

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВИНТОВОГО ПРЕССА

Сапа В.Ю. - к.т.н., кафедра электроэнергетики и физики, Костанайский государственный университет им. А. Байтұрсынова.

В статье рассмотрены вопросы по совершенствованию конструктивно-режимных параметров машины для производства экспандированных кормов сельскохозяйственных животных. Проанализированы работы известных ученых. На основании анализа исследований и классификации конструктивных решений обоснована перспективная модель одношнекового винтового пресса и определено направление совершенствования его конструкции. Рассмотрен процесс уплотнения корма в экспандере. Определены зоны уплотнения в экспандере. На основании математических преобразований определена формула производительности экспериментального экспандера. Определены энергетические параметры установки. Время обработки смеси, время прохождения смеси через головку экспандера. Определены теплопотери от нагрева корпуса машине при установившемся режиме работы. В результате теоретических исследований рабочего процесса экспандера обоснована зависимость производительности и энергоемкости от его конструктивно-режимных параметров при переработке корма. Разработана программа экспериментальных исследований, состоящая из общей и частной методик, в том числе, методики лабораторных и производственных экспериментов. Получены эффективной вязкости и предельного напряжения сдвига от мощности установки. Для анализа влияния факторов на удельную энергоемкость винтового пресса были построены поверхности отклика. Приведены результаты исследований и производственных испытаний, сформулированы выводы.

Ключевые слова: экспандирование; сжатие; шнек; энергоемкость; исследование; температура; влажность.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF RESEARCH WORK MODES SCREW PRESS

Sapa V.Y. - PhD, Department of Electricity and Physics, Kostanay State University. A. Baitursynov.

The questions on improvement of constructive-mode parameters of the machine for the production of expansion feed farm animals. We analyzed the works of famous scientists. Based on the research analysis and classification of design solutions proved promising model of a single-screw screw press and defined the direction of improving its design. Considered feed expander sealing process. Defined sealing zone expander. On the basis of mathematical transformations defined formula experimental performance expander. The energy parameters of the installation. During processing the mixture while passing the mixture through an expander head. Determined the heat loss from the machine enclosure heating at steady state operation. As a result of theoretical research workflow expander proved dependence of performance and power consumption on its constructive-mode parameters in the processing of food. A program for experimental investigations, consisting of general and particular methods, including methods of manufacturing and laboratory experiments. We obtain the effective viscosity and limit shear stresses on plant capacity. To analyze the factors of influence on specific energy screw press were constructed response surface. The results of research and testing, conclusions formulated.

Keywords: expansion, compression, screw, energy consumption, study, temperature, humidity.

БҰРАНДАЛЫ СЫҚҚЫШ ЖҰМЫСЫНЫҢ РЕЖИМІН ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІН ТАЛДАУ

Сапа В. Ю. - к.т.ғ., аға оқытушысы, электрэнергетикасы және физика, А. Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университеті.

Мақалада конструктивті-режим параметрлер машинасын жетілдіру және ауылшаруашылығында мал шаруашылығының жем өндірісін өндіру үшін сұрақтары қаралған. Танымал ғалымдардың жұмыстары талданды. Жобалық шешімдердің зерттеу нәтижелері және конструктивті шешімдерді топтастыру бұрандалы сыққыштың перспективалы моделін дәлелдеді және оның конструкциялық жетілдіру бағытын анықтады. Экпандерде нығыздаушы жемді кеңейту үрдісі қаралды. Экспандерде тығыздау зонасы анықталды. Математикалық түрлендірулер негізінде тәжірибелік экспандердің өндірістік формуласы анықталды. Энергетикалық параметрлерлер қондырғылары анықталды. Қоспалар өңдеу уақыты, экспандердің басы арқылы қоспалар уақытынан өтеді. Корпус машинасының қызуынан орнатылған жұмыс режимінде жылужоғалтқыш анықталады. Экспандер үрдісінің теориялық зерттеу жұмысының нәтижесінде жемді қайта өңдеу барысында конструктивті-режим параметрлері өңдеуші және энергосиымдылығы тәуелділігі негізделген. Тәжірибелік зерттеуде,

жалпы және жеке әдістемеден тұратын, соның ішінде, лабораториялық әдістеме және өндірістік тәжірибе бағдарламасы құрастырылған. Тиімді тұтқырлығы және ығысу кернеуінің орнату қуатынан алынған. Меншікті энергосиымдылықтың бұрандалы сыққышқа әсер етуін талдау үшін беттік дыбыс салынған. Келтірілген зерттеу нәтижелері және өндірістік сынақ бойынша қорытындылар жасалған.

Маңызды сөздер: экспандерлеу; сығу; иірме; энергосиымдылық; зерттеу; температура; ылғалдылық.

Введение

Одно из важнейших условий увеличения производства продукции животноводства – рост производства высококачественных кормов и, на основе этого, организация полноценного сбалансированного кормления животных.

Один из наиболее эффективных способов термомеханической обработки кормов для повышения их питательной ценности – экспандирование. Основные преимущества экспандеров – меньшая энергоемкость, более долгий срок службы рабочих органов, высокий уровень ввода жидких компонентов, улучшенные качество и усваиваемость кормов, устранение вредных для питания компонентов.

Совершенствование конструктивно-режимных параметров экспандера представляет собой сложную, но важную и актуальную задачу, решение которой способствует изучению влияния различных факторов на повышение эффективности процесса экспандирования [1, 2, 3, 4].

Материалы и методы

Анализ работ Мельникова С.В., Карташова Л.П., Завражного А.И., Зубковой Т.М., Мирзоева Р.Г., Груздева И.Э., Янкова В.И. и других авторов, позволил обосновать направление совершенствования машин и их рабочего процесса при производстве кормов экспандированием.

В настоящее время в сельскохозяйственном производстве произошли большие организационные изменения, в которых интенсификация производства качественной животноводческой продукции приобретает еще большее значение.

Наряду с этим актуальным является и вопрос их удешевления, так как доля стоимости кормов для крупного рогатого скота составляет 50%, свиней – 70% в себестоимости животноводческой продукции.

Учитывая, что корма являются одним из важнейших факторов, влияющих на производство продукции животноводства, то их приготовление является актуальной задачей. Корма должны быть легко перевариваемыми и хорошо усваиваемыми, что становится возможным с использованием технологии экспандирования многокомпонентного сырья.

Преимущества экспандирования заключаются в следующем:

- более высокая гигиена производства;
- добавка большего количества жидкости, например, масла, жира, мелассы;
- устранение вредных для питания компонентов;
- улучшение качества;
- использование более дешевого и многокомпонентного сырья.

На основании анализа исследований и классификации конструктивных решений обоснована перспективная модель одношнекового экспандера и определено направление совершенствования его конструктивно-режимных параметров.

Процесс уплотнения корма в экспандере можно разделить на четыре зоны: 1-я – перемешивание, перемещение кормовой смеси вдоль шнека и начала уплотнения; 2-я – нарастание давления, прессование и разрушение частиц; 3-я – дальнейшее повышение давления, температуры и перехода корма в вязкопластичное состояние; 4-я – продавливание массы через отверстия выходной головки машины [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

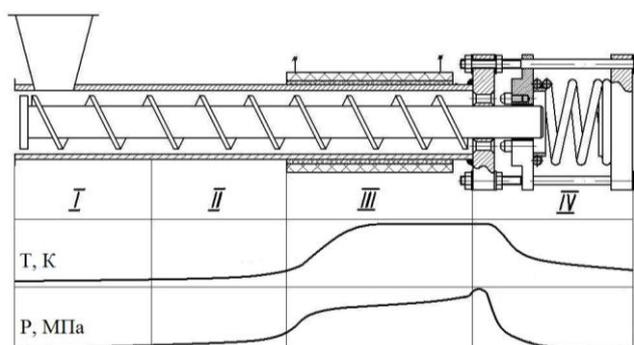


Рисунок 1. Зоны уплотнения корма в экспандере и изменение физических свойств реологического сырья при движении в рабочем органе

На основании математических преобразований производительность экспериментального экспандера может быть представлена выражением, кг/с:

$$Q_{\text{ЭКСП.}} = \frac{C \cdot (\Delta x + \lambda)}{F_{\text{эф}}}, \quad (1)$$

где λ – деформация при неизменном зазоре, м; Δx – перемещение головки экспандера, м; C – коэффициент жесткости пружины, Н/м; $F_{\text{эф}}$ – эффективная площадь поперечного сечения, м².

Пружина в работе экспандера выполняет демпфирующую роль. Она поддерживает требуемое давление в выходной камере и исключает появление резких скачков давления, вызванных случайными внешними факторами.

Время обработки смеси при экспандировании корма определяется по выражению, с:

$$\phi_{\text{об}} = 2 \cdot \left(h_{\text{I}} \cdot z_{\text{I}} + h_{\text{II}} \cdot z_{\text{II}} + h_{\text{III}} \cdot z_{\text{III}} \right) e_{\text{ср}} / \omega \cdot D + \phi_{\text{ВЫХ}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{ВЫХ}}$ – время прохождения смеси через головку, с; $e_{\text{ср.}} = 0,5 \cdot (e_{\text{II}} + e_{\text{III}})$ – усредненный коэффициент осевого перемещения смеси во 2-й и 3-й зонах.

Время прохождения смеси через головку, с:

$$\phi_{\text{ВЫХ}} = \frac{8 \cdot L_{\text{к}} \cdot z}{(P_{\text{III}} - P_{\text{АТМ}}) \cdot (R_{\text{к}} - r_{\text{к}})} \cdot m. \quad (3)$$

На нагрев обрабатываемой смеси до требуемой температуры t_{k} в конце 3-й зоны расходуется, Дж:

$$E_{\text{M}}^t = m_{\text{M}} \cdot c_{\text{M}} \cdot (t_{\text{k}} - t_{\text{H}}), \quad (4)$$

где m_{M} – масса смеси в машине при установившемся режиме работы, кг; c_{M} – теплоемкость массы при постоянном давлении, Дж/(кг · °С); t_{H} , t_{k} – начальная и конечная температура смеси, °С.

Теплопотери от нагрева корпуса машины и окружающего воздуха, Дж:

$$E_{\text{ПОТ.}} = k_{\text{ТП.}} \cdot F_{\text{КН}} \cdot (t_{\text{Мср}} - t_{\text{В}}) \cdot \phi_{\text{об}}, \quad (5)$$

где $k_{\text{ТП.}} = 1 / (1/\alpha_{\text{M}} + \delta/\lambda + 1/\alpha_{\text{В}})$ – коэффициент теплопередачи, Дж/(м²·с·°С); α_{M} , $\alpha_{\text{В}}$ – коэффициент теплопередачи обрабатываемой смеси к корпусу установки и от него в окружающую среду, Дж/(м²·с·°С); δ – толщина стенки корпуса, м; λ – коэффициент теплопроводности корпуса, Дж/(м²·с·°С); $t_{\text{Мср}} = (t_{\text{H}} + t_{\text{k}})/2$ – средняя (по длине рабочей камеры) температура обрабатываемой смеси, °С; $t_{\text{В}}$ – температура окружающего воздуха, °С; $F_{\text{КН.}}$ – площадь наружной поверхности цилиндрического корпуса, м².

Общая потребляемая энергия, Дж:

$$E_{\Sigma} = E_{\text{M}}^t + E_{\text{M}}^p + E_{\text{ПОТ.}} = M_{\text{кр.}} \cdot \omega \cdot \phi_{\text{об}}, \quad (6)$$

где $E_{\text{M}}^p = (0,7 \dots 0,85) \cdot E_{\Sigma}$ – энергия, расходуемая на сжатие смеси, Дж; $M_{\text{кр.}}$ – крутящий момент на валу шнека, Н·м.

Энергия дополнительного источника электронагрева, Дж:

$$E_H = \bar{\sigma}_M \cdot F_{KB} \cdot (t_{ц} - t'_k) \cdot \phi_{ц} = E'_y - M_{кр} \cdot \psi \cdot \phi_{об}, \quad (7)$$

где F_{KB} – площадь внутренней поверхности корпуса, m^2 ; $t_{ц}$ – средняя температура корпуса, требуемая для дополнительного нагрева расширяемой смеси до $t'_k > t_k$, °C; E'_y – суммарная энергия, потребляемая при нагреве смеси до температуры t'_k (определяется аналогично E_Σ), Дж.

Суммарная мощность, требуемая для работы экспандера, Вт:

$$N_{эк} = \frac{E_M^t + E_{пот.} + 3 \cdot E_M^p}{3_M \cdot \phi_{об}} + N_H + N_{xx}, \quad (9)$$

где η_M – коэффициент преобразования механической энергии в тепловую; N_H – мощность электронагревательного элемента, Вт; N_{xx} – мощность холостого хода установки, Вт.

КПД экспандера, $\eta_э$, равен:

$$\eta_э = \frac{P_{III} \cdot Q_{эксп.}}{N_{эк}}, \quad (10)$$

где P_{III} – давление смеси выходной головки экспандера, Па; $Q_{эксп.}$ – производительность экспандера, кг/с.

В результате теоретических исследований рабочего процесса экспандера обоснована зависимость производительности и энергоемкости от его конструктивно-режимных параметров при переработке корма.

Результаты исследований

В результате исследования установки для определения физико-механических свойств кормов получено уравнение регрессии [12, 13]:

$$Y = 840 + 194,063 \cdot x_1 + 19,688 \cdot x_2 - 8,437 \cdot x_3 - 6,562 \cdot x_4 - 27,188 \cdot x_5 - 38,438 \cdot x_1 \cdot x_2 - 8,438 \cdot x_1 \cdot x_4 + 8,438 \cdot x_1 \cdot x_5 - 4,688 \cdot x_2 \cdot x_3 - 10,313 \cdot x_2 \cdot x_4 + 10,313 \cdot x_3 \cdot x_4 + 8,438 \cdot x_3 \cdot x_5 - 44,063 \cdot x_1^2 - 34,688 \cdot x_2^2 + 8,437 \cdot x_3^2 + 21,563 \cdot x_4^2 - 17,812 \cdot x_5^2. \quad (11)$$

При обработке результатов исследования с помощью программы MathCAD11 получены предельные значения функции (мощность установки).

$$\text{Minimize } (y, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (-1; 1; 0,185; 0,151; 1),$$

$$y(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = 570,8 \text{ Вт},$$

$$\text{Maximize } (y, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (1; -0,486; 1; 1; -0,289),$$

$$y(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = 1016,6 \text{ Вт}.$$

При обработке результатов исследования экспандера получены предельные значения удельной энергоемкости:

$$\text{Minimize } (y, x_1, x_2, x_3, x_4) = (-1; 1; 1; -1), y(x_1, x_2, x_3, x_4) = 12,78 \text{ Вт} \cdot \text{ч/кг},$$

$$\text{Maximize } (y, x_1, x_2, x_3, x_4) = (1; 0,819; -1; 1), y(x_1, x_2, x_3, x_4) = 34,04 \text{ Вт} \cdot \text{ч/кг}.$$

Оптимальные параметры процесса экспандирования достигаются при частоте вращения шнека машины $10,47 \text{ с}^{-1}$, 10 % содержании отрубей в составе корма, 32 % влажности и температуре $403 \text{ }^\circ\text{K}$.

Производственная проверка осуществлялась на экспандере SPZL 180. При испытании проверялась работоспособность, технологичность, надежность экспандера по описанной выше методике. Срок окупаемости составил 1,9 года [14].

Выводы

На основании анализа научных работ по кормоприготовлению установлено, что наиболее перспективным направлением является использование структурированного корма получаемого в экспандерах, которые по отношению к экструдерам характеризуются существенным снижением удельных энергозатрат. Среди различных конструктивных решений наибольшее распространение получили одношнековые экспандеры с регулируемым объемом выходной камеры и подогреваемым участком корпуса в зоне максимального уплотнения.

По результатам проведенных исследований рассматриваемого процесса экспандирования определены изменения характеристик исходного сырья при прохождении его по функциональным участкам (зонам уплотнения кормов), а также уточнены аналитические выражения производительности и энергоемкости экспандера с демпфирующим устройством.

Применение метода математического планирования при исследовании технологического процесса экспандирования кормов, реализованного в лабораторных и производственных экспериментах, позволило определить оптимальную удельную энергоемкость процесса экспандирования 12,78 Вт·ч/кг в зависимости от частоты вращения шнека $10,47 \text{ с}^{-1}$, при влажности сырья 30...35%, 10% соотношении отрубей в составе корма и минимальном расходе энергии компактирования, достигающейся при нагревании смеси в зоне максимального уплотнения до температуры 398...403°K. Сравнительным анализом удельных энергоемкостей базового и экспериментального экспандера было установлено, что этот важный энергетический показатель уменьшился на 13,83 %.

Литература:

1. Хохрин, С.Н. Корма и кормление животных. [Текст]/ Хохрин С.Н. Издательство «Лань», 2002. – 300с.
2. Полищук, В.Ю., Коротков, В.Г., Зубкова, Т.М. Проектирование экструдеров для отраслей АПК. [Текст]/ Полищук В.Ю., Коротков В.Г., Зубкова Т.М. – Екатеринбург: 2003. – 201с.
3. Жушман, А.И., Карпов, В.Г., Коптелова, Е.К. Новое в технике и технологии производства пищевых продуктов экструзионным методом. [Текст]/ Жушман А.И., Карпов В.Г., Коптелова Е.К. – М.: 1991. – 56с.
4. Беляев, П.С., Клинков, А.С., Хабаров, С.Н. Проектирование и расчет оборудования для приготовления высоковязких клеевых композиций с использованием перспективных технологий. [Текст]/ Беляев П.С., Клинков А.С., Хабаров С.Н. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-та, 1999. – 72с.
5. Кочетов, В.И., Межуев, В.В., Задворнов, Н.В. К вопросу прочности и жесткости шнеков и шнековых валов литьевых и отжимных машин. [Текст]/ Кочетов В.И., Межуев В.В., Задворнов Н.В. // Исследование и разработка оборудования для полимерного и бумагоделательного производства. Сб. науч. тр. Внииртмаш., Тамбов, 1991. – С.30-37.
6. Карташов, Л.П., Полищук, В.Ю., Минеева, И.В. Применение механико-математических моделей технологических процессов в качестве объектов системного исследования. [Текст] / Карташов Л.П., Полищук В.Ю., Минеева И.В. // Техника в сельском хозяйстве, 1995. – №5.
7. Sikora, J.W., Somujlo, B.: Impact of Feed Opening Width and Position on PVC Extrusion Process Effectiveness / INTERNATIONAL POLYMER PROCESSING, ISSN: 0930-777X, Volume: 28, Issue: 3, Pages: 291-299.
8. Qu, J.P, Zhang G.Z., Chen, H.Z., Yin, X.C., He H.Z.: Solid conveying in vane extruder for polymer processing: Effects on pressure establishment / POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, ISSN: 0032-3888, Volume: 52, Issue: 10, Pages: 2147-2156.
9. Lessmann, J. S., Weddige, R., Schoppner, V., Porsh, A.: Modelling the Solids Throughput of Single Screw Smooth Barrel Extruders as a Function of the Feed Section Parameters / INTERNATIONAL POLYMER PROCESSING, ISSN: 0930-777X, Volume: 27, Issue: 4, Pages: 469-477.
10. Moysey, P.A., Thomson M.R.: Discrete particle simulations of solids compaction and conveying in a single-screw extruder / POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, ISSN: 0032-3888, Volume: 48, Issue: 1, Pages: 62-73.
11. Formela K., Cysewska M., Haponiuk J. Stasiak A.: The influence of feed rate and shear forces on the devulcanization process of ground tire rubber (GTR) conducted in a co-rotating twin screw extruder / POLIMERY, ISSN: 0032-2725, Volume:58, Issue: 11-12, Pages: 906-912.
12. Новик, Ф.С., Арсов, Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. [Текст] / Новик Ф.С., Арсов Я.Б. – М; Машиностроение, 1980. – 237с.
13. Сапа В.Ю., Курманов А.К., Хасенов У.Б., Айтбаев М.М., Смолякова В.Л., Мухамедов Т., Есимханов С.Б. Совершенствование конструкции экспандера. / Международный сельскохозяйственный журнал. – М, 2008. – №4. ISBN 0235-7801 - С.80.
14. Сапа В.Ю., Хасенов У.Б., Курманов А.К., Айтбаев М.М., Есимханов С.Б. Совершенствование технологии экструдирования кормов / Научный журнал «Исследования, результаты» №1, Алматы, 2010.

References:

1. Khokhrin, SN Feeds and feeding animals. [Text] / SN Khokhrin Publisher "Lan", 2002. - 300 s.
2. Polishchuk VY, Korotkov, VG Zubkov, TM Designing extruders for agribusiness industries. [Text] / Polishchuk VY, Korotkov VG Zubkov TM - Ekaterinburg, 2003. - 201с.
3. Zhushman, AI, Karpov, VG, Koptelova, EK New in the art and food processing by extrusion. [Text] / Zhushman AI, Karpov VG, EK Koptelova - M .: 1991. - 56с.

4. Belyaev PS, Blade, AS, Khabarov SN Design and calculation of equipment for the preparation of high-viscosity adhesive compositions with the use of advanced technologies. [Text] / Belyaev PS, AS Blades, Khabarov SN - Tambov: Thumb. state. tehn. University Press, 1999. - 72с.
5. Kochetov VI, Mezhuiev, VV, Zadvornov, NV On the question of the strength and rigidity of the screw shaft and the screw injection molding machines and extractors. [Text] / Kochetov VI, Mezhuiev VV Zadvornov NV // Research and development of equipment for plastic and paper mill. Coll. scientific. tr. Vniirtmash, Tambov, 1991. - S.30-37.
6. Kartashov LP, Polishchuk, VY, Mineeva, IV application Mechanics and mathematical models of processes as a system of research facilities. [Text] / Kartashov LP, Polishchuk VY, Mineeva IV // Engineering in Agriculture, 1995. - №5.
7. Sikora, J.W., Somujlo, B.: Impact of Feed Opening Width and Position on PVC Extrusion Process Effectiveness / INTERNATIONAL POLYMER PROCESSING, ISSN: 0930-777X, Volume: 28, Issue: 3, Pages: 291-299.
8. Qu, JP, Zhang GZ, Chen, HZ, Yin, XC, He HZ: Solid conveying in vane extruder for polymer processing: Effects on pressure establishment / POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, ISSN: 0032-3888, Volume: 52, Issue 10, Pages: 2147-2156.
9. Lessmann, JS, Weddige, R., Schoppner, V., Porsh, A.: Modelling the Solids Throughput of Single Screw Smooth Barrel Extruders as a Function of the Feed Section Parameters / INTERNATIONAL POLYMER PROCESSING, ISSN: 0930-777X, Volume: 27, Issue: 4, Pages: 469-477.
10. Moysey, P.A., Thomson M.R.: Discrete particle simulations of solids compaction and conveying in a single-screw extruder / POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, ISSN: 0032-3888, Volume: 48, Issue: 1, Pages: 62-73.
11. Formela K., Cysewska M., Haponiuk J. Stasiak A.: The influence of feed rate and shear forces on the devulcanization process of ground tire rubber (GTR) conducted in a co-rotating twin screw extruder / POLIMERY, ISSN: 0032-2725, Volume: 58, Issue: 11-12, Pages: 906-912.
12. Novick, FS, Arsov, YB Optimization technology of metals methods of experiments planning processes. [Text] / Novick FS, Arsov YB - M.; Mechanical Engineering, 1980 - 237С.
13. Sapa VY, Kurmanov AK Khasenov UB, Aitbaev MM Smolyakova VL Muhamedov T. Esimkhanov SB Improving the design of the expander. / International Journal of Agricultural. - M., 2008. - №4. ISBN 0235-7801 - P.80.
14. Sapa VY, Khasenov UB, Kurmanov AK Aitbaev MM, SB Esimkhanov Improving feed extrusion technology / scientific journal "Research results» №1, Almaty, 2010.

Сведения об авторах

Сапа В.Ю. – к.т.н., кафедра электроэнергетики и физики, Костанайский государственный университет им. А. Байтурсынова, г. Костанай, пр. Абая 28, телефон: 87142558580, e-mail: sapa@mail.ru.

Сапа В. Ю. – А.Байтұрсынов атындағы Қостанай Мемлекеттік университеті, т.ғ.к., электр энергетикасы және физика кафедрасы. Қостанай қ., Абай данғылы 28, телефон: 87142558580, e-mail: sapa@mail.ru.

Sapa V.Y. - PhD, Department of Electricity and Physics, Kostanay State University. A. Baitursynov Kostanay Abay ave. 28, phone: 87142558580, e-mail: sapa@mail.ru.