

8. Lakshminaraianaikh N. Membrannye elektrody / per. s angl. – Leningrad: Khimiia, 1979. – 357 s.

9. Rubin A.B. Biofizika. Biofizika kletochnykh protsessov. – Moskva: Vysshaya shkola, 1987. – Kn. 2. – 303 s.

10. Koryta I., Dvorzhak I., Bogachkova V. Elektrokimiia / per. s cheshsk. – Moskva: 1977. – 472 s.

11. Karasenko V.A. Nekotorye voprosy elektrofizicheskikh svoistv kormov primenitelno k obrabotke elektricheskim tokom: Sb. nauch. tr. / Belorusskaia SKhA. – Gorki, 1983. – Vyp. 100. – S. 3-15.

12. Skorcelletti V.V. Teoreticheskaia elektrokimiia. – Leningrad: Khimiia, 1974. – 568 s.

13. Skanavi T.I. Fizika dielektrikov. Oblast slabykh polei. – Moskva - Leningrad: Gos. izd-vo tekhn.-teoret. lit-ry, 1949. – 500 s.

14. Lykov A.V. Teoriia sushki. – Moskva: Energiia, 1968. – 470 s.

15. Elektromigratsionnyi metod v fiziko-khimicheskikh i radio-khimicheskikh issledovaniiax / pod red. V.I. Shvedova. – Moskva: Atomizdat, 1971. – 288 s.



УДК 631.363.21

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-231-1-91-95

В.В. Садов, С.А. Сорокин

V.V. Sadov, S.A. Sorokin

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОДАЧИ ЗЕРНА ОТНОСИТЕЛЬНО ПОЛОЖЕНИЯ ОСИ РОТОРА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКИ

INFLUENCE OF GRAIN FEED METHOD RELATIVE TO ROTOR AXIS POSITION ON TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF HAMMER CRUSHER

Ключевые слова: зерновой материал, измельчение, молотковая дробилка, осевая загрузка, радиальная загрузка, кормопроизводство.

Одним из основных процессов при приготовлении комбикормов является измельчение. Это наиболее энергозатратный процесс, в значительной степени определяющий качество готового продукта. Дробилки с горизонтальным валом, т.е. с радиальной подачей, считаются более энергоемкими. Однако эта оценка делалась из удельной энергоемкости, а конструкции дробилок, как правило, отличались друг от друга. Для получения объективных показателей необходимо иметь одинаковые конструкции, но обеспечивающие только радиальную или осевую подачу. Для экспериментальных исследования это требование выполнено, была проведена серия экспериментов для определения энергоемкости, модуля помола и производительности молотковой дробилки. В качестве испытуемых компонентов выступили пшеница и ячмень. Разработанная конструкция является дробилкой закрытого типа с шестигранным корпусом, три грани из которых являются декой, а остальные три – решетом. Проведенные эксперименты показали значимость подачи зерна на исследуемые факторы. Радиальная подача оказалась в более выигрышном положении, поскольку в камере находится меньше материала, что влияет на кинетическую энергию зерна. При этом плотность воздуха также ниже, т.к. нет подсоса из центрального отверстия, эффект вакуумирования кольцевого объема зерновой смеси по периметру молотков выше. Эффект центробежного воздушного насоса в такой схеме минимизирован, в то время осевая

подача отсылает нас к конструкции вентиляторов. При радиальной подаче имеем меньшую площадь контакта зерна с поверхностями, что минимизирует силы трения скольжения материала по стали, оказывая влияние на мощность. Модуль помола в исследованиях соответствовал зоотехническим требованиям. Отклонение крупности частиц находилось в пределах 5% и варьировалось в зависимости от исследуемых культур.

Keywords: grain material, crushing, hammer crusher, axial loading, radial loading, feed production.

One of the main processes in the production of formula feeds is crushing. This is the most energy-consuming process and it largely determines the quality of the finished product. Crushers with a horizontal shaft, i.e. with a radial feed are considered more energy-intensive. However, this estimate was made from the specific energy intensity, and the designs of the crushers as a rule differed from each other. To obtain objective indicators, it is necessary to have the same designs but providing only radial or axial feed. For experimental studies, this requirement was met and a series of experiments were conducted to determine the energy intensity, fineness modulus and output capacity of the hammer crusher. Wheat and barley were the tested components. The developed design is a closed-type crusher with a hexagonal body, three faces of which are a deck, and the remaining three are a sieve. The conducted experiments have shown the importance of grain feeding on the studied factors. The radial feed was in a more advantageous position since there was less material in the chamber which affected the kinetic energy

of the grain. At the same time, the air density is also lower because there is no suction from the central hole, the effect of vacuuming the annular volume of the grain mixture along the perimeter of the hammers is higher. The effect of the centrifugal air pump in this scheme is minimized while the axial flow refers to the design of the fans. With radial feed, there is a

smaller contact area with the grain with the surfaces which minimizes the friction forces of sliding the material over the steel, thus affecting the power. The fineness modulus in the studies corresponded to the animal industry requirements. The deviation of particle size was within 5% and varied depending on the crops studied.

Садов Виктор Викторович, д.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: sadov.80@mail.ru.

Сорокин Сергей Анатольевич, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: sorokin_sg@mail.ru.

Sadov Viktor Viktorovich, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: sadov.80@mail.ru.

Sorokin Sergey Anatolevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: sorokin_sg@mail.ru.

Введение

В структуре себестоимости животноводческой продукции до 70% отводится на корма. Эта составляющая зависит от многих факторов, в том числе от затрат на комбикорма, что в свою очередь зависит от количества входящих в них зерновых компонентов. По данным ВНИИ комбикормовой промышленности, сегодня доля фуражного зерна в российских комбикормах составляет 68%, тогда как в США – 48% [1, 2].

Измельчение зерновых компонентов для производства комбикормов является наиболее энергоемкой операцией, поэтому многие исследования направлены на поиск решений по снижению затрат энергии. Известно, что энергоемкость зависит от типа дробилки, расположения ротора, наличия аспирации, способа подачи и отвода материала и др. [3, 4].

Малоизученным фактором остается способ подачи материала в камеру измельчения из-за влияния его на результат процесса измельчения. Проектирование технологической линии также скажется на способе подачи материала в измельчитель [5]. Возможны следующие способы подачи материала: радиальный, осевой, тангенциальный, оппозитный и другие. Каждый из способов по-особому влияет на возникающие силы при измельчении материала [6]. В качестве основных способов рассмотрим осевой и радиальный.

Цель исследования – определение энергоемкости процесса и качества измельченного материала в зависимости от подачи материала относительно оси вращения ротора.

Объекты и методы исследований

Зерновая частица, попав в камеру измельчения молотковой дробилки, сталкивается с раз-

личными силами: центробежной, трения, тяжести и др. [7].

Изменение способа загрузки материала предполагает изменение расположения ротора в горизонтальной или вертикальной плоскости, что будет способствовать возникновению направления движения частиц под действием сил, что возможно окажет влияние на выходные параметры [8].

Для исследования возьмём наиболее распространённый вид дробилок, где рабочие органы (молотки прямоугольной формы) расположены в несколько рядов; выход зерна из зоны измельчения через решето. Конструкция, привод, система загрузки в обоих случаях одни и те же (рис. 1).

На процесс измельчения влияние оказывают множество факторов, но здесь рассмотрим только те, которые влияют отлично в горизонтально и вертикально расположенных плоскостях вращения ротора.

Энергоемкость процесса измельчения

$$\dot{E} = f(V_{\text{зерна}}; W_{\text{возд}}; S_{\text{поверх}}; Q_{\text{пр.решет}}),$$

где $V_{\text{зерна}}$ – объема зерна, мгновенно находящегося в камере измельчения;

$W_{\text{возд}}$ – расход энергии на покачивание воздуха из центрального загрузочного окна и выброс его через решето;

$S_{\text{поверх}}$ – площадь поверхности контакта зерновой смеси и стенок ротора, и внутренних полостей камеры измельчения;

$Q_{\text{пр.решет}}$ – пропускная способность решета.

Экспериментальное исследование было проведено на дробилке, имеющей возможность изменить способ подачи материала (рис. 2). Характеристика дробилки: электродвигатель АДМ80В2 (2,2 кВт, 3000 об/мин.), диаметр ротора 354 мм, решето с продолговатыми отверсти-

ями шириной 2,5 мм. Корпус выполнен шести-гранным: три грани из которых глухие в виде деки, а три – в виде решета.

В качестве испытуемых культур использовали пшеницу и ячмень.

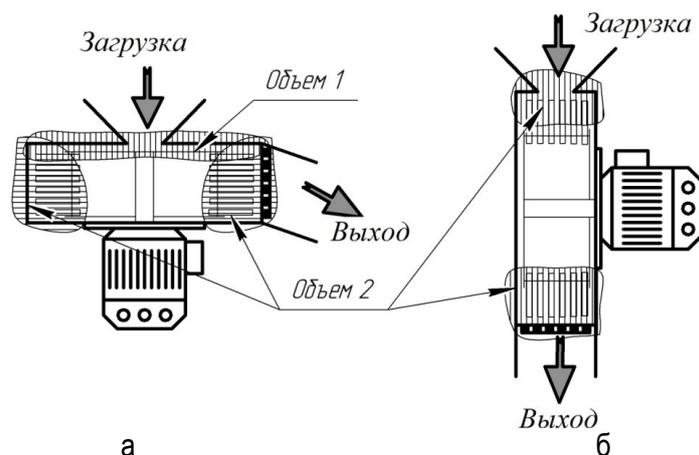


Рис. 1. Схема молотковой дробилки с указанием объемов, занимаемых измельчаемым зерном: а – осевая подача; б – радиальная подача

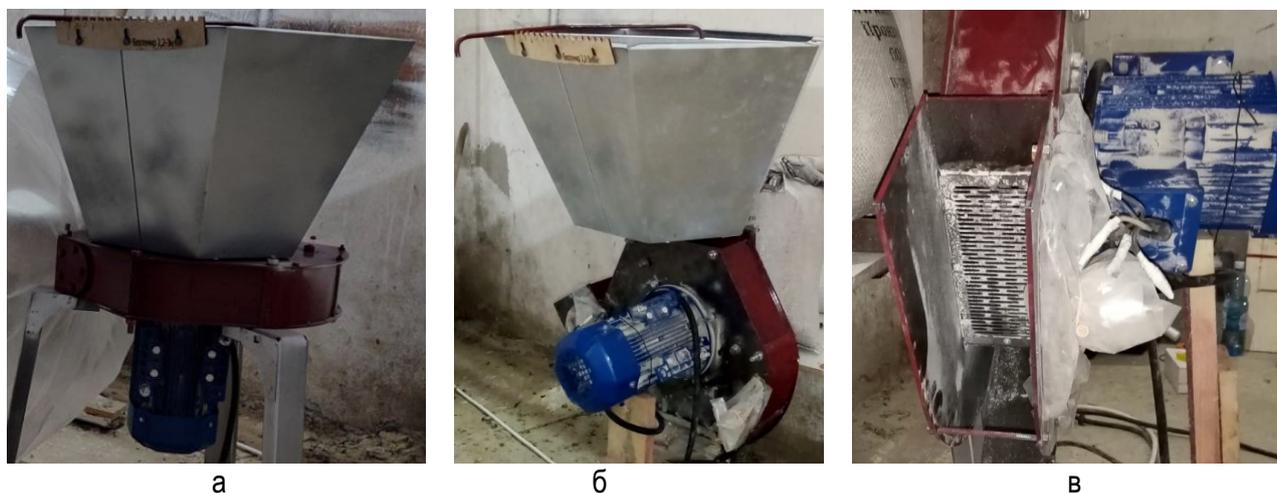


Рис. 2. Молотковая дробилка во время эксперимента: а – осевая подача; б – радиальная подача; в – решето

Результаты исследования

В качестве исследуемых факторов выступали модуль помола, производительность и энергоёмкость процесса. Результаты исследования представлены на рисунках 3, 4.

Во время измельчения зерновой материал перемешен с воздухом, образуя зерно-воздушный слой различной плотности, при этом затрачивается значительная энергия на образование новых поверхностей согласно теории Ребиндера и вращения слоя [3].

Анализ графических зависимостей (рис. 3, 4) показывает, что радиальная подача обеспечивает меньшую производительность, но при этом и меньшую удельную энергоёмкость. Этому могут быть объяснения:

1. Конструктивно радиальная подача в более выигрышном положении, поскольку в объеме 1 в

момент измельчения зерновой материал отсутствует (рис. 1), кинетическая энергия зерна, ввиду меньшей массы, также будет меньше. При этом плотность воздуха также ниже, т.к. нет подсоса из центрального отверстия, эффект вакуумирования кольцевого объема зерновой смеси по периметру молотков выше.

2. Эффект центробежного воздушного насоса в такой схеме минимизирован, в то время по принципу работы схема с осевой подачей (рис. 1) отсылает нас к конструкции вентиляторов.

3. Схема с радиальной подачей имеет меньший объем зерна внутри камеры, следовательно, меньшую площадь контакта с поверхностями, что минимизирует силы трения скольжения материала по стали, оказывая влияние на мощ-

ность, затрачиваемую на преодоления силы трения скольжения и силы межслоевого трения.

4. При радиальной подаче соосны направления силы веса частиц и потока зерно-воздушной смеси каналам отверстий решета. Смесь измельченного зерна просеивается решетом эффективней, мелкая фракция быстро удаляется, освобождая место для новой части измельчаемого зерна.

Модуль помола в исследованиях составила: для пшеницы – 1,18-1,75, ячменя – 1,27-1,88 при различной производительности, что соответствует зоотехническим требованиям. При этом при радиальной подаче модуль был на 4,2% крупнее по пшенице и на 5% крупнее по ячменю.

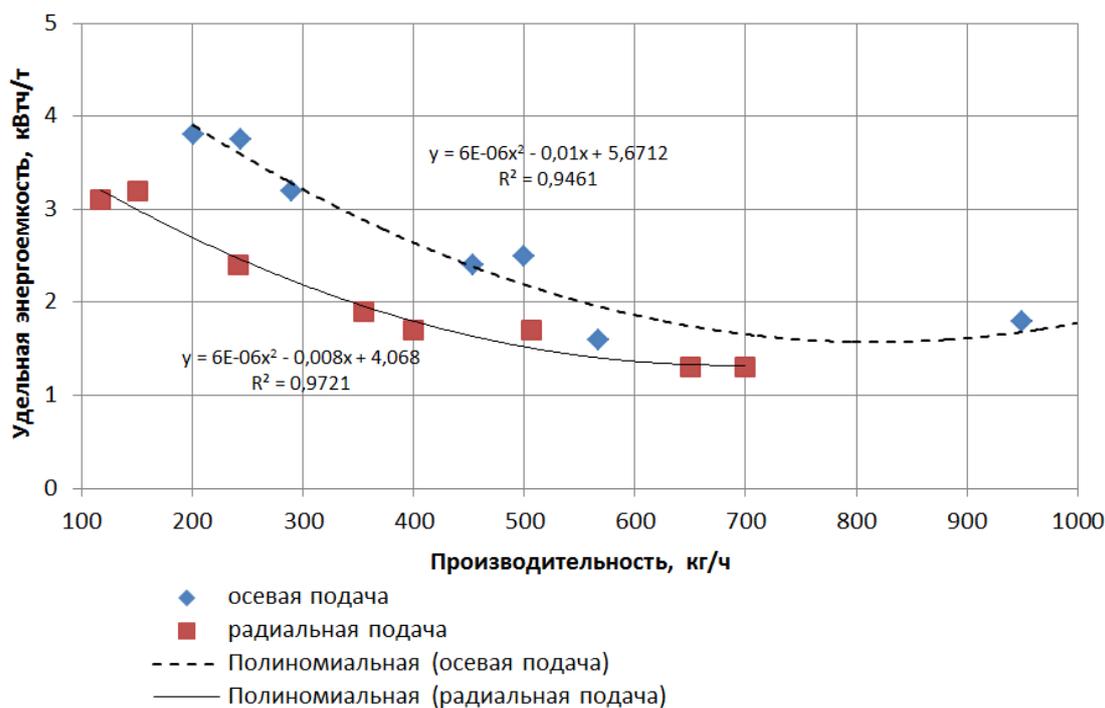


Рис. 3. Зависимость энергоёмкости измельчения пшеницы от производительности дробилки

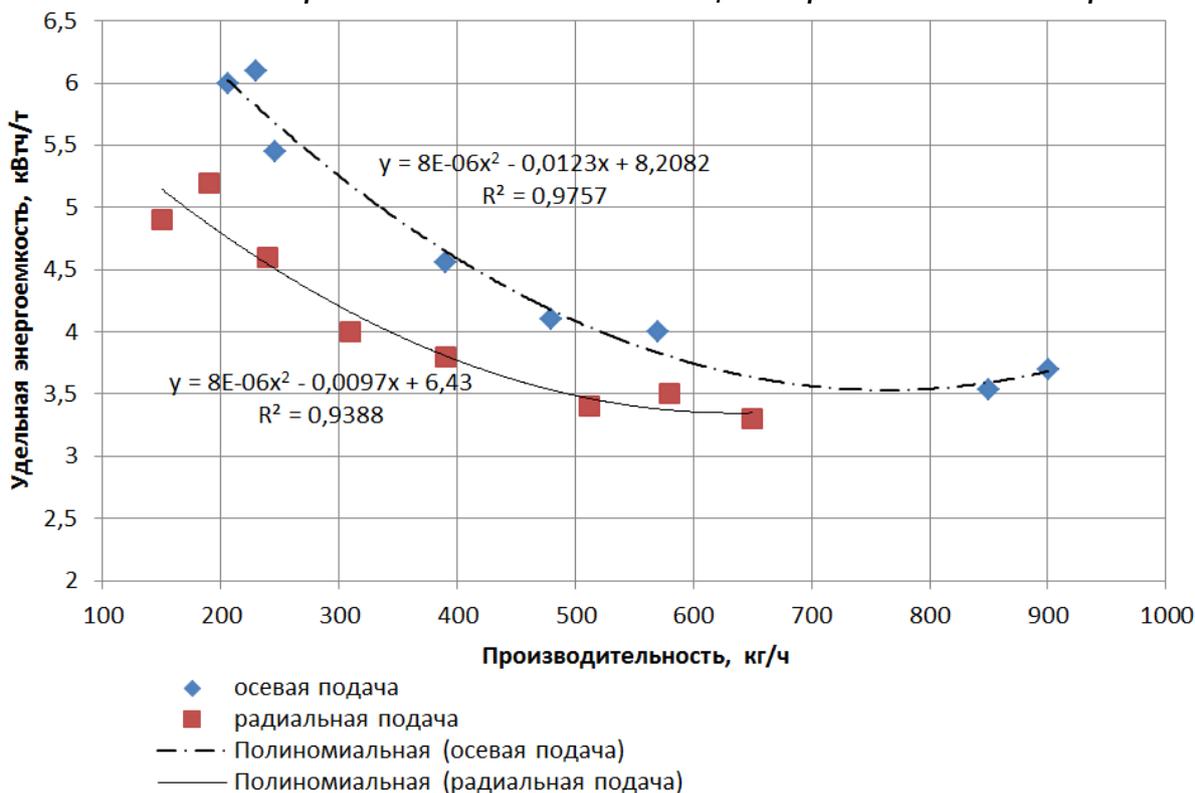


Рис. 4. Зависимость энергоёмкости измельчения ячменя от производительности дробилки**Выводы**

1. Технологические параметры работы молотковой дробилки зависят от способа подачи материала, а именно осевой или радиальной.

2. Молотковая дробилка с радиальной подачей обеспечивает меньшую производительность, но при этом удельная энергоёмкость также меньше при прочих равных условиях.

3. На модуль помола практически не повлиял способ подачи, он соответствовал зоотехническим требованиям. Отклонение крупности частиц находилось в пределах 5%, варьируясь в зависимости от исследуемых культур.

Библиографический список

1. Барабашкин, В. П. Молотковые и роторные дробилки / В. П. Барабашкин. – 2-е изд., доп. и перераб. – Москва: Наука, 1973. – 143 с. – Текст: непосредственный.

2. Федоренко, И. Я. Молотковые зернодробилки: технологические и динамические аспекты: монография / И. Я. Федоренко, В. В. Садов, С. А. Сорокин. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2023. – 207 с. – 1 CD-R (8,5 МБ). – Систем. требования: Intel Pentium 1,6 GHz и более; 512 МБ (RAM); Microsoft Windows 7 и выше; Adobe Reader. – Загл. с титул. экрана. – Текст: электронный.

3. Мельников, С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С. В. Мельников. – Ленинград: Колос, 1978. – 560 с. – Текст: непосредственный.

4. Мельников, С. В. Аэродинамические исследования молотковых кормодробилок / С. В. Мельников. – Текст: непосредственный // Земледельческая механика: сборник трудов. – Москва: Машиностроение, 1971. – Т. 13. – С. 270-281.

5. Сысуев, В. А. Кормоприготовительные машины. Теория, разработка, эксперимент / В. А. Сысуев, А. В. Алешкин, П. А. Савиных. – Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2008. – Т. 1. – 640 с. – Текст: непосредственный.

6. Иванов, И. И. Исследование молотковой дробилки при осевой и радиальной подаче зерна / И. И. Иванов, В. А. Сухляев, А. И. Сухопаров. – Текст: непосредственный // Международ-

ный научно-исследовательский журнал. 2021. – № 6 (108). – Ч. 3, июнь. – С. 114-118.

7. Rink R. Prawdopodobieństwo zderzenia się cząstek w przeciwbieżnych strumieniach mieszanin powietrza z materiałem. "Cement - Wapno - Gips", 1974. 29 (41), s. 180-184.

8. Федоренко, И. Я. Техника и технологии в животноводстве. Часть 1. Механизация приготовления и раздачи кормов: учебное пособие / И. Я. Федоренко, В. В. Садов. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2014. – 207 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Barabashkin, V. P. Molotkovye i rotornye dробилки. – 2-e izd., dop. i pererab. – Moskva: Nauka, 1973. – 143 s.

2. Fedorenko, I. Ia. Molotkovye zernodrobilki: tekhnologicheskie i dinamicheskie aspekty: monografiia / I. Ia. Fedorenko, V. V. Sadov, S. A. Sorokin. – Barnaul: RIO Altaiskogo GAU, 2023. – 207 s. – 1 CD-R (8,5 MB). – Sistem. trebovaniia: Intel Pentium 1,6 GHz i bolee; 512 Mb (RAM); Microsoft Windows 7 i vyshe; Adobe Reader.

3. Melnikov, S.V. Mekhanizatsiia i avtomatizatsiia zhivotnovodcheskikh ferm / S.V. Melnikov. – Leningrad: Kolos, 1978. – 560 s.

4. Melnikov S.V. Aerodinamicheskie issledovaniia molotkovykh kormodrobilok // Zemledelcheskaia mekhanika: Sb. tr. - Moskva: Mashinostroenie, 1971. – T. 13. – S. 270-281.

5. Sysuev V.A. Kormoprigotovitelnye mashiny. Teoriia, razrabotka, eksperiment / V.A. Sysuev, A.V. Aleshkin, P.A. Savinykh. – Kirov: Zonalnyi NIISKh Severo-Vostoka, 2008. – T. 1. – 640 s.

6. Ivanov I.I. Issledovanie molotkovoi dробилки pri osevoi i radialnoi podache zerna / I.I. Ivanov, V.A. Sukhliaev, A.I. Sukhoparov // Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. – 2021. – No. 6 (108). – Ch. 3. – S. 114-118.

7. Rink R. Prawdopodobieństwo zderzenia się cząstek w przeciwbieżnych strumieniach mieszanin powietrza z materiałem. "Cement - Wapno - Gips", 1974. 29 (41), s. 180-184.

8. Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve. Chast 1. Mekhanizatsiia prigotovleniia i razdachi kormov: uchebnoe posobie / I.Ia. Fedorenko, V.V. Sadov. – Barnaul: RIO AGAU, 2014. – 207 s.

