

## К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МОЩНОСТИ ПРИВОДА БАРАБАННОГО СМЕСИТЕЛЯ

**Фудин Константин Павлович**, аспирант кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет».

440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: kpfudin@yandex.ru

**Коновалов Владимир Викторович**, д-р техн. наук, проф. кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет».

440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

**Терюшков Вячеслав Петрович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис машин», ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ.

440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: [tvp141@mail.ru](mailto:tvp141@mail.ru)

**Ключевые слова:** смеситель, лопасть, поверхность, привод, мощность.

*Цель исследований – обоснование конструктивных параметров барабанного смесителя для улучшения распределения компонентов в объеме смеси с учетом энергозатрат. Получение смесей с заданными параметрами как для агропромышленного комплекса, так и в строительстве актуально. Для эффективного использования кормов применяют смеси кормовых компонентов. Рассыпные смеси из сыпучих компонентов – наиболее распространенные и используемые. Один из наименее энергозатратных видов смесителей – устройство с вращающейся емкостью – барабанный смеситель. Методика предусматривала проведение экспериментальных исследований и последующую статистическую обработку результатов с получением уравнений регрессии. Выявлены степенная и полиномиальная зависимости потребляемой мощности от высоты и количество лопастей, от углов установки нижнего и верхнего крыльев лопастей. Изменение потребляемой мощности незначительно, оно укладывается в зону работоспособности электродвигателя привода мощностью 1 кВт. Влияние высоты лопастей в интервале 0,125...0,175 м на затраты мощности несущественно. Более существенно влияние количества лопастей. По мере увеличения количества лопастей потребляемая мощность снижается на 18%. При количестве лопастей более шести потребляемая мощность не снижается. Изменение угла  $\beta$  установки нижнего крыла лопасти относительно касательной в интервале 30...40 градусов также несущественно изменяет потребляемую мощность. Дальнейшее увеличение (до 55 градусов) этого угла незначительно увеличивает ее значение (до 2%). Изменение угла  $\gamma$  установки верхнего крыла лопасти относительно касательной в интервале 0...45 градусов изменяет мощность менее, чем на 1%. Наибольшая потребляемая мощность соответствует углу установки верхнего крыла лопасти относительно касательной  $\gamma = 10...20$  градусов.*

## DETERMINATION OF THE ROTARY DRUM MIXER DRIVE POWER

**K. P. Fudin**, Postgraduate Student of the Department «Technology of Mechanical Engineering», FSBEI HE «Penza State Technological University».

440039, Penza, travel Baidukova/Gagarina street, 1A/11.

E-mail: kpfudin@yandex.ru

**V. V. Konovalov**, Doctor of Technical Science, Professor of the Department «Technology of Mechanical Engineering», FSBEI HE «Penza State Technological University».

440039, Penza, travel Baidukova/Gagarina street, 1A/11.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

**V. P. Teryushkov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Technical Service of Machines», FSBEI HE Penza SAU.

440014, Penza, Botanicheskaya street, 30.

E-mail: [tvp141@mail.ru](mailto:tvp141@mail.ru)

**Key words:** drum mixer, impeller, surface, drive, power.

The purpose of the research is to substantiate the design parameters of the drum mixer to improve the distribution of components in the volume of mixture, taking into account energy consumption. Obtaining mixtures with the specified parameters is important both for the agro-industrial complex and construction activities. For effective use mixtures of feed components are used. Crumbled mixtures are the most widespread and used. One of the least energy – consuming type of mixers is a rotating container-a drum mixer. The method involved conducting experimental studies and subsequent statistical processing of the results to obtain regression equations. The sedate and polynomial dependences of power consumption on the height and number of blades, installation angles of the lower and upper wings of the blades were revealed. The change in power consumption is insignificant, it fits into the operating zone of the drive motor with a capacity of 1 kW. The effect of the blade height in the range of 0.125...0.175 m on power consumption is insignificant. The influence of the number of blades is more critical. As the number of impellers increases, the power consumption decreases by 18%. If the number of impellers is more than six, the power consumption is not reduced. Angle  $\beta$  change of the lower wing of the impeller relatively to the tangent in the range of 30...40 degrees also does not significantly affect the power consumption. Further increase (up to 55 degrees) of this angle slightly increases its value (up to 2%). Angle  $\gamma$  change of the upper wing position relatively to the tangent in the range 0...45 degrees affects the power by less than 1%. The highest power consumption corresponds to the upper wing angle of the impeller relatively to the tangent  $\gamma = 10...20$  degrees.

Получение смесей с заданными параметрами как для агропромышленного комплекса, так и в строительстве весьма актуально. В процессе ремонта и реконструкции сельскохозяйственных объектов имеется необходимость получения строительных смесей [1]. При высеве кормовых культур используют зерновые смеси [2]. Для эффективного использования кормов и получения животных высокой продуктивности также применяют смеси, но уже кормовых компонентов [3, 4, 5, 6]. Одним из наиболее распространенных и используемых видов смесей являются рассыпные смеси из сыпучих компонентов [4]. Одним из наименее энергозатратных видов смесителей являются устройства с вращающейся емкостью – барабанные смесители [5, 6]. С целью ускорения распределения компонентов во всем объеме смеси ученые и практики разрабатывают и исследуют различные конструкции рабочих органов [7, 8]. Одними из эффективных рабочих органов являются Г-образные лопасти, расположенные внутри емкости смесителя [8].

**Цель исследований** – обоснование конструктивных параметров барабанного смесителя для улучшения распределения компонентов в объеме смеси с учетом энергозатрат.

**Задача исследований** – изучить влияние конструктивных параметров лопастей барабанного смесителя на величину потребляемой мощности.

**Материалы и методы исследований.** Методика предусматривала проведение экспериментов и последующую статистическую обработку результатов с получением уравнения регрессии [9, 10]. Повторность измерения мощности – десятикратная. Среднее значение по замерам использовалось при моделировании. Замеры производили комплектом измерительным К505. При проведении исследований во вращающийся барабан смесителя загружали корм заданной массы, и по истечении 2 минут осуществляли замер мощности. Фиксации подлежала медиана интервала колебаний числовых значений. При проведении исследований изменяли: высоту лопасти, количество лопастей, углы установки крыльев Г-образной лопасти [7, 8]. Интервалы изменения факторов представлены на графиках исследований мощности. Внешний вид барабанного смесителя с модернизированными лопастями представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Исследуемый модернизированный барабанный смеситель с Г-образными лопастями

**Результаты исследований.** Априорно предполагалось для описания функции потребляемой мощности  $P$ , кВт, использовать полиномиальную зависимость типа

$$P = K_0 + (K_1 + K_2h + K_3h^2 + K_4Z + K_5Z^2 + K_6hZ) \times (K_7 + K_8\beta + K_9\beta^2 + K_{10}\gamma + K_{11}\gamma^2 + K_{12}\beta\gamma), \quad (1)$$

где  $K_0 \dots K_{12}$  – эмпирические коэффициенты уравнения регрессии, определяемые на ЭВМ методом минимизации средних квадратических отклонений;

$h$  – высота лопасти, м;

$Z$  – количество лопастей, шт.;

$\beta$  – угол установки нижнего крыла лопасти относительно касательной в месте ее установки, град.;

$\gamma$  – угол установки верхнего крыла лопасти относительно касательной в месте ее установки, град.

В результате аппроксимации результатов получено уравнение регрессии для определения потребляемой мощности:

$$P = 0,53 + (0,287 - 5,738h + 17h^2 + 0,0723Z - 0,00673Z^2 - 2,3 \cdot 10^{-9}hZ) \times (4674,61 - 271,7\beta + 3,39\beta^2 + 0,3\gamma - 0,038\gamma^2 + 0,78\beta\gamma). \quad (2)$$

Результаты расчетов ( $F$ -test = 0,748, корреляционное отношение  $R_0 = 0,924$ ) свидетельствуют о неадекватности модели. Это также подтверждают графики распределения величин ошибок (рис. 2) и соответствия расчетных значений полученным опытным данным (рис. 3).

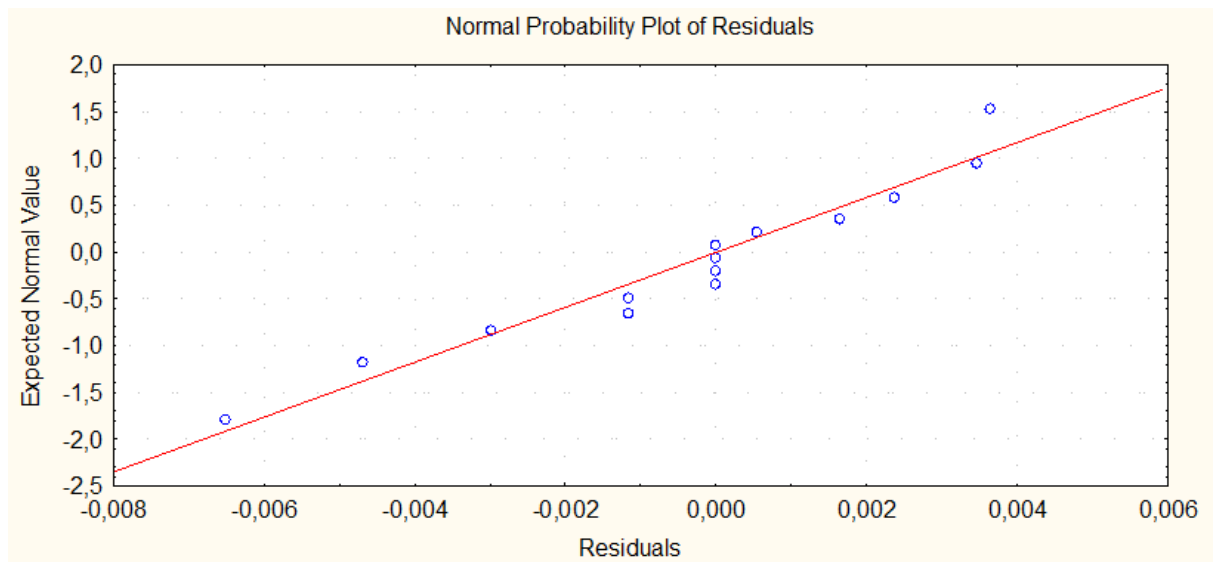


Рис. 2. Распределение величин ошибок

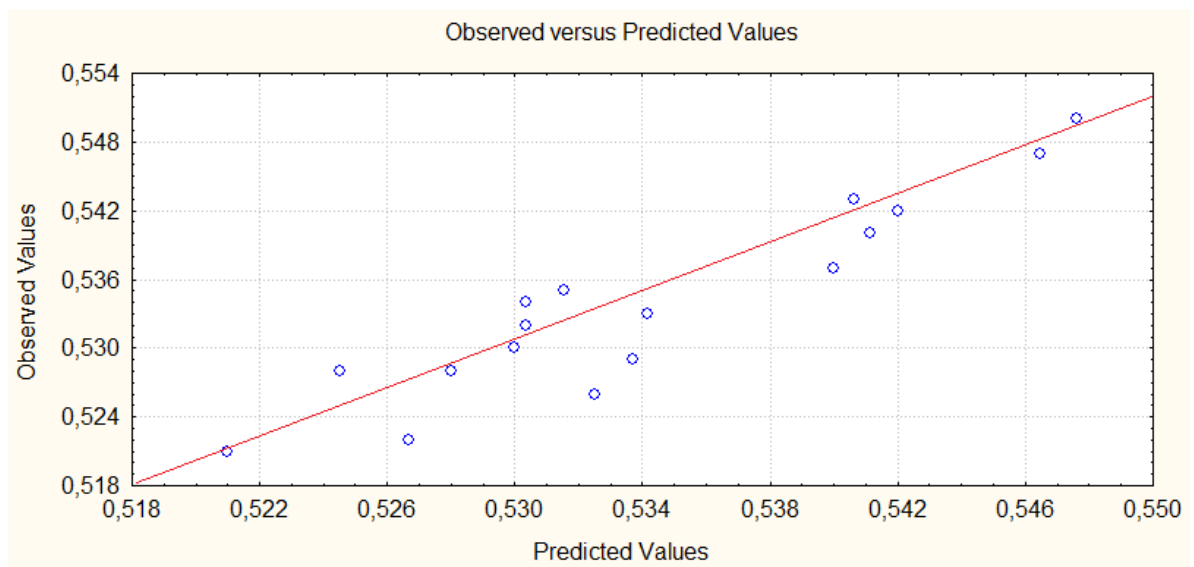


Рис. 3. Соответствие расчетных значений опытным значениям

Поскольку указанная полиномиальная модель неадекватно описывает результаты замеров, сделана попытка получения степенной модели, учитывающей высоту лопастей и их количество. Для этого использована выборка из исходной матрицы.

В результате получена зависимость потребляемой мощности, кВт, от высоты и количества лопастей (рис. 4):

$$P = 0,163 + \left( 0,13248 + 0,1881h^{0,146598} + \frac{0,131}{z} + 0,0067Z \right). \quad (3)$$

Результаты расчетов (F-test = 0,965, коэффициент корреляции R = 0,987) свидетельствуют об адекватности модели. Поэтому данную модель используем в качестве основы для получения более сложной модели.

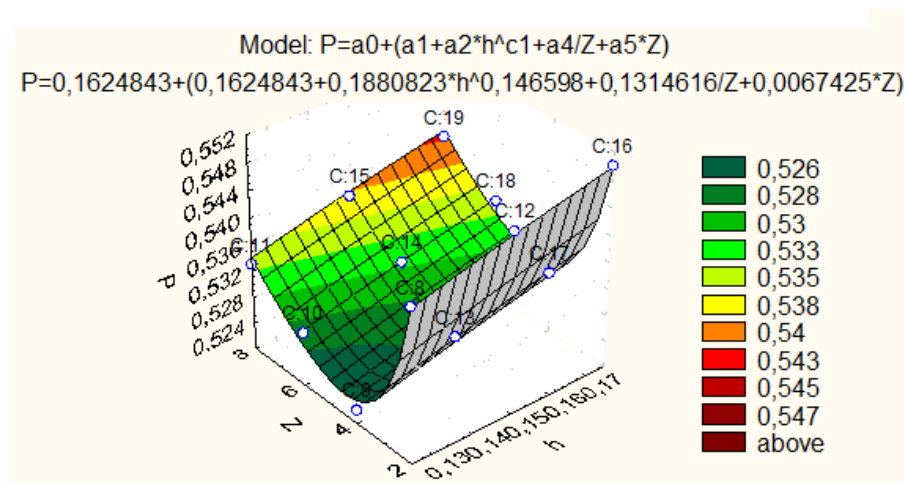


Рис. 4. Поверхность отклика мощности привода барабанного смесителя  $P$ , кВт, от высоты лопастей  $h$ , м, и их количества  $Z$ , шт.

В результате повторной аппроксимации, теперь уже по всем данным матрицы результатов эксперимента, получена зависимость потребляемой мощности, кВт, от конструктивных параметров и количества лопастей:

$$P = 0,163 + \left(0,13248 + 0,1881h^{0,146598} + \frac{0,131}{Z} + 0,0067Z\right) \times \left(0,49 + 0,007\beta - 0,00037\gamma + \frac{9,38}{\beta} - \frac{0,073}{\gamma}\right). \quad (4)$$

Результаты расчетов ( $F\text{-test} = 0,938$ , коэффициент корреляции  $R = 0,977$ ) свидетельствуют об адекватности модели. Это подтверждают как графики распределения величин ошибок (рис. 5), так и соответствие расчетных значений полученным опытным данным (рис. 6).

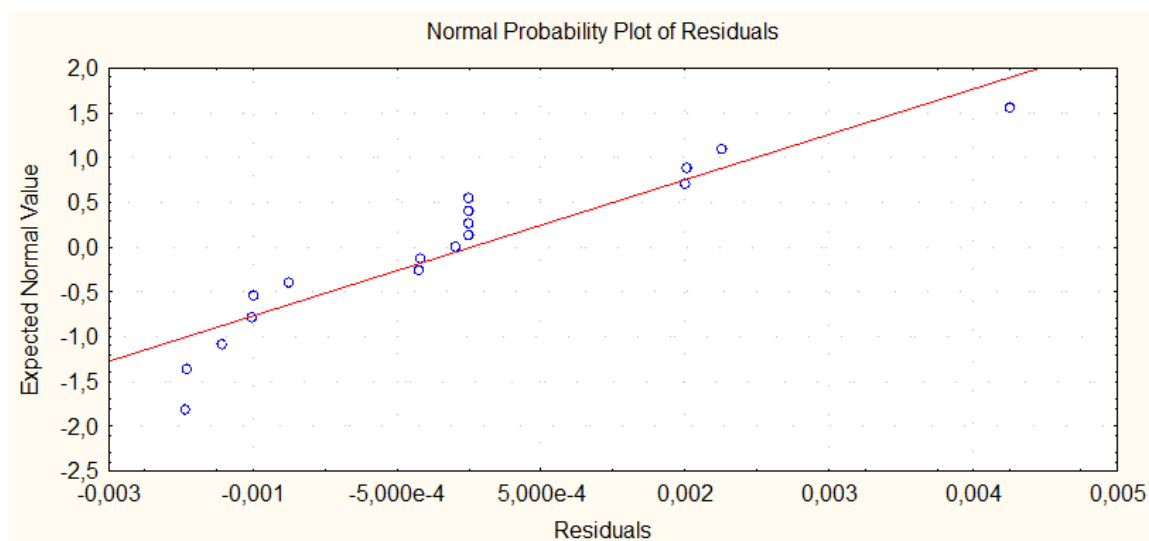


Рис. 5. Распределение величин ошибок

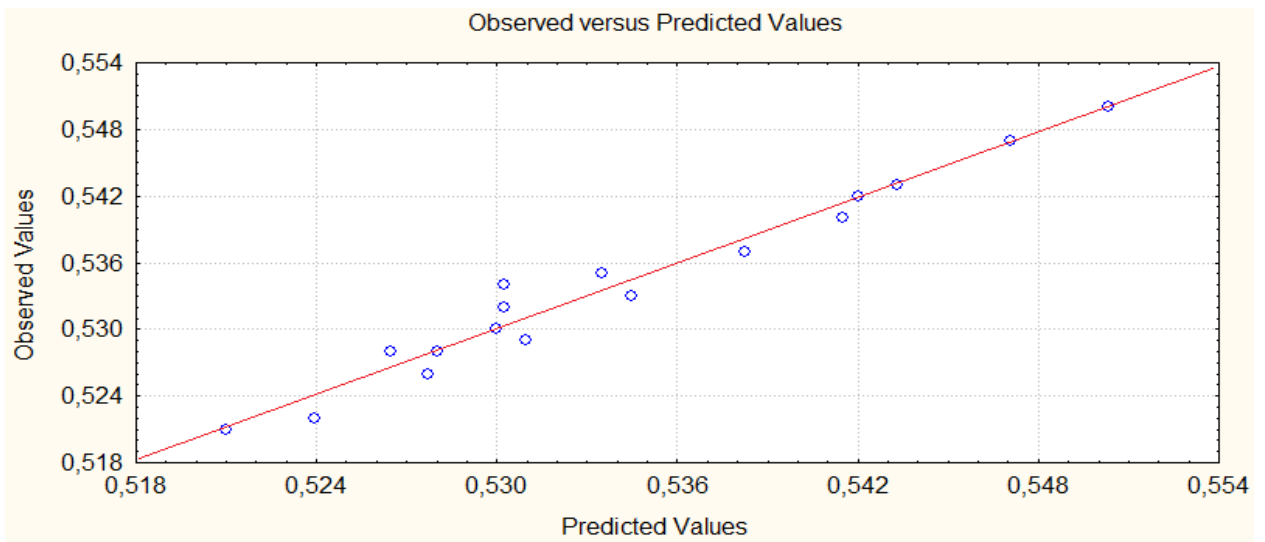


Рис. 6. Соответствие расчетных значений опытным значениям

С использованием выражения (4) и программы MathCAD было осуществлено моделирование потребляемой барабанным смесителем мощности. Графический анализ изменения мощности представлен на рисунках 7 и 8.

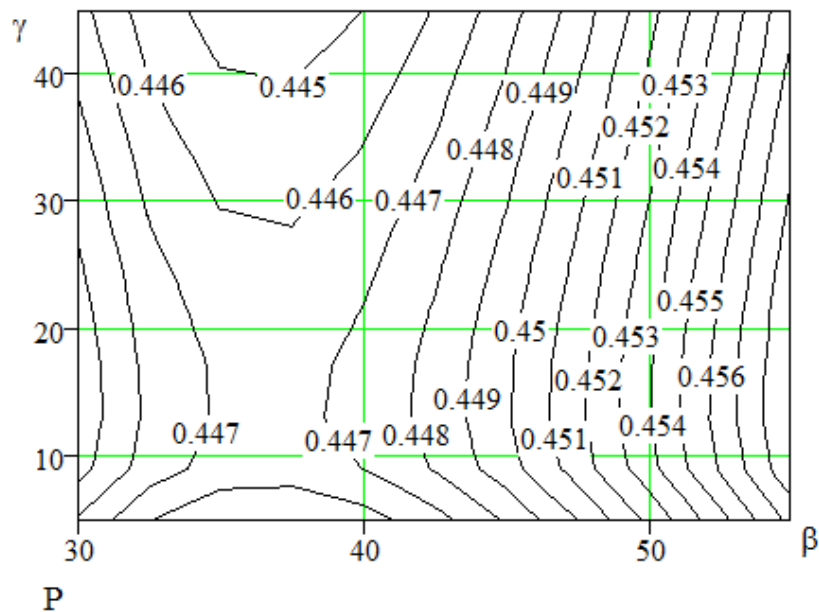


Рис. 7. График линий равного выхода для модели мощности барабанного смесителя  $P$  (кВт) от углов установки нижнего  $\beta$  и верхнего  $\gamma$  крыльев лопасти относительно касательной, град.

Изменение угла  $\beta$  установки нижнего крыла лопасти относительно касательной в месте закрепления лопасти в интервале 30...40 градусов несущественно изменяет потребляемую мощность. Дальнейшее увеличение (до 55 градусов) этого угла незначительно увеличивает ее значение (до 2%). Изменение угла  $\gamma$  установки верхнего крыла лопасти относительно касательной в месте закрепления лопасти в интервале 0...45 градусов еще меньше изменяет величину мощности (около 1%). Наибольшая мощность соответствует углу установки верхнего крыла лопасти относительно касательной в месте закрепления лопасти  $\gamma = 10...20$  градусов.

Влияние высоты лопастей в интервале 0,125...0,175 м на потребляемую мощность несущественно. С ростом высоты лопасти мощность повышается незначительно. Более существенно влияние количества лопастей. По мере увеличения количества лопастей потребляемая мощность снижается на 18%. При количестве лопастей более шести потребляемая мощность не снижается.

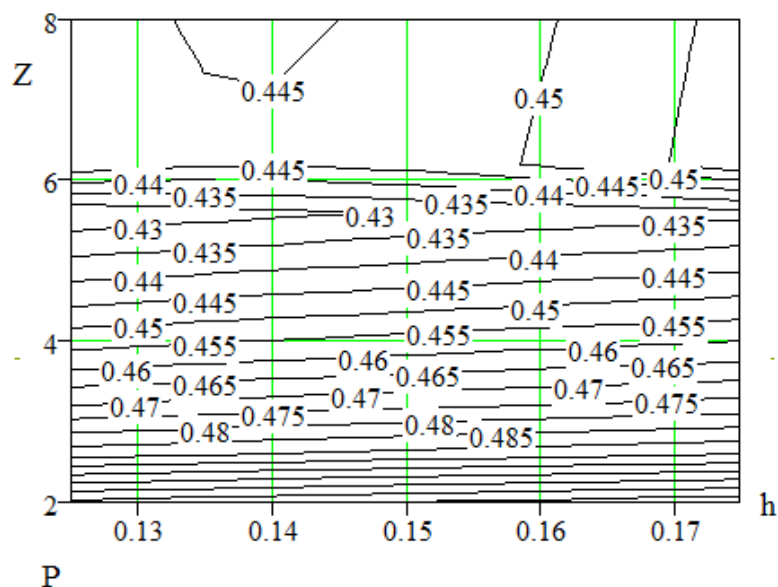


Рис. 8. Линии равного выхода для зависимости мощности барабанного смесителя  $P$ , кВт, от высоты  $h$ , м, лопастей и их количества  $Z$ , шт.

Интервал изменения потребляемой мощности незначителен и укладывается в зону работоспособности электродвигателя привода мощностью 1,0 кВт.

**Заключение.** Интервал изменения потребляемой мощности незначителен и укладывается в зону работоспособности электродвигателя привода мощностью 1 кВт. Влияние высоты лопастей в интервале 0,125...0,175 м на потребляемую мощность незначительно. С ростом высоты лопасти мощность повышается незначительно. Более существенно влияние количества лопастей. По мере увеличения количества лопастей потребляемая мощность снижается на 18%. При количестве лопастей более шести потребляемая мощность не снижается. Изменение угла  $\beta$  установки нижнего крыла лопасти относительно касательной в месте закрепления лопасти в интервале 30...40 градусов незначительно изменяет потребляемую мощность. Дальнейшее увеличение угла  $\beta$  (до 55 градусов) увеличивает ее незначительно (до 2%). Изменение угла  $\gamma$  установки верхнего крыла лопасти относительно касательной в месте закрепления лопасти в интервале 0...45 градусов еще меньше изменяет величину мощности (около 1%). Наибольшая мощность потребляется при угле установки верхнего крыла лопасти  $\gamma = 10...20$  град. относительно касательной в месте закрепления лопасти.

#### Библиографический список

1. Бормотов, А. Н. Методика представления композиционного материала как объекта исследования и моделирования / А. В. Бормотов, Е. А. Колобова, Ю. В. Конопацкий // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 3. – С. 44-51.
2. Сыроватка, В. И. Система машин для приготовления комбикормов в хозяйствах / В. И. Сыроватка, Н. В. Жданова, А. Д. Обухов // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 1(37). – С. 24-31.
3. Сыроватка, В. И. Ретроспективный анализ и перспективы развития машинных технологий производства комбикормов / В. И. Сыроватка // Механизация и автоматизация процессов в животноводстве : сборник статей. – Москва : Российский НИИ информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению АПК, 2019. – С. 35-81.
4. Сыроватка, В. И. Научные основы ресурсосбережения при производстве комбикормов в хозяйствах / В. И. Сыроватка, Н. В. Обухова // Научные труды ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии. – 2010. – № 3. – С. 3-12.
5. Булатов, С. Ю. Смеситель ферментер для кормов / С. Ю. Булатов, Н. В. Оболенский, А. И. Свистунов // Сельский механизатор. – 2014. – № 14. – С. 26-27.
6. Ведищев, С. М. Технология получения комбикормов в хозяйствах / С. М. Ведищев, А. В. Прохоров, А. С. Ткачев [и др.] // Инновационные подходы к разработке технологий производства, хранения и переработки продукции растениеводческого кластера : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. – Мичуринск, 2020. – С. 144-149.



7. Димитриев, Н. В. Моделирование рабочего процесса барабанного смесителя и теоретическое обоснование его параметров / Н. В. Димитриев, В. В. Коновалов, В. П. Терюшков [и др.] // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – №1. – С. 42-49.
8. Терюшков, В. П. Функциональная модель барабанного смесителя / В. П. Терюшков, А. В. Чупшев, В. В. Коновалов, Ю. В. Родионов // Перспективы развития аграрных наук : сборник статей Международной научно-практической конференции. – Чебоксары, 2019. – С. 108-110.
9. Fudin, K. Study of drum mixer operation during feed mixture preparation / K. Fudin, V. Teruchcov, P. Savinykh [et al.] // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – 488. – 012016.
10. Fudin, K. Regression model of the influence of the height of drum mixer blades on the quality of mixture / K. Fudin, V. Konovalov, V. Zaitsev, V. Teryushkov // E3S Web of Conferences. – 2020. – 175. – 05047.

#### References

1. Bormotov, A. N., Kolobova, E. A., & Konopatsky, Yu. V. (2012). Metodika predstavleniia kompozitsionnogo materiala kak objekta issledovaniia i modelirovaniia [Methods of presenting a composite material as an object of research and modeling]. *Regionalinaia arhitektura i stroitelstvo – Regional Architecture and Engineering*, 3, 44-51 [in Russian].
2. Syrovatka, V. I., Zhdanova, N. V., & Obukhov, A. D. (2020). Sistema mashin dlia prigotovleniia kombikormov v hozyiaistvah [System of machines for the preparation of compound feeds in farms]. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve – Machinery and technologies in livestock*, 1(37), 24-31 [in Russian].
3. Syrovatka, V. I. (2019). Retrospektivnii analiz i perspektivi razvitiia mashinnykh tekhnologii proizvodstva kombikormov [Retrospective analysis and prospects for the development of machine technologies for the production of compound feed]. Mechanization and automation of processes in animal husbandry '19: *sbornik nauchnykh trudov – collection of proceedings*. (pp.35-81). Moscow: Russian research Institute of information and technical and economic research on engineering and technical support of the agro-industrial complex [in Russian].
4. Syrovatka, V. I., & Obukhova, N. V. (2010). Nauchnie osnovi resursosberezheniia pri proizvodstve kombikormov v hozyiaistvakh [Scientific foundations of resource saving in the production of compound feeds on farms]. *Nauchnie trudi GNU vserossiiskogo NII mekhanizatsii zhivotnovodstva Rossel'hoz'akademii – Scientific works of the SSI all-russian research institute of animal husbandry mechanization of the russian agricultural academy*, 3, 3-12 [in Russian].
5. Bulatov, S. Yu., Obolensky, N. V., & Svistunov, A. I. (2014). Smesitel fermenter dlia kormov [Mixer fermenter for feed]. *Sel'skii mekhanizator – Selskiy Mechanizator*, 14, 26-27 [in Russian].
6. Vedishchev, S. M., Prokhorov, A. V., & Tkachev, A. S. et al. (2020). Tekhnologiia polucheniia kombikormov v hozyiaistvah [Technology of obtaining compound feeds in farms]. Innovative approaches to the development of technologies for the production, storage and processing of crop cluster products '20: *materiali Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii – materials of the All-Russian scientific-practical conference*. (pp. 144-149). Michurinsk [in Russian].
7. Dimitriev, N. V., Konovalov, V. V., & Teryushkov, V. P. et al. (2017). Modelirovanie rabocheho processa barabannogo smesitelia i teoreticheskoe obosnovanie ego parametrov [Modeling the working process of a drum mixer and theoretical substantiation of its parameters]. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhozyaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy*, 1, 42-49 [in Russian].
8. Teryushkov, V. P., Chupshev, A. V., Konovalov, V. V., & Rodionov, Yu. V. (2019). Funktsionalnaia model barabannogo smesitelia [Functional model of a drum mixer]. Prospects for the development of agricultural sciences '19: *sbornik statei Mezhdunarodno inachno-prakticheskoi konferentsii – a collection of articles of the International scientific-practical conference*. (pp. 108-110). Cheboksary [in Russian].
9. Fudin, K., Teruchcov, V., Savinykh, P., Konovalov, V., & Cupshev, A. (2020). Study of drum mixer operation during feed mixture preparation. *OP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 488. – 012016.
10. Fudin, K., Konovalov, V., Zaitsev, V., & Teryushkov, V. (2020). Regression model of the influence of the height of drum mixer blades on the quality of mixture. *E3S Web of Conferences*, 175. – 05047.