

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



УДК 658.5:636.085(076.5)

V.V. Sadov
 V.V. Sadov

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОМБИКОРМОВЫХ АГРЕГАТОВ НА ЭТАПЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

COMPARATIVE EVALUATION OF COMPOUND FEED UNITS AT THE STAGE OF CONCEPTUAL DESIGNING

Ключевые слова: концептуальное проектирование, комбикормовый агрегат, критерии оптимизации, принцип Эджворта-Парето, метод идеальной точки в пространстве критериев.

Проектирование – это процесс творческий, поэтому при разработке линии по производству комбикормов для одних выходных параметров, таких как производительность, однородность смеси и др., а также наборе транспортных и технологических машин можно предложить несколько вариантов компоновок. В этом случае предполагаемые варианты необходимо оценить по нескольким критериям, чтобы сделать правильный выбор для внедрения в производство. Предлагаем в качестве критериев использовать эффективность, надежность и сложность технологической системы. На примере трех схем, разработанных в Алтайском ГАУ, были продемонстрированы возможности предлагаемой методики сравнительной оценки. Проводим оценку каждого критерия для представленных линий по полученным математическим выражениям. Первоначально линии оценивались по принципу Эджворта-Парето. Принцип заключается в бинарном (попарном) сравнении всех линий. Если при сравнении все показатели одной линии превосходят другую, то линию с меньшими характеристиками можно удалить, т.к. она не является Парето – оптимальной. Если не получили явного лидера, как в нашем случае, то необходимо проводить дополнительные оптимизационные процедуры. В этом случае сравнивали «методом идеальной точки в пространстве критериев». Здесь необходимо определить координаты точки, соответствующие каждой линии. Тот вариант, который будет ближе к идеальной точке и будет являться наилучшим. Метод идеальной точки применяют редко в связи с тем, что координаты этой точки часто неизвестны, а также в связи с нарушением аксиомы независимости. В нашем случае аксиома независимости не нарушается, поэтому применение метода идеальной точки в пространстве критериев является в

данном случае правомерным. Данные процедуры позволили определить наилучшую линию № 3.

Keywords: conceptual design, compound feed mill, optimization criteria, Edgeworth-Pareto principle, ideal point method in criteria space.

Designing is a creative process, therefore several options for layouts may be offered when developing a feed production line for certain output parameters, such as productivity, uniformity of a mixture and others, and a set of transport and technological machines. In this case, the proposed variants should be assessed by several criteria in order to make the right choice for introduction into production. We propose as criteria to use the efficiency, reliability, and complexity of the technological system. Using the example of the three schemes developed in the Altai State Agricultural University, the possibilities of the proposed method of comparative evaluation were demonstrated. We evaluate each criterion for the presented lines from the mathematical expressions obtained. Initially, the lines were evaluated according to the Edgeworth-Pareto principle. The principle is a binary (pairwise) comparison of all lines. If in comparison all the indicators of one line exceed the other, a line with smaller characteristics can be deleted, since it is not Pareto optimal. If you did not receive an explicit leader, as in our case, then it is necessary to conduct additional optimization procedures. In this case, we compared “the ideal point method in the space of the criteria”. Here, it is necessary to determine the coordinates of the point corresponding to each line. The one that will be closer to the ideal point will be the best. The ideal point method is rarely used due to the fact that the coordinates of this point are often unknown, as well as in connection with the violation of the axiom of independence. In our case, the axiom of independence is not violated, so the application of the ideal point method in the space of criteria is, in this case, justified. These procedures made it possible to determine the best line No. 3.

Садов Виктор Викторович, к.т.н., доцент, каф. механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-87. E-mail: sadov.80@mail.ru.

Sadov Viktor Viktorovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Agricultural Production Mechanization and Processing, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-87. E-mail: sadov.80@mail.ru.

Введение

При концептуальном проектировании комбикормового агрегата, т.е. начальной стадии, необходимо определить облик технического решения. Имея несколько технологических схем, можно провести математическую оценку и принять правильное решение по структуре агрегата.

В предыдущих исследованиях было показано [1], что оценка технологической схемы комбикормового агрегата не может быть сведена к одному критерию. Поэтому были введены три критерия, отражающие эффективность E , надежность K_r и сложность S технологической системы комбикормового цеха. В совокупности они и учитывают разнородные характеристики сравниваемых вариантов, разнообразие достигаемых целей.

Особенно на первоначальном этапе можно добиться улучшения введенных критериев за счет изменения количественного

состава основного и вспомогательного оборудования и в целом характеристик линий (одно- или многопоточная, непрерывного или периодического действия, одно- или многооперационные машины и т.д.) [2].

Цель исследования – показать возможности сравнительной оценки комбикормовых агрегатов на стадии концептуального проектирования.

Объекты и методы исследований

Для сравнительной оценки используем схемы линии по производству комбикормов (рис. 1-3), разработанные в Алтайском ГАУ, имеющие запатентованные как отдельные машины, так и линии в целом и соответствующие требованиям к линии для приготовления комбикормов [3].

Для объективности исследования в сравнительной оценке необходимо использовать линии по производству комбикормов одного номенклатурного ряда.

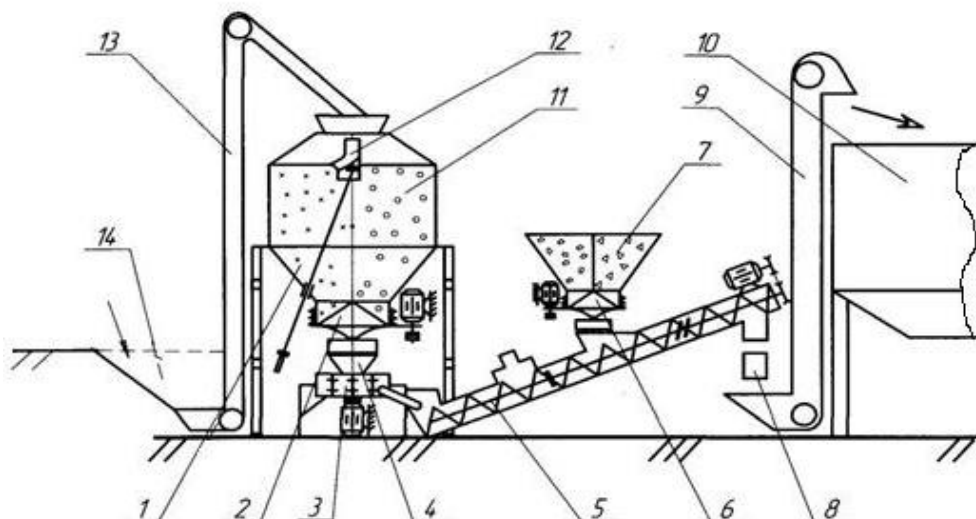


Рис. 1. Линия по производству комбикормов ИТАИ (а.с. № 1720944; патенты № 2415715, 2248846):

- 1, 11 – бункеры для неизмельченных зерновых компонентов; 2, 6 – дозаторы; 3 – дробилка; 4 – пробоотборник; 5 – шнек-смеситель; 7 – бункер для добавок; 8 – магнитная колонка; 9, 13 – нории; 10 – бункер готовой продукции; 12 – поворотный рукав; 14 – завальная яма с очистительным устройством

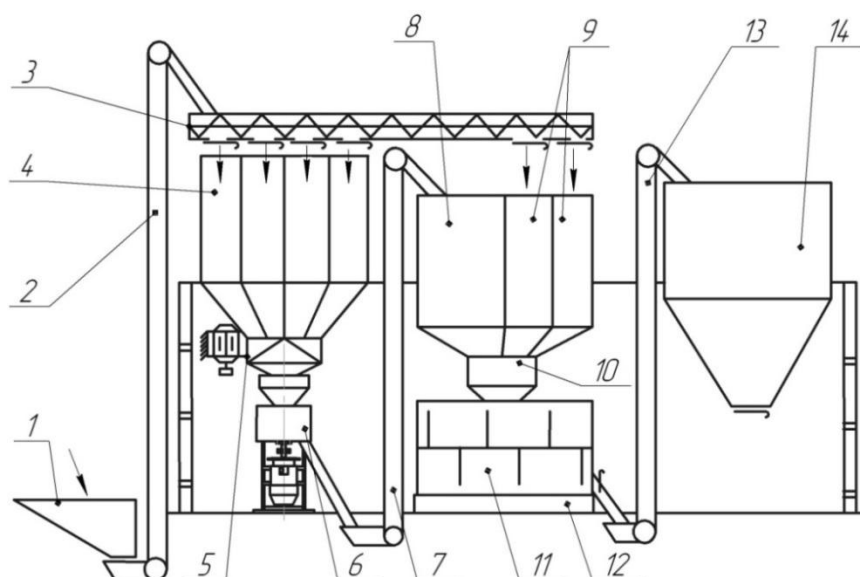


Рис. 2. Линия по производству комбикормов (патент № 2524258):
 1 – завальная яма с очистительным устройством; 2, 7, 13 – нории;
 3 – шнековый транспортер; 4 – бункеры для неизмельченных зерновых компонентов;
 5, 10 – дозаторы; 6 – дробилка; 8 – бункер для измельченных зерновых компонентов;
 9 – бункеры для добавок; 11 – смеситель периодического действия; 12 – весы;
 14 – бункер готовой продукции

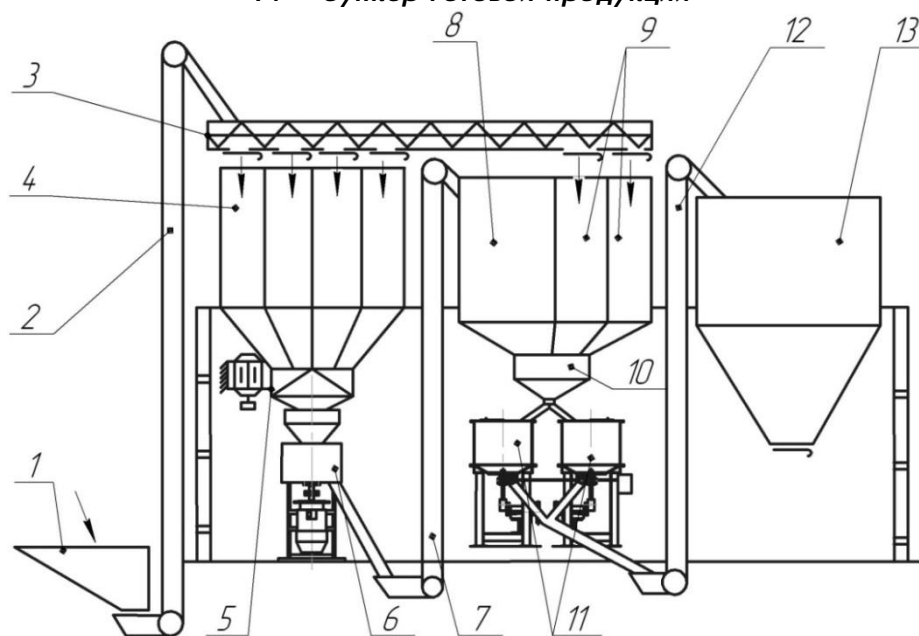


Рис. 3. Линия по производству комбикормов
 (а.с. №1720944; патенты № 2459674, 2415715, 2481147):
 1 – завальная яма с очистительным устройством; 2, 7, 12 – нории;
 3 – шнековый транспортер; 4 – бункеры для неизмельченных зерновых компонентов;
 5, 10 – дозатор; 6 – дробилка; 8 – бункер для измельченных зерновых компонентов;
 9 – бункеры для добавок; 11 – вибрационные смесители периодического действия;
 13 – бункер готовой продукции

Экспериментальная часть

Первоначально необходимо произвести оценку каждого критерия для представленных линий.

Согласно [4] эффективность E может быть определена как:

$$E[W(X_1), W(X_2), \dots, W(X_i)] = \frac{\sum_{i=1}^m W(X_i) \cdot W(Y)}{\sum_{i=1}^m W(X_i) + W(Y)} + \prod_{i=1}^m W(X_i) \rightarrow \max \quad (1)$$

при ограничениях

$$0 \leq W(X1) \leq 1; 0 \leq W(X2) \leq 1 \dots, 0 \leq W(Y) \leq 1,$$

где $X1, X2, \dots, X_m$ – технологические линии (подсистемы) 2-го уровня;

Y – подсистема 1-го уровня (технологическая система смешивания и выдачи готовой продукции).

Представленные схемы (рис. 1-3) имеют по 4 подсистемы второго уровня: загрузка, дозирование, измельчение, ввод добавок и подсистему первого уровня.

Для оценки показателей эффективности линий использовали экспертов, компетентных в вопросах приготовления комбикормов (табл. 1).

Таблица 1

Результаты расчета $E(W(\hat{X}, Y))$

№ линии	$W(X1)$	$W(X2)$	$W(X3)$	$W(X4)$	$W(Y)$	E
1 (рис. 1)	0,92	0,94	0,92	0,93	0,94	1,480
2 (рис. 2)	0,94	0,96	0,95	0,95	0,96	1,609
3 (рис. 3)	0,94	0,96	0,95	0,95	0,98	1,623

Подсчитываем относительные показатели технологических систем по формуле (1):

$$E_{\text{№1}} = \frac{(0,92 + 0,94 + 0,92 + 0,93) \cdot 0,94}{(0,92 + 0,94 + 0,92 + 0,93) + 0,94} + (0,92 \cdot 0,94 \cdot 0,92 \cdot 0,94) = 1,480;$$

$$E_{\text{№2}} = 1,609; \quad E_{\text{№3}} = 1,623.$$

Таким образом, схема технологической линии № 3 приготовления комбикормов оказалась по показателю относительной эффективности лучшей, чем № 1 и 2.

Коэффициент готовности определялся экспертами по выражению [5]

$$K_r = \frac{Q_{\phi}}{Q_T}, \tag{2}$$

где Q_{ϕ} , Q_T – фактическая и теоретическая производительность.

Его величина составила для линий № 1 $K_r=0,923$; для № 2 $K_r=0,934$; для № 3 $K_r=0,986$.

Сложность технологической схемы определяется по выражению [6]:

$$S = \left\{ \ln \left[\frac{\sum_{i=1}^N p_{i1} \cdot (N + n_1 + n_2)}{N^2} \right] + 1 \right\} N, \tag{3}$$

где p_1 – число режимов работы машин системы;

n_1 – число транспортных машин;

n_2 – число бункеров;

N – число технологических машин в системе.

Для всех линий режим работы технологических машин: обработка сырья – технологический простой ($p_1=2$).

Для анализируемых линий имеем следующие параметры:

$$\text{№ 1: } N = 4; n_1 = 2; n_2 = 3;$$

$$\text{№ 2: } N = 5; n_1 = 4; n_2 = 3;$$

$$\text{№ 3: } N = 6; n_1 = 4; n_2 = 3.$$

Таким образом, имеем все данные для расчета сложности технологических линий:

$$S_{\text{№1}} = \left\{ \ln \left[\frac{(2 + 2 + 2 + 2)(4 + 2 + 3)}{4^2} \right] + 1 \right\} \cdot 4 = 10,016; \quad S_{\text{№2}} = 12,843; \quad S_{\text{№3}} = 14,798.$$

Многокритериальную задачу по оценке технологической линии в нашем случае можно сформулировать следующим образом [1]:

$$E(z) \rightarrow \max; \quad K_r(z) \rightarrow \max; \quad S(z) \rightarrow \min, \tag{4}$$

где $z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ – набор переменных, определяющих данный показатель.

Для сравнения показателей нам потребуется, чтобы они стремились к max. Это приводит к решению следующей многокритериальной задачи:

$$E(z) \rightarrow \max; K_r(z) \rightarrow \max; S(z) \rightarrow \max,$$

поэтому у численных значений показателя S необходимо заменить знак.

Имея значения E , K_r , S , характеризующие технологические линии (табл. 2), следует отыскать Парето – оптимальное множество.

Таблица 2

Таблица исходных вариантов

№ линии \ Критерий	E	K_r	S
1 (рис. 1)	1,480	0,923	-10,016
2 (рис. 2)	1,609	0,934	-12,843
3 (рис. 3)	1,623	0,986	-14,798

Проведем бинарное (попарное) сравнение линий. Если при сравнении все показатели одной линии превосходят другую, то линию с меньшими характеристиками можно удалить, т.к. она не является Парето – оптимальной. Обнаруживаем, что ни одна из линий не имеет максимальные значения по всем показателям. В этом случае приходится привлекать различные дополнительные условия для сужения множества Парето.

В данном случае таким дополнительным условием может быть условие сравнительной (относительной) важности критериев [7].

В нашем случае эксперты указывают, что критерий E важнее критерия K_r , а критерий K_r важнее критерия S , следовательно, критерий E важнее также критерия S .

Эта дополнительная информация об относительной важности критериев может быть использована для того, чтобы «забраковать» некоторые Парето – оптимальные решения и тем самым сузить множество Парето и упростить последующий выбор.

В нашем случае (табл. 2) решение лежит на поверхности. Поскольку критерий E важнее критерия K_r и S , то мы вправе попробовать придать E наибольшее значение и посмотреть, что будет с остальными критериями. Отдавая предпочтение линии № 2 и 3, т.к. имеют наибольшее значение, мы повышаем значение E на $\{(1,623-1,609)/1,623\}100=0,8\%$. В то же время второй критерий K_r улучшился на $\{(0,986-0,934)/0,986\}100=5,3\%$, а третий критерий S ухудшился на $\{(14,798-12,843)/14,798\}100=13,21\%$.

Расчет показывает, что предпочтение необходимо отдать линии № 3.

Применим, для большей убедительности, еще один метод, называемый «методом идеальной точки в пространстве критериев». Для его применения пронормируем данные таблицы 2 по критериям E и S ; для чего используем полученные ранее значения [2, 4] $E_{\max}=1,8$ и $S_{кр} = \mu_{кр}N = 3,485N$. При числе технологических машин $N=4$ $S_{кр}=13,94$, при $N=5$ $S_{кр}=17,425$, при $N=6$, $S_{кр}=20,91$.

Нормирование ведем по формулам:

$$\bar{E} = \frac{E}{E_{\max}}; \quad \bar{S} = \frac{S}{S_{кр}}$$

В таблице 3 представлены нормированные показатели (знаки минус в ней опущены).

Таблица 3

Нормированные значения критериев

№ линии \ Критерий	\bar{E}	K_r	\bar{S}	ρ
1 (рис. 1)	0,822	0,923	0,719	0,474
2 (рис. 2)	0,894	0,934	0,737	0,467
3 (рис. 3)	0,902	0,986	0,708	0,432

Идеальной точкой, чаще всего недостижимой, является точка в пространстве с координатами тех значений критериев, к которым должны устремляться реальные показатели.

Таковыми значениями у нас являются $E_{\max}=1,8$, т.е. $\bar{E}_{\max}=1,0$; $K_{r\max}=1$, т.е. $\bar{K}=1$.

Для показателя сложности, наоборот, нужно достигать минимальных значений:

$$S_{\min} = N; \bar{S}_{\min} = \frac{S_{\min}}{S_{кр}} = \frac{N}{\mu_{кр}N} = \frac{1}{\mu_{кр}} = \frac{1}{3,485} = 0,287.$$

Итак, в нашем случае идеальной точкой в 3-мерном пространстве будет точка M^* с координатами: $\bar{S}_{\max} = 1,0; \bar{K}_{\max} = 1,0; \bar{S}_{\min} = 0,287$.

Линия № 1 характеризуется точкой $M_1 (0,822; 0,923; 0,719)$, линия № 2 – точкой $M_2 (0,894; 0,934; 0,737)$ и линия № 3 – точкой $M_3 (0,902; 0,986; 0,708)$.

Очевидно, что тот вариант лучше, который ближе к идеальной точке. Это расстояние в трехмерном пространстве легко определить, опираясь на положения аналитической геометрии

$$\rho_i(M^*, M_i) = \sqrt{(1 - \bar{E}_i)^2 + (1 - K_r)^2 + (\bar{S} - 0,287)^2} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где ρ_i – расстояние для i -го варианта.

$$\rho_1(M^*, M_i) = \sqrt{(1 - 0,822)^2 + (1 - 0,923)^2 + (0,719 - 0,287)^2} = 0,474;$$

$$\rho_2(M^*, M_i) = 0,467; \rho_3(M^*, M_i) = 0,432.$$

Расчеты показывают, что безоговорочно предпочтение к линии № 3. Интересен также результат сравнения линий, отличающихся по характеру рабочего процесса, типу структурных схем, функциональному назначению и т.д. [8].

Метод идеальной точки применяют редко в связи с тем, что координаты этой точки часто неизвестны, а также в связи с нарушением аксиомы независимости [9]. Аксиома независимости требует, чтобы результат сравнения двух альтернатив был независим от наличия или отсутствия третьей альтернативы. Обычно добавление к списку альтернатив еще одной альтернативы смещает идеальную точку в пространстве критериев.

В нашем случае аксиома независимости не нарушается, поэтому применение метода идеальной точки в пространстве критериев является в данном случае правомерным.

Выводы

При концептуальном проектировании комбикормовых агрегатах необходимо имеющие варианты оценивать несколькими критериями. Это позволит выявить наиболее оптимальную схему. В качестве критериев приняты эффективность E , надежность K_r и сложность S технологической системы. На примере трех схем, разработанных в Алтайском ГАУ, были продемонстрированы возможности предлагаемой методики сравнительной оценки. Первоначально линии оценивались по принципу Эджворта-Парето. В этом случае перевес оказался на стороне линии № 3. При большей достоверности использовали «метод идеальной точки в пространстве критериев». Он показал, что линия № 3 ближе по координатам

к идеальной точке, что также подтверждает ее превосходство. Лучшие показатели линии № 3 по сравнению с аналогичной линией № 2 объясняются нагруженным резервированием на подсистеме 1-го уровня.

Библиографический список

1. Федоренко И.Я., Садов В.В. Многокритериальная оценка технологической системы комбикормового цеха // Наука и молодежь: XIV Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Барнаул. 2017. – Режим доступа: http://edu.secna.ru/media/f/ntts_sod_tez_2017.pdf (дата обращения 30.08.2017).
2. Сергеев Н.С., Палецов Е.Н., Золотых С.В. Совершенствование системы технического задания и средств технического контроля в кормопроизводстве // Достижения науки в реализацию национального проекта «Развитие АПК»: матер. науч.-практ. конф. – Куртамыш, 2006. – Т. 3. – С. 25-29.
3. РД-АПК 1.10.17.01-15 Методические рекомендации по технологическому проектированию предприятий по производству комбикормов: утв. М-вом сельского хозяйства Рос. Федерации 30.07.15; ввод в д. с 30.07.2015: взамен НТП-АПК 1.10.16.002-03.: дата введ. 01.01.04. – М. 2015. – 104 с.
4. Федоренко И.Я., Садов В.В. Модель эффективности технологической системы комбикормового цеха как иерархической структуры // Вестник Омского ГАУ. – 2017. – № 3(27). – С. 105-111.
5. Земсков В.И. Временная методика оценки коэффициента готовности комплекта машин и оборудования кормоприготовительных цехов при проектировании и испы-

тании: учеб. пособие. – Барнаул, 1979. – 45 с.

6. Федоренко И.Я., Садов В.В. Структурная сложность технологической системы комбикормового цеха // Вестник АПК России – 2017. – Т. 24 – № 2. – С. 437-442.

7. Подиновский В.В. Введение в теорию важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. – М.: Физматлит, 2007. – 64 с.

8. Сабиев У.К., Яцунов А.Н., Сабиев И.У. Комбикормовый агрегат // Сборник научных трудов SWorld // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2011. Том 2. Технические науки: Международный. науч.-практ. конф. – Одесса: Черноморье, 2011. – С. 63-65.

9. Завражнов А.И. Совершенствование машин и технологических линий приготовления и раздачи кормов на молочных фермах и комплексах: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01. – Л.; Пушкин, 1991. – 74 с.

References

1. Fedorenko I.Ya., Sadov V.V. Mnogokriterialnaya otsenka tekhnologicheskoy sistemy kombikormovogo tsekha // XIV Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Nauka i molodezh». Barnaul. 2017. Rezhim dostupa: http://edu.secna.ru/media/f/ntts_sod_tez_2017.pdf (data obrashcheniya 30.08.2017).

2. Sergeev N.S., Paletskov E.N., Zolotykh S.V. Sovershenstvovanie sistemy tekhnicheskogo zadaniya i sredstv tekhnicheskogo kontrolya v kormoproizvodstve // Dostizheniya nauki v realizatsiyu natsionalnogo

proekta «Razvitie APK»: Mater. nauchno-prakt. konf. T. 3. – Kurtamysh, 2006. – S. 25-29.

3. RD-APK 1.10.17.01-15 Metodicheskie rekomendatsii po tekhnologicheskomu proektirovaniyu predpriyatiy po proizvodstvu kombikormov: utv. M-vom selskogo khozyaystva Ros. Federatsii 30.07.15; vvod v d. s 30.07.2015: vzamen NTP-APK 1.10.16.002-03.: data vved. 01.01.04: – М. 2015. – 104 с.

4. Fedorenko I.Ya., Sadov V.V. Model effektivnosti tekhnologicheskoy sistemy kombikormovogo tsekha kak ierarkhicheskoy struktury // Vestnik Omskogo GAU. – 2017. – № 3 (27). – S/ 105-111.

5. Zemskov V.I. Vremennaya metodika otsenki koeffitsienta gotovnosti komplekta mashin i oborudovaniya kormoprigotovitelnykh tsekhov pri proektirovanii i ispytanii: uch. posobie. – Barnaul, 1979. – 45 с.

6. Fedorenko I.Ya., Sadov V.V. Strukturnaya slozhnost tekhnologicheskoy sistemy kombikormovogo tsekha // Vestnik APK Rossii – 2017. – Т. 24. – № 2. – С. 437-442.

7. Podinovskiy V.V. Vvedenie v teoriyu vazhnosti kriteriev v mnogokriterialnykh zadachakh prinyatiya resheniy. – М.: Физматлит, 2007. – 64 с.

8. Sabiev U.K., Yatsunov A.N, Sabiev I.U. Kombikormovyy agregat // Sbornik nauchnykh trudov SWorld. Po materialam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauchnye issledovaniya i ikh prakticheskoe primeneniye. Sovremennoe sostoyanie i puti razvitiya 2011». Tom 2. Tekhnicheskie nauki. – Odessa: Chernomore, 2011. – S. 63-65.

9. Zavrazhnov A.I. Sovershenstvovanie mashin i tekhnologicheskikh liniy prigotovleniya i razdachi kormov na molochnykh fermakh i kompleksakh: avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.20.01. – L.- Pushkin, 1991. – 74 с.



УДК 631.363.28

И.Я. Федоренко, С.Е. Захаров
I.Ya. Fedorenko, S.Ye. Zakharov

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, ВКЛЮЧАЮЩЕЙ ПЛАТФОРМУ, ОПИРАЮЩУЮСЯ НА ДВА ВРАЩАЮЩИХСЯ ВАЛЬЦА

VIBRATIONAL PROPERTIES OF A MECHANICAL SYSTEM INCLUDING A PLATFORM SUPPORTED BY TWO ROTATING ROLLERS

Ключевые слова: платформа, вращающиеся вальцы, автоколебания, предельный цикл, полуразмах колебаний, неустойчивость движения, технологическая машина.

Keywords: platform, rotating rollers, auto-oscillations, limit cycle, half-time of oscillations, motion instability, technological machine.