

УДК 631.353.7 : 633.18

UDC 631.353.7 633.18

**АГРЕГАТ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И  
РАЗБРАСЫВАНИЯ СОЛОМЫ**

**UNIT FOR STRAW CRUSHING AND  
SPREADING**

Скубак Антон Алексеевич  
аспирант, ассистент

Skubak Anton Alekseevich  
postgraduate student, assistant

Тарасенко Борис Фёдорович  
к.т.н., доцент

Tarasenko Boris Fyodorovich  
Cand.Tech.Sci., associate professor

Чеботарев Михаил Иванович  
д.т.н., профессор

Chebotarev Mikhail Ivanovich  
Dr.Sci.Tech., professor

Шевченко Дмитрий Александрович  
аспирант  
*Кубанский государственный аграрный  
университет, Краснодар, Россия*

Shevchenko Dmitriy Aleksandrovich  
postgraduate student  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar,  
Russia*

Представлены: анализ мобильных  
измельчителей, усовершенствованный  
измельчитель, снабженный разбрасывающим  
диском с лопастями, расположенным на раме, а  
также эксперименты по оптимизации  
параметров вихревого распылителя

The article presents the analysis of mobile crushers,  
improved chopper equipped with spreader disk with  
blades positioned on the frame, as well as  
experiments to optimize the parameters of the vortex  
sprayer

Ключевые слова: МОБИЛЬНЫЙ  
ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ, ДОЗИРУЮЩЕЕ  
УСТРОЙСТВО, ЖИДКОЕ КОМПЛЕКСНОЕ  
УДОБРЕНИЕ, ЭКСПЕРИМЕНТЫ,  
ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Keywords: MOBILE SHREDDER, DISPENSER,  
LIQUID COMPLEX FERTILIZER,  
EXPERIMENTS, OPTIMUM PARAMETERS

Научой и практикой определено, что в аграрном производстве Краснодарского края интенсификация возделывания сельскохозяйственных культур не даёт желаемого экономического эффекта, поскольку плодородие снижается, а это приводит к росту себестоимости, затрат ресурсов (в том числе затрат энергии). Интенсивное земледелие за последние полвека приводит к ежегодным потерям гумуса с пашни в среднем до 1,2 т/га, что меняет ее качественное состояние и, что ведёт к деградации почвенного покрова. При этом анализ научно-технической литературы показал, что необходимы следующие мероприятия:

- использование почвозащитных технологий, таких как безотвальная обработка почвы;

- возврат в почву органики в виде незерновой части урожая (НЧУ) для последующей ее гумификации;
- сохранение влаги в почве за счет талых вод машинами ротационного типа;

Однако при гумификации НЧУ имеются риски химического загрязнения почв минеральными азотными удобрениями из-за неравномерности их распределения, а в условиях засушливого земледелия риском является засуха. Кроме этого существенными недостатками при этом являются: высокая энергозатратность применяемых машин, а также недостаток запасов влаги в почве.

Т.о. существует проблема использования НЧУ в качестве гумификатора. В тоже время не хватает технических средств для обеспечения гумификации. В связи с чем, задачи исследований следующие.

1. Разработать перспективные технологии использования НЧУ в качестве гумификатора, и технические средства для их осуществления.
2. Предложить усовершенствованное конструктивно технологическое решение (КТР) для измельчения и разбрасывания НЧУ по полю.
3. Осуществить оптимизацию параметров агрегата.

Реализация задач исследования осуществлена следующим образом.

1. Известно[1], что для разных почв, с преобладающими в них определенными типами микроорганизмов, профессор Тэроу Хига (Япония) разработал три типа смешанных культур микроорганизмов (ЭМ: ЭМ-2 - смесь, состоящая из 10 родов и 80 видов микроорганизмов различных культур фотосинтезирующих бактерий, грибов; ЭМ-3 - смесь культур фотосинтезирующих бактерий; ЭМ-4 - смесь культур молочнокислых бактерий и других микроорганизмов, вырабатывающих молочную кислоту), внедрение которых в почвенно-растительную среду может изменить микробиологическое равновесие. Таким образом, применяя

ЭМможем получить положительный эффект для гумификации и роста урожайности растений, в том числе ЭМ способствуют формированию болезнеподавляющей почвы естественным путём [2]. В РФ в Краснодарском крае ученый Бурдун А.М. осуществил проверку гумификации НЧУ с помощью «полезных» микроорганизмов и разработки дозы внесения и способ их получения в местных условиях.

В настоящий момент этот процесс является экологически безопасным. Однако недостатками здесь являются отсутствие механизированного способа внесения и технических средств для его реализации.

2. Для разработки КТР нами проведены поисковые исследования[3].

Учитывая, что умобильного измельчителя ЗИС-2, включающего подборщик, роторный измельчитель, вентилятор и дефлектор.

Имеются следующие недостатки.

1.Неравномерное распределение соломы по полю.

2.Неравномерное распределение рабочей жидкости по поверхности соломы (смачивание).

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому экономическому эффекту является измельчитель- разбрасыватель соломы (см. полезную модель № 112590), включающий подборщик, измельчающий рабочий орган барабанного типа, выгрузную горловину, источник избыточного давления воздуха, емкость с дозирующим устройством, причем нижняя часть выгрузной горловины отделена перегородкой со сквозными отверстиями, соединена пневматически с источником избыточного давления воздуха сообщенного с валом отбора мощности и снабжена распылителями, расположенными на входе выгрузной горловины у сквозных отверстий и соединенными трубопроводами с дозирующим устройством и емкостью, причем сквозные

отверстия перегородки выполнены в виде жалюзийных отверстий с переменным углом раскрытия отверстий, уменьшающимся к выходу выгрузной горловины.

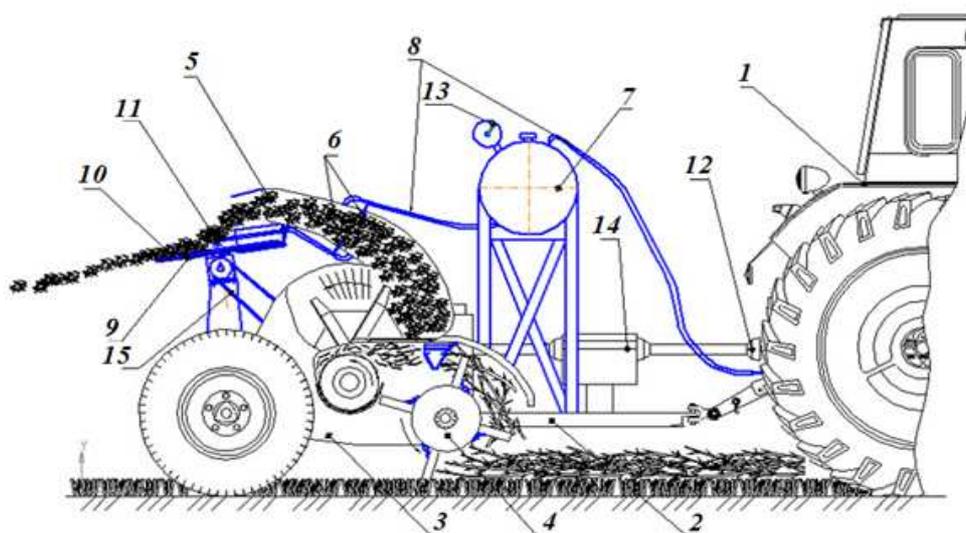
Однако данные устройства имеют следующие недостатки:

1. Низкое качество смачивания соломы растворами с гумифицирующими элементами.

2. Неравномерное распределение измельченной соломы по полю.

С целью повышения качества смачивания соломы, а также повышения равномерности разброса соломы по полю нами разработан агрегат (Рис.1.).

Новыми элементами агрегата являются:разбрасывающий диск с лопастями, расположенный на раме, а емкость с рабочим раствором выполнена герметичной и соединена с источником избыточного давления и посредством патрубков с распылителями, расположенные внутри выгрузной горловины и над центром разбрасывающего диска, который размещен под углом к направлению движения, причем привод диска осуществлен от ВОМ энергетического средства. При этом дозирующее устройство имеет манометр.



**Рисунок 1. – Схема агрегата для измельчения и разбрасывания  
соломы:**

1 – трактор, 2 – рама, 3 –подборщик, 4 –измельчающий рабочий орган барабанного типа, 5 –выгрузная горловина, 6 – распылители, 7 – емкость для рабочего раствора, 8 – патрубки, 9 –разбрасывающий диск, 10 – лопасти, 11 – распылитель,12 – ВОМ энергетического средства, 13 – манометр, 14 –редуктор, 15 –ременная передача шкива вентилятора

Устройство для измельчения и разбрасывания соломы работает следующим образом. При передвижении устройства по валку, при включенном вале отбора мощности 14 трактора и работающем компрессоре воздух подается в емкость 7 и контролируется манометром 13. Раствор из емкости по патрубкам поступает к распылителям 6 и 11, а в этот момент подборщик поднимает валок, и направляет его в измельчитель, где солома измельчается и попадает в выгрузную горловину, а там происходит ее смачивание раствором. С выгрузной горловины солома попадает на вращающийся диск 9 с лопастями 10, при этом диск и лопасти предварительно смачиваются благодаря распылителю 11. Солома диском распределяется веером и равномерным слоем покрывает почву. Благодаря размещению распылителей в горловине и над диском значительно повышается качество обработки соломы раствором (за счет ее опрыскивания во взвешенном состоянии, и за счет стирания с поверхности диска).

Предлагаемое устройство повышает качество обработки соломы раствором, что способствует более эффективному разложению и ускорению процесса гумификации.

3. Исследования по оптимизации параметров процесса измельчения НЧУ, смачивание ее раствором минеральных удобрений и разбрасывание по полю, проведены при полевых испытаниях следующим образом[4].

В качестве параметра, характеризующего процесс, был выбран расход рабочей жидкости.

Среднюю измерений эмпирического ряда параметров вычисляли по формуле:

$$n = \frac{\sum n_i x_i}{\sum x_i},$$

где  $n_i$  - порядковый номер замера параметра;

$x_i$  - независимые переменные.

Для отдельной оценки эффектов факторов и их взаимодействия необходимо применять полный факторный эксперимент, а так как нелинейность модели может быть вызвана не только взаимодействиями между факторами, но и наличием квадратичных членов, то необходимо предусмотреть составление плана 2-го порядка.

Математическая модель второго порядка имеет вид:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{\substack{i,j \\ i < j}} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2$$

где  $b_{ij}$  - эффекты взаимодействий;

$b_{ii}$  - эффекты при квадратичных членах;

$b_0, b_i$  — эффекты при линейных членах;

$y$  - расчетное значение критерия оптимизации;

$x_i, x_j$  - независимые переменные (факторы);

$n$  - количество факторов.

При составлении плана 2-го порядка рационально использовать центральный, композиционный ротатабельный униформплан (ЦКРУП). Этот план отличается тем, что его ядром является (ПФЭ) - полный факторный эксперимент при числе факторов меньшем или равным пяти.

Под композиционностью понимается последовательная достройка линейных планов до планов второго порядка. Для этого ядро плана достраивали некоторым количеством звездных точек, расположенных от центра эксперимента на расстоянии звездного плеча «а». Кроме того, для оценки кривизны поверхности отклика добавляли еще одну точку в центре эксперимента, поэтому план является центральным, а все опыты располагались симметрично вокруг центра основного уровня. А так как информация о поверхности отклика являлась одинаковой для всех направлений в точках, удаленных на одинаковое расстояние от центра эксперимента, то план является ротатабельным.

$$\sum_{i=1}^N x_{iu}^2 = N\lambda^2, i^{\square} = 1, 2 \dots n_{\square}$$

$$\sum_{i=1}^N x_{iu}^2 x_{ju}^2 = 3 \sum_{i=1}^N x_{iu}^2 x_{ju}^2 = 3N\lambda^4, i^{\square} = 1, 2 \dots n_{\square}, i^{\square} \neq j$$

Здесь  $\lambda^{\square}$  - некоторая константа, определяющая масштаб плана в целом.

От величин константы  $\lambda^{\square}$ , зависит вид информационного профиля, показывающего величину информации в зависимости от удаления по радиусу  $r$  в направлении оси какого-либо фактора от центра. Константу  $\lambda^{\square}$  выбирали так, чтобы информация оставалась постоянной в интервале  $0 < r < 1$ , при этом  $\lambda^{\square}$  была  $< 1$ . То есть составлялся равномер-ротатабельный план.

Для формализации задачи исследования и использования разработанных матриц планирования факторы кодировали по выражению:

$$x_i = \frac{X_i - X_{oi}}{v},$$

где  $x_i$ - кодированное значение фактора, верхний уровень обозначался +1, нижний — 1;

$X_i$  - натуральное значение фактора;

$X_{0i}$  - натуральное значение фактора на нулевом уровне;

$v$  - натуральное значение интервала варьирования фактора.

Натуральное значение интервала варьирования

$$v = \frac{X'_i - X''_i}{2},$$

где  $x'_i$  - натуральное значение фактора на верхнем уровне;

$x''_i$  - натуральное значение фактора на нижнем уровне.

Перед проведением регрессионного анализа проводили проверку однородности дисперсии по критерию Кохнера. Рассчитанные значения критерия Кохнера  $G$  сравнивали с табличными значениями  $G = 0,05$  при 5%- ном уровне значимости и числе степеней свободы  $f_1=1$  и  $f_2=N$ . При этом значение  $N$  берется равным числу опытов в матрице плана.

При однородности дисперсий рассчитывали коэффициенты регрессии математической модели по результатам опытов ЦКРУП, используя уравнения.

Для оценки адекватности представления результатов эксперимента математической модели применяли общую методику, сущность которой может быть представлена так.

Остаточная сумма квадратов дисперсий ( $SS_r$ ) при проведении повторяющихся опытов может быть разложена на две суммы - сумму квадратов, определяющую неадекватность результатов эксперимента ( $SS_{if}$ ), и сумму квадратов, связанную с дисперсией, характеризующей ошибку опытов

$SS_{r=+}$  .

Для проверки адекватности вычисляли  $F$  - критерий Фишера:

$$F = \frac{S_{if}^2}{S_y^2} = \frac{\frac{SS_{if}}{f_{if}}}{\frac{SS_y}{f_y}},$$

Сравнивали его с табличным значением. Здесь  $f_{if}$  и  $f_y$  - соответственно числа степеней свободы, отвечающие сумме  $SS_{if}$  и  $SS_y$ . Дисперсию неадекватности

$$S_{if}^2 = \frac{k \sum_{u=1}^k (\hat{y}_{iu} - \bar{y}_u)^2}{N - n - 1},$$

где  $\bar{y}_u$  - среднее значение критерия оптимизации в  $i$ -м опыте при  $k$  повторностях;

$n$  - число факторов;  $n = 0, 1, 2, \dots$ ;

$\hat{y}_{iu}$  - значение критерия оптимизации, вычисленное по уравнению регрессии.

Дисперсия, характеризующая ошибку опыта, определялась по формуле

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^k \sum_{i=1}^k (y_{iu} - y_u)^2}{N(k - 1)},$$

где  $y_{iu}$  - значение критерия оптимизации в параллельных опытах.

После получения адекватной математической модели второго порядка определяли координаты оптимума и изучали свойства поверхности отклика в окрестностях оптимума.

Для анализа и систематизации уравнение второго порядка приводили к типовой канонической форме вида:

$$Y - Y_S = B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + \dots + B_{nn}X_n^2,$$

где  $Y$  - значение критерия оптимизации;

$Y_S$  - значение критерия оптимизации в оптимальной точке;

$X_1, X_2 \dots X_n$  - новые оси координат, повернутые относительно сторон  $x_1, x_2 \dots x_n$ .

$B_{11}, B_{22} \dots B_{nn}$  - коэффициент регрессии в канонической форме.

При каноническом преобразовании уравнения второго порядка производился перенос начала координат в новую точку  $S$  и поворот старых осей на некоторый угол в факторном пространстве. Для этого продифференцировали функцию отклика по каждой переменной и, приравняв к нулю частные производные, решали полученную систему уравнений. Решением системы  $n$  -линейных уравнений находили координаты оптимума. В случае двух независимых переменных, придавая различные фиксированные значения  $Y_c$ , получали серию изолиний на плоскости, на основании которых проводился анализ уравнения регрессии.

После канонического преобразования и определения вида поверхности отклика проводили ее анализ с помощью двумерных сечений.

Для этого в модель подставляли закодированные значения всех факторов кроме двух. В полученном выражении определяли центр поверхности отклика путем взятия частных производных по каждому фактору и приравнивания полученных выражений к нулю.

После канонического преобразования проводили графоаналитический анализ полученного выражения. На графике в координатах независимых переменных с натуральным масштабом наносился центр поверхности отклика, и из него проводились координатные оси главных направлений канонического уравнения.

Придавая различные значения критерию оптимизации, строили серию кривых равного выхода (изолиний) в области допустимых значений варьирования независимых переменных. По кривым сечений судили об изменении величины критерия оптимизации в зависимости от натуральных значений рассматриваемых факторов.

Таким образом, были выбраны параметры, характеризующие процесс ультрамалообъемного опрыскивания НЧУ и рассмотрены математические выражения для их вычисления. В дальнейшем рассмотрели методику обработки экспериментальных данных (регрессионного анализа) при использовании матриц ЦКРУП и программа регрессионного анализа для ЭВМ.

Оптимизация параметров вихревого распылителя.

Достижение цели по оптимизации параметров вихревого распылителя с низкой энергоемкостью невозможно без проведения экспериментальных исследований.

Задачей исследований на начальном этапе уточнения конструкции распылителя явилось экспериментальное определение оптимальных значений конструктивных параметров целевого сопла, а именно, его ширины и влащности.

Для проведения планового эксперимента использовали ЦКРУП (центральный композиционный, ротатабельный униформ - план). Изучалось влияние двух факторов. Их значения фиксировались на

оптимальных уровнях. Факторы, интервалы и уровни варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Факторы	Кодированное обозначение	Интервал варьирования	Уровень факторов				
			-1,41	-1	0	+1	+1,41
Диаметр выходного отверстия, мм	х	1	4,38	2	3	4	4,41
Давление, МПа	х	0,5	0,795	1	1,5	2	2,205

Уровни факторов выбирали таким образом, чтобы их оптимальное значение, учитывающее существующие ограничения попадали в центр интервала *варьирования*.

Максимальным значением для первого фактора был принят диаметр, соответствующий 4 мм, в два раза больше диаметра питательной трубки, а минимальной 1 мм, учитывающей естественное расширение струи воздуха при выходе из сопла и необходимость охвата питательной трубки для предотвращения подтекания жидкости на выходе.

Максимальным значением для второго фактора было принято давление в системе, соответствующее 2 МПа, что давало возможность использовать малоэнергоемкие (малопроизводительные) источники питания воздухом при достаточном - доэструйных сопел; а минимальным - 0,25 мм, что, по предварительным исследованиям, обеспечивало достаточные расходные параметры воздушно-капельной струи.

Звездные точки определены расчетом значений 1-го и 2-го фактора, которые изменяли установкой прокладок с соответствующими размерами выходного отверстия щелевого сопла.

Исследование проводили при следующих исходных параметрах распылителя: воздушное сопло - 0 5 мм, питательная трубка - 0 4мм, давление воздуха в пневмомагистрали  $p = 0,2$  Мпа; высота столба жидкости  $h = 25$ см.

Эксперименты проводили с замером минутного расхода жидкости. Порядок проведения опытов реализован по таблице случайных чисел. Результаты исследования обработаны по общепринятой методике.

По результатам всех реализованных опытов плана, пользуясь константами, рассчитывали коэффициенты регрессии модели для функции отклика производительности распылителя.

Рассчитали дисперсии коэффициентов регрессии и доверительные интервалы. Анализ расчетов показал, что при 5% уровне значимости можно признать все коэффициенты, кроме коэффициента при квадратичном показателе ширины сопла: наиболее значимым явилась толщина сопла и толщина сопла с квадратичным показателем.

Адекватность модели проверяли по F - критерию. Расчетное значения F - критерия при 8 степенях свободы составило  $F_p = 3,71$ , а табличное  $F_T = 6,04$ . На основании этого можно говорить об адекватности модели производительности распылителя, описанного уравнением регрессии второго порядка и имеющего вид:

ц

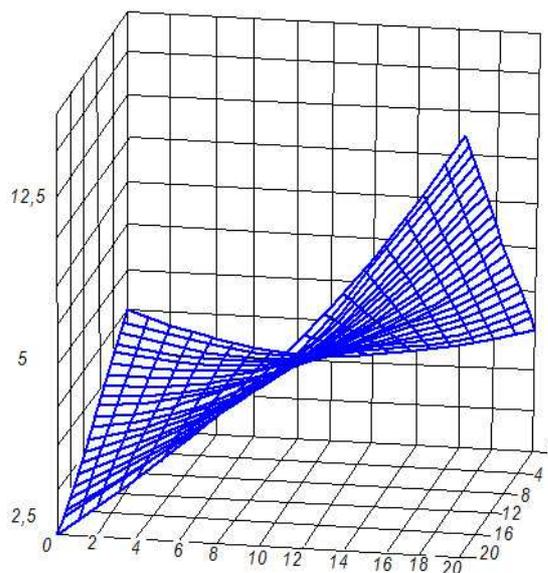
$$y = 581,231 + 40,134x_1 + 1128,162x_2 + 136,486x_1x_2 + 766,110x_2^2.$$

Рассмотрели поверхность отклика (Рис.2.) графически в системе

и

трех координат. Анализируя зависимость производительности  $\eta$  от ширины и толщины сопла, можно отметить, что с увеличением значения ширины сопла производительность снижается, постепенно увеличиваясь при увеличении толщины. Данная картина наблюдалась до линии перегиба, которая наблюдается до толщины 0,32мм, а затем происходит резкое увеличение производительности при одновременно увеличении толщины и ширины сопла. Это объясняется тем, что увеличение толщины и ширины способствует росту расхода воздуха соплом для эжектирования жидкости из питательной трубки диаметром 4 мм. Увеличение ширины при малых толщинах сопла не дает роста производительности в связи с неэффективным действием воздуха при обдувании питательной трубки, имеющей меньший диаметр, чем ширина струи сопла.

Для увеличения производительности данного распылителя рекомендуется использовать сопла с толщиной не менее 0,35мм и шириной не менее 5 мм. Ограничением ширины является расход воздуха через сопло, зависящее от энергоёмкости источника питания.



**Рисунок 2. Поверхность отклика производительности вихревого распылителя.**

#### **Выводы.**

1. На основе анализа известных науке и практике технологий наиболее прогрессивна технология разложения за счет полезных бактерий японского ученого Тэроу Хига.
2. На основе поисковых исследований нами предложена новая схема конструктивно-технологического средства для обработки рабочим раствором НЧУ рисовой соломы, для ее быстрого разложения в почве.
3. Результаты оптимизации эксперимента: с учетом применения малоэнергоёмкого источника энергии(компрессора трактора) принимаем размеры выходной щели воздушного сопла 2,5-12,5 мм.
4. Предлагаемая технология следующая. В момент уборки производится одновременное измельчение соломы с обработкой ее микроорганизмами.

#### **Список использованной литературы**

1. [http://em-baskplastik.ru/em\\_tehnologii](http://em-baskplastik.ru/em_tehnologii)
2. Ж.: Надежда планеты 1 января 2002 г.

3. Свиткин М.З., Рахлин К.М., Мацута В.Д. Методы решения производственных задач: Практическое пособие. Санкт-Петербург: Малое научно-производственное и сервисное предприятие «КОНФЛАКС». 1992. 96с.

4.Скубак А.А. «Способ обработки измельченной рисовой соломы жидким комплексным удобрением перед заделкой в почву и техническое средство для его осуществления»./Магистерская диссертация/ КубГАУ, Краснодар, 2012г., 100с.

### References

1.[http://em-baskplastik.ru/em\\_tehnologii](http://em-baskplastik.ru/em_tehnologii)

2. Zh.: Nadezhda planety 1 janvarja 2002 g.

3. Svitkin M.Z., Rahlin K.M., Macuta V.D. Metody reshenija proizvodstvennyh zadach: Prakticheskoe posobie. Sankt-Peterburg: Maloe nauchno-proizvodstvennoe i servisnoe predprijatje «KONFLAKS». 1992. 96s.

4.Skubak A.A. «Sposob obrabotki izmel'chennoj risovoj solomy zhidkim kompleksnym udobreniem pered zadelkoj v pochvu i tehničeskoe sredstvo dlja ego osushhestvlenija»./Magisterskaja dissertacija/ KubGAU, Krasnodar, 2012g., 100s.