, Ph. D. (Tech.), Associate Professor,  
**Melnychenko V.I.**, Ph. D. (Tech.), Associate Professor,  
**Yatsuk V.M.**, Doctoral Student  
(DSAEU)

### **STUDY OF A DIESEL ENGINE PERFORMANCE AT USING A BIOFUEL**

**Анотація.** Метою даної роботи є визначення показників роботи дизеля Д-65Н на соєвій олії. Дослідження виконувались в лабораторії Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету; в якості біопалива використовувалась соєва олія, виготовлена на власному виробництві агрофірмою ТОВ «Приват-Альянс». Приведені характеристика холостого ходу і зовнішня швидкісна характеристика дизеля Д-65 при роботі на соєвій олії. Виконано порівняння з аналогічними характеристиками при роботі дизеля на стандартному дизельному паливі. Визначено вплив біологічного палива на потужнісні, екологічні та інші основні показники дизеля на різних характерних режимах роботи. Одержані такі результати: при роботі дизеля без навантаження на 100 % соєвій олії годинна витрата палива збільшується на 0,31-1,36 кг; димність дизеля зменшується, а тиск в системі змащення зменшується на 0,1 МПа; при роботі дизеля на 100 % соєвій олії з навантаженням в робочому діапазоні кількостей обертів колінчатого вала димність відпрацьованих газів зменшується на 18 %, зменшується ефективна потужність двигуна і ефективний крутний момент, а годинна і ефективна витрати палива збільшуються.

**Ключові слова:** біопаливо, дизельне паливо, дизель, характеристика холостого ходу, зовнішня швидкісна характеристика, потужність, крутний момент, годинна витрата палива, ефективна питома витрата палива, оптична щільність (димність) відпрацьованих газів

**Вступ.** Одним із способів поліпшення показників роботи дизеля і зменшення витрат палива нафтового походження є застосування біопалива (БП) або сумішей БП з дизельним паливом (ДП) [1, 2].

При проведенні огляду літературних джерел [1, 3] та випробовувань дизеля Д-65Н [3, 4] встановлено, що застосування сумішей з різним процентним

вмістом компонентів забезпечує неоднаковий вплив на показники роботи дизелів, показники залежать як від складу суміші, так і від марки дизеля, інколи отримуються протилежні результати.

Метою даної роботи є визначення показників роботи дизеля Д-65Н на соевій олії.

Дослідження виконувались в лабораторії Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету по розробленій методиці [3]. В якості БП використовувалась соєва олія (СО), виготовлена на власному виробництві агрофірмою ТОВ «Приват-Альянс» (м. Дніпропетровськ).

**Характеристики холостого ходу.** На рисунку 1 приведена характеристика холостого ходу при роботі на 100 % СО, а на рис. 2 – суміщені характеристики при роботі на 100 % ДП і 100 % СО, які побудовані за даними табл. 1, табл. 2.



Рисунок 1 – Характеристика холостого ходу дизеля Д-65Н при роботі на біопаливі



Рисунок 2 – Суміщені характеристики холостого ходу дизеля Д-65Н при роботі на дослідних паливах

Таблиця 1 – Характеристика холостого ходу дизеля Д-65Н на 100 % СО

$n_d, \text{хв}^{-1}$	$G_p, \text{кг/год}$	$t_{op}, ^{\circ}\text{C}$	$t_{nc}, ^{\circ}\text{C}$	$P_m, \text{МПа}$	$N, \%$
800	1,32	65	25	0,22	6,0
1000	1,80	65	25	0,28	6,0
1200	2,22	65	25	0,30	6,0
1400	3,37	65	25	0,31	6,0
1600	4,66	65	25	0,31	5,6
1845	4,30	65	25	0,30	5,2

На рисунках позначено:  $P_m$  – тиск масла в системі мащення дизеля;  $N$  – оптична щільність (димність) відпрацьованих газів (ВГ);  $t_{nc}$  – температура навколишнього середовища;  $t_{op}$  – температура охолодної рідини в системі охолодження дизеля;  $G_p$  – годинна витрата палива дизеля;  $n_d$  – кількість обертів колінчастого вала дизеля;  $n_{\text{ном}}$  – номінальна кількість обертів колінчастого вала ди-

зеля;  $t_{орн}$ ,  $t_{нсн}$ ,  $N_n$ ,  $G_{пн}$ ,  $P_{мн}$  – значення відповідних параметрів при номінальній кількості обертів колінчастого вала дизеля (на номінальному режимі).

Таблиця 2 – Суміщені характеристики холостого ходу дизеля Д-65Н на 100 % дослідних паливах

$n_d, \text{хв}^{-1}$	$P_m$				$N$				$G_p$			
	ДП		СО		ДП		СО		ДП		СО	
	МПа	%	МПа	%	%	рази	%	рази	кг/год	%	кг/год	%
800	0,32	100	0,22	68,8	8,0	1,00	6,0	0,75	1,19	100	1,50	126
1000	0,32	100	0,28	87,5	8,2	1,00	6,0	0,73	1,50	100	1,90	127
1200	0,32	100	0,30	93,8	8,4	1,00	6,0	0,71	1,83	100	2,50	137
1400	0,32	100	0,31	96,9	8,9	1,00	6,0	0,67	2,25	100	3,37	150
1600	0,32	100	0,31	96,9	9,6	1,00	5,6	0,58	2,74	100	4,10	150
1845	0,32	100	0,30	93,8	10,5	1,00	5,2	0,50	3,35	100	4,00	119

Встановлено, що за час зняття характеристики при роботі на 100 % СО температура охолодної рідини і температура навколишнього середовища залишалися без змін, а димність відпрацьованих газів при збільшенні кількості обертів дещо зменшилася (на 1 %).

Димність відпрацьованих газів при роботі на 100 % СО на понижених швидкісних режимах (800-1200)  $\text{хв}^{-1}$  відрізняється від роботи на 100 % ДП на (2,0-2,4) % (0,71-0,75 разів), а на підвищених швидкісних режимах (1400-1800)  $\text{хв}^{-1}$  – на (2,9-5,3) % (0,50-0,67 разів).

Тиск масла в системі мащення при роботі на 100 % СО на понижених режимах збільшується від 0,22 МПа до 0,30 МПа (36,4 %), а на підвищених режимах залишається майже постійним. Максимальне значення тиску відмічено при 1400-1600  $\text{хв}^{-1}$ . Зі збільшенням обертів тиск дещо зменшується (на 3,2 %). У порівнянні з роботою на 100 % дизельного палива тиск масла менший на (3,1-31,3) %.

Годинна витрата палива при роботі на 100 % СО на понижених режимах збільшується на 0,90 кг/год (68,2 %), а на підвищених режимах спочатку збільшується на 1,29 кг/год (38,3 %), а потім зменшується на 0,36 кг/г (8,4 %). Максимальне значення годинної витрати палива є при 1700  $\text{хв}^{-1}$ . У порівнянні з роботою на 100 % ДП годинна витрата палива збільшується на 0,31...1,36 кг/год (19,4-49,8 %).

**Зовнішні швидкісні характеристики.** На рис. 3 приведена зовнішня швидкісна характеристика при роботі на 100 % СО, а на рис. 4 – суміщені характеристики при роботі на 100 % ДП і 100 % СО, які побудовані за даними табл. 3, табл. 4.

На рисунках і в таблицях прийняті ті ж позначення, що і на рис. 1, рис. 2. Додатково позначено:  $M_e$  – ефективний крутний момент дизеля;  $N_e$  – ефективна потужність дизеля;  $g_e$  – ефективна питома витрата палива;  $n_{M_{e\max}}$  – кількість обертів, що відповідає максимальному значенню ефективного крутного моменту дизеля (режим максимального значення  $M_e$ );  $n_{\max.х.х.}$  – максимальна кількість обертів колінчастого вала дизеля;  $N_{ен}$ ,  $g_{ен}$  – значення відповідних параметрів на номінальному режимі.



Рисунок 3 – Зовнішня швидкісна характеристика дизеля Д-65Н при роботі на соєвій олії



Рисунок 4 – Суміщені зовнішні швидкісні характеристики дизеля Д-65Н при роботі на дослідних паливах

Таблиця 3 – Зовнішня швидкісна характеристика дизеля Д-65Н на 100 % СО

$n_d, \text{хв}^{-1}$	$M_e, \text{Н}\cdot\text{м}$	$N_e, \text{кВт}$	$G_{п}, \text{кг/год}$	$g_e, \text{г/(кВт}\cdot\text{год)}$	$t_{op}, \text{°C}$	$t_{нс}, \text{°C}$	$P_m, \text{МПа}$	$N, \%$
1390	253	36,8	12,8	348	78	36	0,29	40
1550	246	39,9	12,6	316	75	36	0,29	32
1600	246	41,2	13,0	317	75	34	0,30	30
1635	239	40,9	12,2	300	73	34	0,30	26
1750	211	38,6	13,5	350	70	32	0,30	18
1800	141	26,5	9,0	338	65	27	0,30	9
1850	0	0	4,3	$\infty$	65	25	0,30	5

При знятті характеристик при роботі на 100 % СО температура охолодної рідини збільшується на 13 °С (20,0 %), тиск масла в системі мащення на понижених режимах зменшився на 0,01 МПа (3,3 %), а димність відпрацьованих газів – збільшується на 22 % (2,22 рази) по відношенню до номінального режиму.

При роботі на обох дослідних паливах в діапазоні кількості обертів від мінімальних під навантаженням до номінальних димність відпрацьованих газів змінюється синхронно. Величина зменшення при роботі на 100 % СО становить (15-18) % (0,55-0,74 разів).

Ефективна потужність дизеля змінюється аналогічним чином. Величина зменшення на режимі мінімальних обертів при роботі на 100 % СО становить 3,8 кВт (10,33 %), а на номінальному – 5,9 кВт (13,26 %). При роботі на 100 % ДП максимальне значення потужності є при 1700  $\text{хв}^{-1}$ , а при 100 % СО – при 1550-1600  $\text{хв}^{-1}$ .

Закономірності зміни ефективного крутного моменту дещо відрізняються. Величина зменшення на номінальному режимі становить 31 Н·м (12,81 %), а на мініальному – 60 Н·м (20,34 %). Найменша різниця показників (22 Н·м (7,75 %)) є при 1500  $\text{хв}^{-1}$ .

Таблиця 4 – Суміщені зовнішні характеристики дизеля Д-65Н на 100 % дослідних паливах

$n_d, \text{хв}^{-1}$	$G_p$				$g_e$				$M_e$			
	ДП		СО		ДП		СО		ДП		СО	
	кг/г	%	кг/г	%	гр/(кВт·г)	%	гр/(кВт·г)	%	Н·м	%	Н·м	%
1200	9,38	100	13,8	147	250	100	444	178	295	100	235	80
1300	9,39	100	13,1	140	243	100	388	160	293	100	250	85
1400	9,78	100	12,8	131	240	100	354	148	282	100	255	90
1500	10,10	100	12,5	124	240	100	328	137	271	100	250	92
1600	10,60	100	12,8	122	243	100	309	127	257	100	237	92
1700	10,99	100	13,1	119	247	100	309	125	248	100	219	88
1750	11,10	100	13,5	122	250	100	328	131	242	100	211	87
1800	7,15	100	8,8	123	300	100	398	133	124	100	141	114
1845	3,53	100	4,3	122	$\infty$	-	$\infty$	-	0	-	0	-

$n_d, \text{хв}^{-1}$	$N_e$				$N$			
	ДП		СО		ДП		СО	
	кВт	%	кВт	%	%	рази	%	рази
1200	36,8	100	33,0	89,67	57	1,00	42	0,74
1300	39,0	100	36,0	92,31	57	1,00	40	0,70
1400	41,5	100	39,0	93,98	55	1,00	38	0,69
1500	42,5	100	40,0	94,12	53	1,00	35	0,66
1600	43,5	100	40,4	92,87	47	1,00	31	0,66
1700	44,7	100	40,0	89,49	39	1,00	22	0,56
1750	44,5	100	38,6	86,74	33	1,00	18	0,55
1800	24,1	100	26,5	110,0	23	1,00	9	0,39
1845	0	-	0	-	11	1,00	5	0,46

Показники зміни величини годинної і ефективної питомої витрати палива мають відмінності. Але мінімальна різниця показників є на номінальному режимі. Годинна витрата палива при роботі на 100 % СО більша на (2,11-4,42) кг/год (19,20-47,12 %), а ефективна питома витрата палива – на 62-194 г/(кВт·год) (25,10...77,60 %). Мінімальна різниця обох показників є при 1700 хв<sup>-1</sup>.

**Висновки.** 1. При роботі дизеля без навантаження на 100 % СО годинна витрата палива збільшується на (0,31-1,36) кг/год (19,4-49,8 %), димність ВГ зменшується на (2,0-5,3) % (0,50-0,75 разів), а тиск в системі мащення – на (0,01-0,10) МПа (3-31 %).

2. При роботі дизеля на 100 % СО з навантаженням в робочому діапазоні кількостей обертів колінчастого вала димність відпрацьованих газів зменшується на (15-18) % (0,55-0,74 разів), ефективна потужність дизеля – на (3,8-5,9) кВт (10,3-13,3 %), ефективний крутний момент дизеля – на (22-60) Н·м (7,8-20,3 %), а годинна і ефективна витрати палива збільшуються на (2,11-4,42) кг/г (19,2-47,1 %) і (62-194) г/(кВт·год) (25,1-77,6 %).

3. Для визначення впливу зміни показників дизеля на показники трактора і машинно-тракторного агрегату необхідно провести додаткові дослідження.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кобець, А.С. Деякі аспекти використання біологічного палива на основі метилового ефіру рослинного походження / А.С. Кобець, В.Г. Бутенко, В.І. Дирда, П.М. Кухаренко, В.О. Улексін, В.І. Мельниченко, В.М. Яцук // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 70. – С. 155-160.
2. Мельниченко, В.І. Способи поліпшення екологічних, паливних та потужнісних показників трактора Т-150К в умовах рядової експлуатації / В.І. Мельниченко // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, 2005. – Вип. 60. – С. 183-186.
3. Кобець, А.С. Визначення показників роботи дизеля при використанні біопалива / А.С. Кобець, В.Г. Бутенко, В.І. Дирда, П.М. Кухаренко, В.О. Улексін, В.І. Мельниченко, В.М. Яцук // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 70. – С. 160-165.
4. Кобець, А.С. Визначення показників роботи дизеля при використанні біопалива / А.С. Кобець, В.І. Дирда, П.К. Охмат, П.М. Кухаренко, В.О. Улексін, В.І. Мельниченко, В.М. Яцук, О.В. Клименко // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 84. – С. 30-35.

## REFERENCES

1. Kobets, A.S., Butenko, V.H., Dyrda, V.I., Kuharenko, P.M., Uleksin, V.A., Melnychenko, V.I. and Yatsuk, V.M. (2007), «Some aspects of utilization of biological combustibile on the basis of methylic ether phytogenous», Geo-Technical Mechanics, no. 70, pp. 155-160.
2. Melnychenko, V.I. (2005), «The ways of improvement of ecological, fuel and power parameters of the T-150K tractor in the ordinary operation conditions», Geo-Technical Mechanics, no. 60, pp. 183-186.
3. Kobets, A.S., Butenko, V.H., Dyrda, V.I., Kuharenko, P.M., Uleksin, V.A., Melnychenko, V.I. and Yatsuk, V.M. (2007), «Definition of parameters of operation of a diesel engine at utilization of a biofuel», Geo-Technical Mechanics, no. 70, pp. 160-165.
4. Kobets, A.S., Dyrda, V.I., Ohmat, P.K., Kuharenko, P.M., Uleksin, V.A., Melnychenko, V.I., Yatsuk, V.M. and Klymenko, O.V. (2009), «Definition of parameters of operation of a diesel engine at utilization of a biofuel», Geo-Technical Mechanics, no. 84, pp. 30-35.

## Про авторів

**Кобець Анатолій Степанович**, доктор економічних наук, професор, ректор, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет (ДДАЕУ), Дніпропетровськ, Україна, [info@dsau.dp.ua](mailto:info@dsau.dp.ua)

**Дирда Віталій Ілларіонович**, доктор технічних наук, професор, завідувач відділом механіки еластомірних конструкцій гірничих машин, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАНУ), Дніпропетровськ, Україна, [vita.igtm@gmail.com](mailto:vita.igtm@gmail.com)

**Улексін Василь Олексійович**, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Трактори і автомобілі», Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет (ДДАЕУ), Дніпропетровськ, Україна, [info@dsau.dp.ua](mailto:info@dsau.dp.ua)

**Мельниченко Василь Іванович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Трактори і автомобілі», Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет (ДДАЕУ), Дніпропетровськ, Україна, [info@dsau.dp.ua](mailto:info@dsau.dp.ua)

**Яцук Владислав Миколайович**, аспірант кафедри «Трактори і автомобілі», Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет (ДДАЕУ), Дніпропетровськ, Україна, [info@dsau.dp.ua](mailto:info@dsau.dp.ua)

## About the authors

**Kobets Anatoly Stepanovich**, Doctor of Economical Sciences (D. Sc.), Professor, Prex, Dnepropetrovsk State Agrarian and Economic University (DSAEU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [info@dsau.dp.ua](mailto:info@dsau.dp.ua)

**Dyrda Vitaly Illarionovich**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [vita.igtm@gmail.com](mailto:vita.igtm@gmail.com)

**Uleksin Vasilij Oleksiyovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Head of Department «Tractors and Vehicles», Dnepropetrovsk State Agrarian and Economic University (DSAEU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [info@dsau.dp.ua](mailto:info@dsau.dp.ua)

**Melnychenko Vasilij Ivanovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor of Department «Tractors and Vehicles», Dnepropetrovsk State Agrarian and Economic University (DSAEU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [info@dsau.dp.ua](mailto:info@dsau.dp.ua)

*Yatsuk Vladyslav Mykolaiovich*, Doctoral Student in Department «Tractors and Vehicles», Dnepropetrovsk State Agrarian and Economic University (DSAEU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [info@dsau.dp.ua](mailto:info@dsau.dp.ua)

**Аннотация.** Целью данной работы является определение показателей работы дизеля Д-65Н на соевом масле. Исследования проводились в лаборатории Днепропетровского государственного аграрно-экономического университета; в качестве биотоплива использовалось соевое масло, изготовленное на собственном производстве агрофирмой ООО «Приват-Альянс». Приведены характеристики холостого хода и внешняя скоростная характеристика дизеля Д-65 при работе на соевом масле. Выполнено сравнение с аналогичными характеристиками при работе дизеля на стандартном дизельном топливе. Определено влияние биологического топлива на мощностные, экологические и другие основные показатели дизеля на различных характерных режимах работы. Получены такие результаты: при работе дизеля без нагрузки на 100 % соевом масле часовой расход топлива увеличивается на 0,31-1,36 кг; дымность дизеля уменьшается, а давление в системе смазки уменьшается на 0,1 МПа; при работе дизеля на 100 % соевом масле с нагрузкой в рабочем диапазоне количества оборотов коленчатого вала дымность отработанных газов уменьшается на 18 %, уменьшается эффективная мощность двигателя и эффективный крутящий момент, а часовой и эффективный расход топлива увеличиваются.

**Ключевые слова:** биотопливо, дизельное топливо, дизель, характеристика холостого хода, внешняя скоростная характеристика, мощность, крутящий момент, часовой расход топлива, эффективный удельный расход топлива, оптическая плотность (дымность) отработавших газов

**Abstract.** Objective of this study is to determine performance of the D-65N diesel engine when soybean oil is used as a fuel. The study was conducted in laboratory of the Dnipropetrovsk State Agrarian-Economic University; soybean oil produced by an agricultural company “Privat-Alliance LLC” was used as a biofuel. Idle stroke characteristic and full-load curve of the D-65 diesel engine operating on the soybean oil are shown in comparison with the operation on the standard diesel fuel. Impact of biofuel on capacity, ecology and other main diesel indices was determined at different standard modes of operation. The findings are following: one-hour fuel consumption increases by 0,31-1,36 kg when the diesel engine works without a load and uses 100% soybean oil; diesel smoking decreases and pressure in the lubrication system is reduced by 0.1 MPa; when the diesel engine works with the load and uses 100% soybean oil within working range of the number of revolutions of the crankshaft, exhaust smoking is decreased by 18%, the engine output and torque efficiency are decreased, and one-hour and effective fuel consumptions increase.

**Keywords:** biofuel, diesel fuel, diesel, idle stroke characteristic, full-load curve, capacity, torsion torque, one-hour fuel consumption, effective specific fuel consumption, optical density (exhaust smoking) of discharged gases

*Статья поступила в редакцию 19.02.2015*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук, проф. Л.И. Васильевым*

**Шевченко Г.А.**, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,  
**Шевченко В.Г.**, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,  
**Шляхова М.А.**, аспирант,  
**Лебедь Г.Б.**, инженер  
(ИГТМ НАН Украины)

### РЕЗОНАНСЫ ВИБРОУДАРНЫХ СИСТЕМ

**Шевченко Г.О.**, д-р техн. наук, ст. науч. співр.,  
**Шевченко В.Г.**, д-р техн. наук, ст. науч. співр.,  
**Шляхова М.О.**, аспірант,  
**Лебедь Г.Б.**, інженер  
(ІГТМ НАН України)

### РЕЗОНАНСИ ВІБРОУДАРНИХ СИСТЕМ

**Shevchenko G.A.**, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher,  
**Shevchenko V.G.**, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher,  
**Shliakhova M.O.**, Doctoral Student,  
**Lebed G.B.**, M.S (Tech.)  
(IGTM NAS of Ukraine)

### RESONANCE OF VIBROIMPACT SYSTEMS

**Аннотация.** В вибрационных системах с односторонними ограничителями перемещений при ударных колебаниях не определены области резонансов. Исследования резонансов проведены на примере колебаний виброударного осциллятора, как простейшей модели в иерархии таких систем. Исследования проводились на собственной частоте порождающей линейной системы до выбора зазоров в ограничителях перемещений и при возбуждении виброударных колебаний от источника идеальной и ограниченной мощности. Установлено, что область параметров виброударной системы от резонанса порождающей линейной системы до срыва виброударных колебаний является резонансной областью. Результаты исследований виброударного осциллятора с ограниченным источником возбуждения совпадают с результатами исследований такого осциллятора с идеальным источником, что свидетельствует об адекватности моделей.

**Ключевые слова:** виброударные системы, колебания, резонансы, идеальный и ограниченный источники возбуждения.

Ударные взаимодействия составляют основу рабочих процессов множества механизмов, а виброударные системы нашли применение в различных технологических процессах, в том числе при переработке и обогащении минерального сырья [1, 2, 3]. Такие системы являются существенно нелинейными и при их исследовании требуются новые подходы, базирующиеся на развитии теории нелинейных колебаний.

При исследовании и определении параметров нелинейных систем часто используются положения линейной теории колебаний. В частности, в определении резонансов в нелинейных системах широко применяется понятие собственной частоты линейной (порождающей) системы, а резонансные частоты нелинейной системы рассматриваются как комбинация собственных частот по-