**УДК 621.777.06:622.788.32.003.12**

**К.В.Баюл, В.И.Петренко**

*Институт черной металлургии НАН Украины им.З.И.Некрасова*

# МЕТОД ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСА БАНДАЖЕЙ ВАЛКОВЫХ ПРЕССОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ БРИКЕТИРОВАНИЯ

Целью работы является создание метода оценки влияния износа бандажей валковых прессов на технологические и энергосиловые параметры брикетирования. Использован метод комплексного графоаналитического анализа с помощью номограмм. Установлены взаимосвязанные функциональные зависимости между величиной износа, технологическими и энергосиловыми параметрами брикетирования. На конкретных примерах показано применение номограмм для решения практических задач, связанных с установлением предельной величины износа и выбора рациональных режимов эксплуатации бандажей на разных стадиях их износа с учетом физико–механических свойств шихты и конфигурации формующих элементов. Разработанный метод использован для оценки условий и особенностей эксплуатации бандажей при различной степени износа и разработки рекомендаций по увеличению их эксплуатационного ресурса.

**Ключевые слова: валковый пресс, бандажи, износ, технологические и энергосиловые параметры брикетирования, номограммы**

**Постановка задачи.** В процессе эксплуатации валковых прессов на качество брикетов и стабильность работы прессового оборудования существенное влияние оказывает величина износа рабочих поверхностей валков. В настоящее время прессы данного типа, как правило, оснащаются валками со сменными кольцевыми бандажами. Учитывая значительную стоимость бандажей и их интенсивный износ, актуальной является разработка методов и технических решений увеличения продолжительности их эксплуатации. В работе [1] приведены результаты исследований, в ходе которых получены зависимости энергосиловых и технологических параметров брикетирования от величины износа бандажей валковых прессов, представленные в графическом виде и описанные аналитическими выражениями. Установленные зависимости являются основой для разработки методов прогнозирования параметров брикетирования и режимов работы прессового оборудования на разных стадиях износа бандажей, которые позволят разработать мероприятия по увеличению продолжительности эксплуатации бандажей.

**Целью и задачей работы является** создание комплексного графоаналитического метода оценки влияния износа бандажей валковых прессов на технологические и энергосиловые параметры брикетирования с помощью номограмм.

**Изложение основных материалов исследования.** В работе предложен новый метод, который позволяет исследовать технологические и

энергосиловые параметры брикетирования на разных стадиях износа бандажей с помощью единого комплекса взаимосвязанных между собой функциональных зависимостей, представленного в виде номограмм, состоящих из двух структурных частей – правой и левой.

В правой части номограммы представлены функциональные зависимости между величиной износа бандажей $\delta$ и коэффициентом уплотнения $Ky$, плотностью брикетов $\rho_{br}$, усилием $P$ и моментом прессования $M$ для разных стадий износа бандажей. Согласно технологическому регламенту или техническим условиям на производство брикетов задается интервал параметров уплотнения шихты

$$\rho_{br.\max} \geq \rho_{br} \geq \rho_{br.\min}, \; Ky_{\max} \geq Ky \geq Ky_{\min}, \quad (1)$$

где $\rho_{br}$ – текущее значение плотности брикетов, $\rho_{br.\max}$, $\rho_{br.\min}$ – заданные максимальное и минимальное значения плотности брикетов, $Ky$ – текущее значение коэффициента уплотнения, $Ky_{\max}$, $Ky_{\min}$ – заданные максимальное и минимальное значения коэффициента уплотнения. С учетом условий (1) определяются допустимые пределы износа бандажей.

Достижение требуемого уплотнения шихты при различной величине износа бандажей и увеличение продолжительности их эксплуатации возможно за счет изменения условий подачи шихты, т.е. изменения угла прессования $\alpha$. Для исследования этой возможности используется левая часть номограммы. В этой части номограммы представлены зависимости технологических и энергосиловых параметров брикетирования от изменения угла прессования $\alpha$ для разных стадий износа бандажей. Возможность увеличения угла прессования ограничивается условием, согласно которому текущие значения усилия $P$ и момента $M$ прессования не должны превышать их номинальные значения $P_{nom}$, $M_{nom}$, заданные в технической характеристике пресса:

$$P \leq P_{nom}, \; M \leq M_{nom}, \quad (2)$$

Исходя из условий (1) и (2), для разных стадий износа бандажей определяются предельно допустимые значения углов прессования, при которых обеспечивается требуемая величина уплотнения шихты, и при этом соблюдаются условия эксплуатации пресса в пределах проектных технических характеристик.

Использование номограмм позволяет решать ряд практических задач:

– прогнозная оценка условий работы прессового оборудования, определение рациональных технологических и силовых режимов брикетирования при различной степени износа бандажей;

– установление максимально допустимой степени износа бандажей для конкретного шихтового материала с учетом его свойств;

– разработка рекомендаций по увеличению эксплуатационного ресурса бандажей (изменение условий подачи материала, корректировка свойств шихты и др.)

– на стадии проектирования прессового оборудования – выбор конфигурации и размеров формующих элементов, обеспечивающих для заданного брикетируемого материала наибольший ресурс эксплуатации бандажей.

Рис.1 Бандажи с зубчато-желобчатой конфигурацией формующих элементов

Данные задачи тесно взаимосвязаны между собой и решаются совместно, что обуславливает комплексность предложенного метода. Практическое применение номограмм для решения указанных задач показано на конкретных примерах.

Для того, чтобы показать влияние калибровки и свойств шихты на ресурс эксплуатации бандажей и параметры брикетирования, в примерах рассмотрены бандажи с межосевым расстоянием 648мм, шириной рабочей поверхности 350мм и двумя вариантами формующих элементов зубчато–желобчатой конфигурации (рис.1): F1 с размерами 62,6×60,0×27,0мм и F2 с размерами 39,8×36,0×17,5мм, применяемых на прессах, разработанных в Институте черной металлургии. Влияние свойств шихт показано на примере двух шихт, отличающихся между собой по физико–механическим свойствам, одна из них – на основе отсевов силикомарганца (фр. –6мм), другая – на основе коксовой мелочи (фр. –6мм).

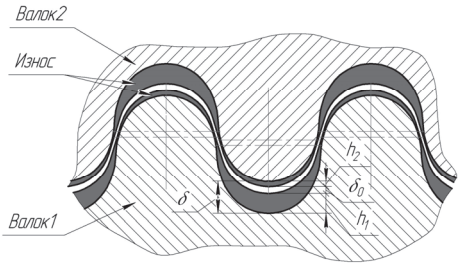


Рис.2 Схема определения зазора между валками с учетом их износа

В качестве показателя величины износа $\delta$ бандажей принята величина зазора между рабочими поверхностями валков, определяемая согласно схеме, приведенной на рис.2, по выражению:

$$\delta = \delta_0 + h_1 + h_2$$

где $\delta_0$ – начальный зазор между валками; $h_1$ и $h_2$ – величина линейного износа рабочих поверхностей валков 1 и 2 соответственно. В соответствии с методами, изложенными в работах [1, 2], получены массивы расчетных данных, которые позволили представить совокупность функциональных зависимостей между параметрами брикетирования и величиной износа бандажей в виде номограмм.

На рис.3 приведена номограмма, построенная для условий эксплуатации пресса, оснащенного бандажами с формующими элементами F2 и шихты, состоящей 96,5% силикомарганца (фр. –6мм) и 3,5% органического связующего.

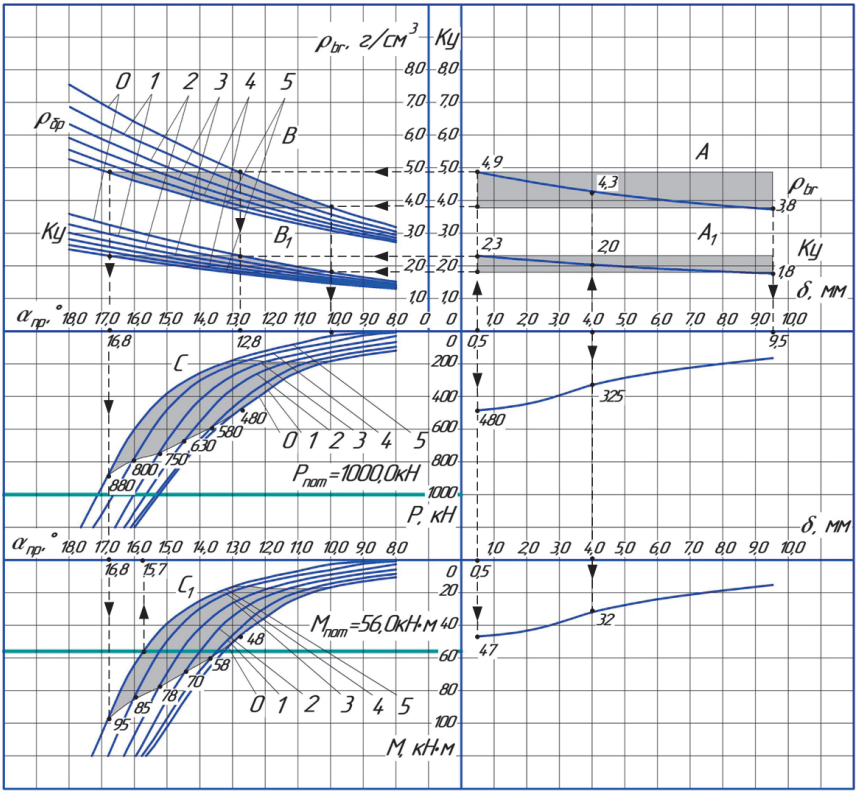


Рис.3 Номограмма технологических и энергосиловых параметров брикетирования для различной степени износа бандажей. Конфигурация формующих элементов – зубчато–желобчатая F2. Шихта: 96,5% силикомарганца и 3,5% органического связующего

Рассмотрим порядок практического применения номограммы. С правой стороны на номограмме показаны графические зависимости между величиной износа бандажей $\delta$, коэффициентом уплотнения $Ку$, плотностью брикетов $\rho_{br}$, усилием прессования $P$ и моментом прессования $M$. Как видно из представленных зависимостей, для исходного (неизношенного) контура при зазоре между рабочими поверхностями валков 0,5мм плотность брикетов $\rho_{br}$ =4,9г/см$^3$, коэффициент уплотнения $Ку$ =

2,3. При этом энергосиловые ха- рактеристики процесса следующие: $P$ =480кН, $M$ =47кНм. В результате износа формующих элементов увеличивается зазор между валками вдоль всего контура рабочих поверхностей бандажей. Это приводит к снижению показателей уплотнения шихты $\rho_{br}$ , $Ky$ и, соответственно, к уменьшению значений $P$ и $M$ . Так, при зазоре $\delta$=4мм, $\rho_{br}$ =4,3 г/см$^3$, $Ky$ =2,0, а значения силовых характеристик снижаются до $P$ =325кН, $M$ =32кНм. Практический опыт производства брикетов из шихты, состоящей из 96,5% силикомарганца (фр. – 6мм) и 3,5% органического связующего, показывает, что получение брикетов с удовлетворительной для потребителей прочностью обеспечивается, если плотность брикетов составляет $3{,}8 \geq \rho_{br} \geq 4{,}9$ г/см$^3$, при этом коэффициент уплотнения $1{,}8 \geq Ky \geq 2{,}3$ .

Указанные интервалы значений показателей уплотнения устанавливают границы областей А и $A_1$ на номограмме. Границы областей А и $A_1$ определяют предельную допустимую величину износа $\delta$, при которой возможно получение брикетов, имеющих требуемые качественные характеристики – плотность и прочность. Так, для рассматриваемой шихты и выбранной конфигурации формующего элемента F2 допустимая величина износа $\delta$ не более 9,5мм.

Как указано ранее, достижение требуемых величин уплотнения $Ky$ , $\rho_{br}$ шихты на разных стадиях износа бандажей и увеличение продолжительности их эксплуатации возможно за счет изменения условий подачи шихты, т.е. изменения угла прессования $\alpha$ . Для оценки этой возможности используется левая часть номограммы. Здесь представлены графические зависимости, характеризующие изменение технологических $Ky$ , $\rho_{br}$ и энергосиловых $P$ и $M$ параметров брикетирования при изменении угла прессования $\alpha$ . Указанные зависимости приведены для степеней износа бандажей $k_i$ , отмеченные на рис. 3–5 цифрами 0, 1, 2, 3, 4, 5, которые определяются периодами $n_i$ их эксплуатации, выраженных в количестве оборотов валков пресса: $k1$ – $n_1$ = 20000 оборотов; $k2$ – $n_2$ =40000 оборотов; $k3$ – $n_3$ = 60000 оборотов; $k4$ – $n_4$ = 80000 оборотов; $k5$ – $n_5$ = 100000 оборотов.

Используемые согласно условий (1) интервалы показателей уплотнения $3{,}8 \geq \rho_{br} \geq 4{,}9$ г/см$^3$, $1{,}8 \geq Ky \geq 2{,}3$ , устанавливают границы областей В и $B_1$. Границы этих областей определяют диапазон регулировки угла прессования для каждой степени износа и его предельные допустимые значения. Так, например, согласно номограмме на рис. 3, для неизношенного контура угол прессования может изменяться в интервале от 10°до 12,8°, по мере износа диапазон его регулировки меняется следующим об-

разом: степень износа 1 – 11…13,5°, 2 – 11,3…14,5°, 3 – 12…15,2°, 4 – 13 – 16°; 5 – 13…16,8°. Таким образом, при нарастании износа от 0–й до 5–й степени угол прессования может изменяться от 10° до 16,8°. Увеличение угла прессования сопровождается ростом энергосиловых параметров брикетирования. Изменение $P$ и $M$ в указанном интервале угла прессования определяется границами областей С и $C_1$, установленными исходя из границ областей В и $B_1$ и условий (2). Области С и $C_1$ определяют максимальные значения усилия прессования и момента прессования: неизношенный контур – $P$ =480кН; $M$ =48кНм, 1–я степень износа – $P$ =580кН; $M$ =58кНм, 2–я степень износа – $P$ = 630кН; $M$ =70кНм, 3–я степень износа – $P$ =750кН; $M$ =78кНм, 4–я степень износа – $P$ =800кН; $M$ =85кНм, 5–я степень износа – $P$ =880кН; $M$ =95кНм.

Угол прессования можно увеличивать до достижения заданных технических характеристик пресса. В рассматриваемых примерах, согласно условиям (2), заданы номинальные энергосиловые характеристики валковых прессов $P_{пот}$ =1000кН, $M_{пот}$ =56кНм, разработанных в институте и используемых в технологических линиях производства брикетов из принятых шихт. Регулировка угла прессования в пределах указанных областей лимитируется, в первую очередь, величиной $M_{пот}$ =56кНм. Поэтому величина угла прессования должна быть не более 15,7°.

Для оценки влияния конфигурации формующих элементов используем номограмму, построенную для этой же шихты и бандажей с формующими элементами F1 (рис. 4). Расстояние между осями валков и ширина бандажей при этом остались теми же, что и в предыдущем примере.

При тех же значениях характеристик уплотнения, определяющих границы областей А и $A_1$, величина предельного допустимого для эксплуатации бандажей износа увеличивается до $\delta$ =11,3мм.

Диапазон регулировки угла прессования при изменении износа от 0–й до 5–й степени составляет 12…18,3°. Сравнение номограмм, представленных на рис. 3 и 4, показывает, что применение для данной шихты прессующего калибра F1 позволяет увеличить предельно допустимую величину износа бандажей.

С помощью номограмм можно решить задачу анализа влияния свойств брикетируемого материала на условия эксплуатации изношенных бандажей. Рассмотрим номограмму, построенную для шихты на основе коксовой мелочи: 85% коксовой мелочи (фр. –6мм), 7,5% извести и 7,5% мелассы, (рис. 5). Эта шихта имеет значительные отличия по физико–механическим свойствам по сравнению с предыдущей шихтой на основе отсевов силикомарганца. Опыт производства брикетов из рассматриваемой шихты показывает, что их качественные характеристики соответствуют требованиям потребителей при следующих показателях уплотнения – $1{,}3 \geq \rho_{br} \geq 1{,}5$ г/см$^3$, $2{,}42 \geq Ky \geq 2{,}79$ .

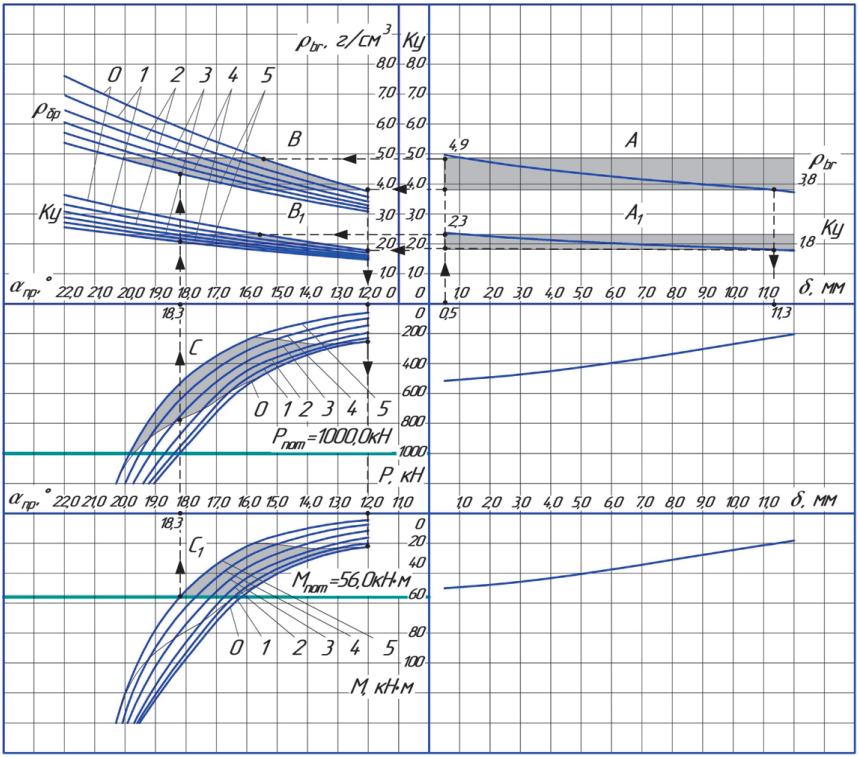


Рис. 4 Номограмма технологических и энергосиловых параметров брикетирования для различной степени износа бандажей. Конфигурация формующих элементов – зубчато–желобчатая F1. Шихта: 96,5% силикомарганца и 3,5% органического связующего.

Исходя из областей А и $A_1$, для указанной шихты установлено, что величина допустимого для продолжения эксплуатации бандажа износа уменьшается до $\delta$ =3,3мм. Таким образом, при изменении сопротивления сжатию шихты уменьшается допустимая величина износа между валками, при котором развивается давление, необходимое для формирования брикетов требуемой плотности и прочности. Используя области В и $B_1$ (при тех же заданных значений технических характеристик), определяется изменение угла прессования – 13,3…17,3°. Выполненный с помощью номограмм прогнозный анализ показал, что управлять параметрами эксплуатации бандажей возможно не только за счет изменения условий подачи шихты, но и за счет изменения технологических характеристик шихты – свойств исходного материала, влажности, вида и количества связующего.

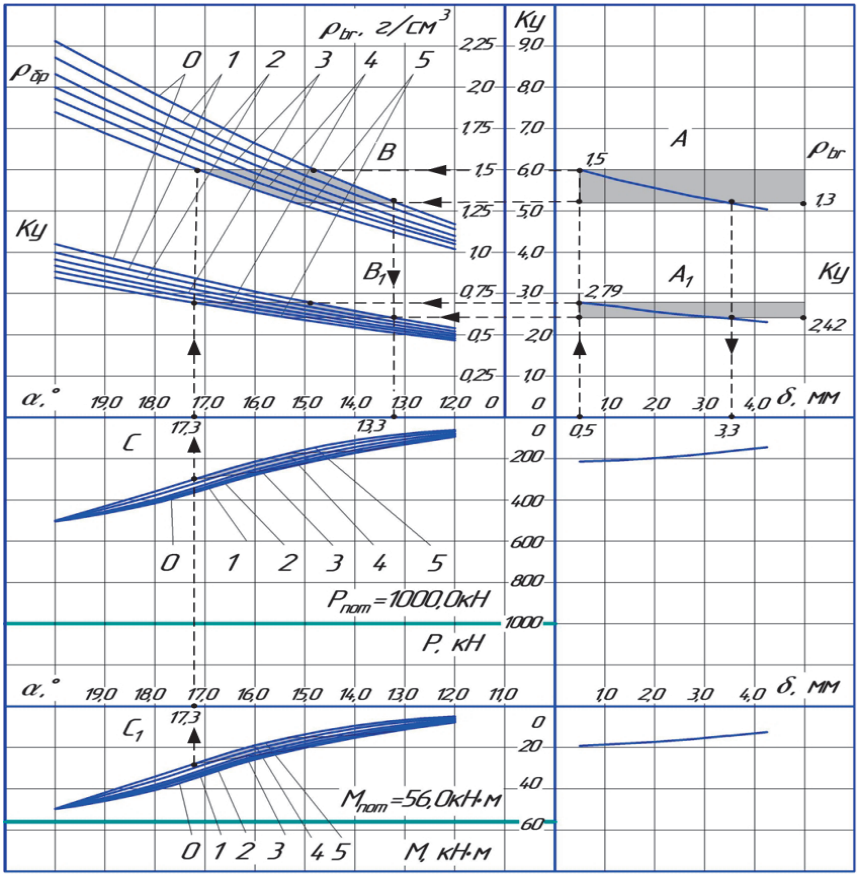


Рис. 5 Номограмма технологических и энергосиловых параметров брикетирования для различной степени износа бандажей. Конфигурация формующих элементов – зубчато–желобчатая F2. Шихта: 85% коксовой мелочи, 7,5% извести и 7,5% мелассы.

**Выводы.** Созданный в работе метод позволяет с использованием номограмм осуществить совместный анализ комплекса технологических и энергосиловых характеристик процесса брикетирования в валковых прессах при различной степени износа бандажей с учетом физико–механических свойств шихты и конфигурации формующих элементов.

На конкретных примерах показано применение номограмм для решения важных практических задач, к которым относятся определение максимально допустимой величины износа бандажей, выбор рационального технологического режима брикетирования при различной степени износа

бандажей, выбор формы пресую- щего калибра, обеспечивающий наиболее благоприятный режим работы для изношенных бандажей, как по продолжительности эксплуатации, так и по энергосиловым характеристикам.

Разработанный метод построения номограмм использован при создании экспертной системы [3] для оценки условий и особенностей эксплуатации бандажей при различной степени износа, выбора наиболее благоприятного режима работы изношенных бандажей и разработки рекомендаций по увеличению их эксплуатационного ресурса.

1. *Баюл К. В.* Метод оценки износа бандажей валковых прессов на различных стадиях их эксплуатации. / К.В.Баюл, В.И.Петренко // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр.ІЧМ НАН України. –2012. –. Вип.26. – С. 270 – 281.
2. *Баюл К.В.* Аналитическое исследование влияния геометрических параметров формующих элементов валковых прессов на процесс брикетирования. / К.В.Баюл. // Порошковая металлургия. – 2012. – №3/4. – С.38–49.
3. *Баюл К.В.*Разработка экспертной системы принятия оптимальных решений, обеспечивающих увеличение ресурса эксплуатации бандажей валковых прессов. / К.В.Баюл, В.И.Петренко // Системні технології. Регіональний межвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2 (85). – 2013. – Дніпропетровськ. – С. 3–11.

*Статья рекомендована к печати*
*академиком НАН Украины В.И.Большаковым*

***К.В.Баюл , В.І.Петренко***

**Метод оцінки впливу зносу бандажів валкового пресу на технологічні та енергосилові параметри брикетування**

Метою роботи є створення методу оцінки впливу зносу бандажів валкових пресів на технологічні та енергосилові параметри брикетування. Застосовано метод комплексного графоаналітичного аналізу з використанням номограм. Встановлено взаємопов'язані функціональні залежності між величиною зносу, технологічними та енергосиловими параметрами брикетування. На конкретних прикладах показано застосування номограм для вирішення практичних завдань , пов'язаних із встановленням граничної величини зносу і вибору раціональних режимів експлуатації бандажів на різних стадіях їх зносу з урахуванням фізико-механічних властивостей шихти і конфігурації формуючих елементів. Розроблений метод використано для оцінки умов і особливостей експлуатації бандажів, що мають різний ступінь зносу, а також для розробки рекомендацій щодо збільшення їх експлуатаційного ресурсу.