

# Утилизация отходов хлебопроизводства и некондиционного зерна с получением белково-витаминной добавки

## Recycling of bread production waste and non-concordant grain by obtaining protein-vitamin supplements

### **Луканин А.В.**

д-р техн. наук, профессор, д-р технических наук, профессор, Российский университет дружбы народов, Москва, РФ  
e-mail: lukanin@bk.ru

### **Lukanin A.V.**

Doctor of Engineering, professor, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation  
e-mail: ukanin@bk.ru

### **Костяная К.**

бакалавр, Российский университет дружбы народов, Москва, РФ  
e-mail: ksenia.kosstyanaya@mail.ru

### **Kozhukhar V.R.**

Bachelor's Degree Student of Diplomatic academy in case of the Russian Foreign Ministry  
e-mail: ksenia.kosstyanaya@mail.ru

### **Аннотация**

Разработана модульная фермерская установка производства белково-витаминных добавок с одновременной утилизацией отходов производства зерна. В технологической схеме установки отсутствуют самые грязные и энергоемкие этапы (разделение, сушка и упаковка).

**Ключевые слова:** фермерская установка, утилизация отходов, хлебопроизводство, минеральные добавки.

### **Abstract**

The modular farmer installation of the protein-vitamin supplement production with the simultaneous disposal of grain production wastes has been developed. The technological scheme of the installation is missing the dirtiest and energy-intensive stages. (separation, drying and packaging).

**Keywords:** farm plant, waste management, bread production, mineral additives

Ежегодно в нашей стране образуются сотни тысяч тонн отходов зернопроизводства и некондиционного зерна, которые в ряде случаев нельзя напрямую использовать в кормовых целях. Одним из возможных путей утилизации этих отходов служит их микробиологическая переработка с получением ценной белково-витаминной добавки. Микроорганизмы обладают высокой скоростью накопления биомассы, которая в 500–5000 раз выше, чем у растений или животных. Микробные клетки способны накапливать очень большое количество белка (дрожжи – до 60%, бактерии – до 75% по массе). Белок биомассы дрожжей и бактерий полноценен по аминокислотному составу, что определяет его высокую кормовую ценность.

Кормовые дрожжи содержат в 5 раз больше белка, чем ячмень или овес. Одна тонна кормовых дрожжей (в сухом виде) обеспечивает экономию до 7 т зерна и дополнительное производство 0,8 т свинины, 5 т мяса птицы или до 15 тыс. штук яиц.

Разработана модульная установка для утилизации отходов зернопроизводства с получением белково-витаминной добавки (БВД), содержащей до 45% белка. Этот продукт по своим питательным свойствам не уступает соевому шроту. За модуль принята установка, перерабатывающая 300–350 кг растительных отходов в сутки (100–115 т/год). Это количество обеспечивает белком 250 свиней и 50 голов КРС. Модульный принцип установки позволяет комплектовать производство практически любой производительности. Установка предназначена для работы в фермерских хозяйствах, т.е. по месту потребления БВД и поэтому в ее схеме отсутствуют наиболее энергоемкие и «грязные» стадии – выпарка, сепарация, сушка и фасовка, что повышает экологическую чистоту и рентабельность производства.

Сырьем, после соответствующей подготовки, также могут *древесное сырье, хлопковая шелуха, кукурузная кочерыжка, подсолнечная лузга, рисовая шелуха, гуза-пай* (стебли хлопчатника), *отходы пивоваренного производства, верховой малоразложившийся торф, свекловичная меласса, молочная сыворотка.*

Для аэробных микроорганизмов необходим кислород, он окисляет органические субстраты и обеспечивает клетки энергией. Растворимость кислорода в ферментационных жидкостях составляет не более 4–7 мг/л. Такое количество кислорода обеспечивает потребность культуры в течение нескольких минут, поэтому обязательным условием является аэрация культуральной жидкости. Потребность культуры микроорганизмов в кислороде зависит от ряда факторов, в частности концентрации микроорганизмов в культуральной жидкости, вида используемого углеродсодержащего субстрата (при росте дрожжей на средах с сахарами максимальная удельная потребность в кислороде составляет около 0,8 г на 1 г биомассы, на средах с органическими кислотами – 2,0, на n-парафинах – до 3), вида и штамма применяемых микроорганизмов.

Получение биомассы является основным процессом в технологической схеме производства кормовых дрожжей. Нормальным считается выход кормовых дрожжей (в сухом виде) 40–50% от использованного сахара. Иными словами, для культивирования пригодны микроорганизмы, обладающие способностью ассимилировать все питательные вещества с высоким экономическим коэффициентом. В зависимости от используемой в производстве культуры дрожжей выращивание проводят при температуре 32–36 °С. С понижением температуры замедляется жизнедеятельность дрожжей, а при повышении температуры выше 38–40 °С резко уменьшается активность поглощения кислорода, снижаются выход дрожжей и содержание белка в клетках. При выращивании дрожжей выделяется от  $10,5 \cdot 10^3$  до  $14,7 \cdot 10^3$  Дж на 1 кг сухих дрожжей. До 40% тепла, образующегося в процессе роста дрожжей, уносится продуваемым воздухом, а остальное количество отводится с помощью охлаждающих устройств.

Продуценты белка должны удовлетворять ряду требований: иметь минимальное время генерации; накапливать до 40–70% белка от своей массы, максимально усваивая питательные вещества среды; должны быть непатогенными и не выделять в среду токсические метаболиты; иметь высокую устойчивость и выживаемость в нестерильных условиях выращивания; легко отделяться от жидкой фазы.

Для производства кормового белка используют различные штаммы дрожжей видов *Candida utilis*, *Candida arborea*, *Candida tropicalis*, *Candida scottii*, *Candida guilliermondii* и др. Они способны расти на разнообразных субстратах и давать высокий выход биомассы. Производство кормовых дрожжей – процесс нестерильный, поэтому в ферментерах развиваются не монокультуры, а ассоциации культур, принадлежащие к 5–8 различным видам, что повышает общий выход биомассы. Смешанные культуры более устойчивы к колебаниям состава субстрата и технологического режима, а также к появлению посто-

ронней микрофлоры. С учетом того, что клетки дрожжей накапливают до 60% белка, а бактериальные клетки до 75%, целесообразно при получении белково-витаминных добавок использовать ассоциативную культуру бактерий и дрожжей. Важнейшими в составе питательных сред являются нелетучие органические вещества, в том числе моносахара. Моносахара состоят из пентоз (ксилоза и арабиноза) и гексоз (глюкоза, галактоза). Кормовые дрожжи в первую очередь усваивают гексозы. На скорость накопления биомассы дрожжей больше всего влияет концентрация сахара в субстрате. Практически содержание общих редуцирующих веществ (РВ) в гидролизатах колеблется от 2 до 3,5%. Однако при этой концентрации РВ выращивание дрожжей идет замедленно с неполной утилизацией углеводов, т.к. дрожжи не обеспечены достаточным количеством растворенного кислорода. Пока на практике трудно обеспечить рост подачи кислорода с ростом РВ в суспензии, поэтому целесообразно в настоящее время работать на растворах с содержанием РВ 1,2–1,8%.

### **Модульная фермерская установка**

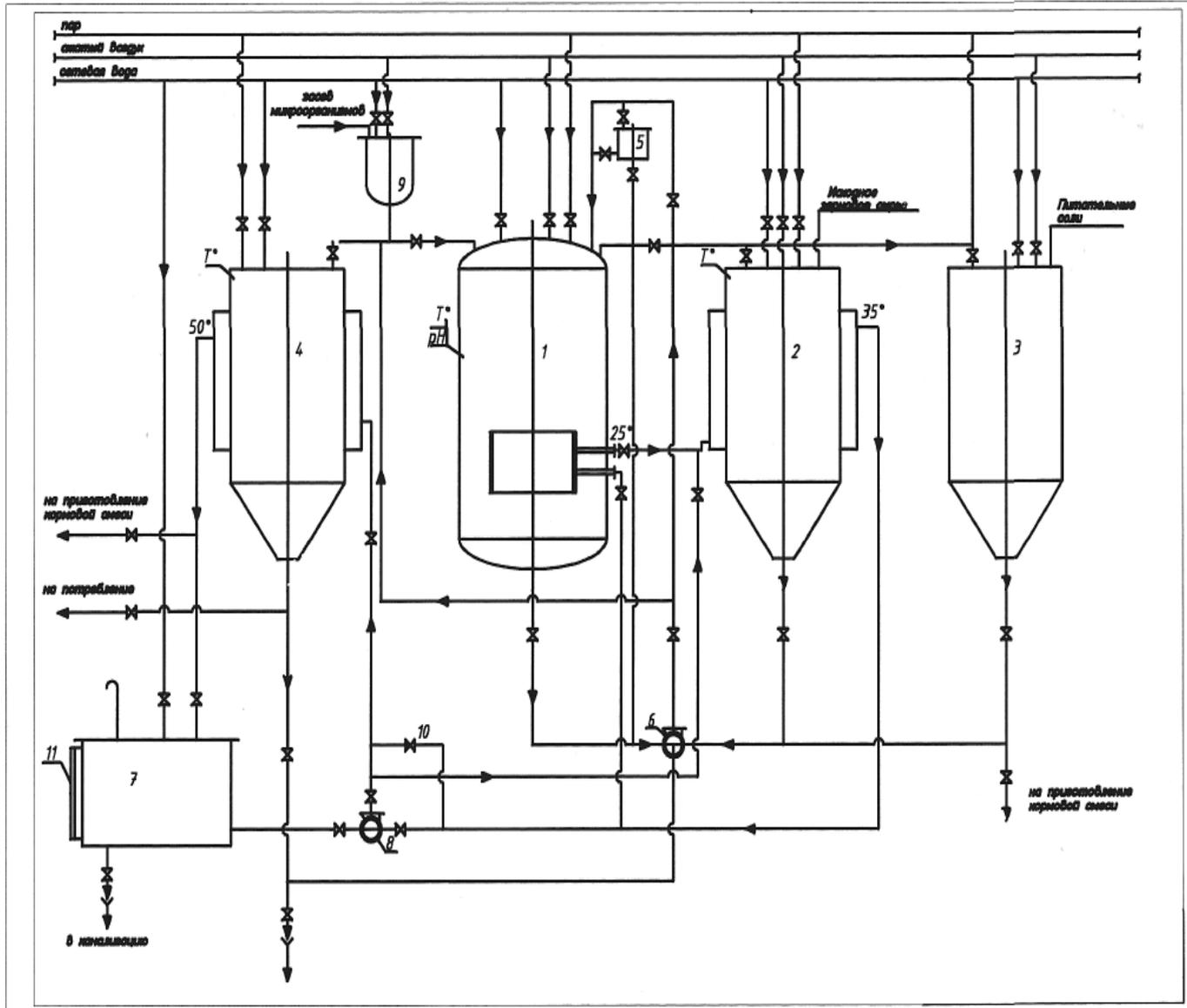
В настоящее время наряду с крупными откормочными хозяйствами развитие получили относительно небольшие фермерские хозяйства. Поэтому представилось целесообразным разработать и оснастить эти хозяйства экономичными, индивидуальными модульными установками по производству белково-витаминных добавок, т.е. совместить территориально производство и потребление. Такие установки обладают рядом несомненных преимуществ. В частности, возможностью создавать установки разной производительности. За модуль принята установка производительностью 250 кг в сутки белково-витаминной добавки (БВД) в пересчете на сухой продукт. Поскольку установка расположена непосредственно у потребителя, то возможно исключить наиболее энергоемкие и грязные стадии производства, обязательные для крупных заводов: сепарацию, выпарку, сушку и упаковку. Готовой продукцией является «суспензионное молочко», содержащее 8% сухих веществ, которое подается в отделение подготовки кормов. Отпадает необходимость в транспортировке и складировании готовой продукции. Появляется возможность использования собственных отходов сельскохозяйственного производства (ржаные и пшеничные отруби, некондиционное зерно, мучка и др.).

Наличие подобных установок в фермерских хозяйствах освобождает предпринимателей от необходимости приобретать дорогостоящие белковые добавки (соевый шрот, рыбная мука, гидролизные дрожжи, мясокостная мука, подсолнечный шрот и др.).

### **Технологическая схема производства**

Зерновое сырье (рис. 1), измельченное до размера частиц I мм, в количестве 70 кг загружается в аппарат предподготовки 2, разбавляется водой до объема 0,6 м<sup>3</sup> (модуль разбавления 1:7) и нагревается до 65–68°C. Нагрев осуществляется паром со скоростью 1,5°C/мин. В результате тепловой обработки происходит осахаривание сырья под действием собственных ферментов. Применяемый режим нагрева способствует максимальному выходу органических веществ в раствор. Затем суспензию охлаждают до температуры 40°C и перекачивают в производственный ферментер 1, а в аппарате предподготовки готовится новая порция суспензии. Из ферментера чистой культуры 9 суспензия в количестве 30–50 л подаётся в производственный ферментер, туда же поступают питательные соли и аммиачная вода. Рабочий объем среды в ферментере 1 после одной загрузки суспензии составляет 0,65 м<sup>3</sup>. После подготовки следующей порции суспензии растительного сырья, она также перекачивается в ферментер 1, в результате чего объем культуральной жидкости увеличивается до 1,3 м<sup>3</sup>. Температура выращивания составляет 32–34°C и поддерживается за счет подачи охлаждающей воды из сборника 7 насосом 8. Подтитровка среды осуществляется аммиачной водой из емкости 5. После ферментации в течение 5 часов, 0,6 м<sup>3</sup> дрожжевой суспензии насосом 6 откачивается в плазмоллизатор 4, где под дей-

ствием пара при 105°C в течение часа осуществляется тепловая обработка. Затем готовую суспензию охлаждают до 50°C и направляют на потребление.



**Рис. 1.** Технологическая схема производства

1 – производственный ферментёр; 2 – аппарат предподготовки; 3 – аппарат приготовления растворов питательных солей; 4 – плазмолизатор; 5 – ёмкость аммиачной воды; 6 – циркуляционный насос; 7 – сборник воды охлаждения; 8 – насос контура охлаждения; 9 – ферментёр чистой культуры; 10 – обратный клапан; 11 – уровнемер.

## Способ подготовки растительного сырья

Гидролиз отрубей (разложение полисахаридов при помощи воды) можно проводить различными способами: термообработка в присутствии ферментов (амилосубтилин, глюковаморин, целловиридин и др.), либо в присутствии кислот (фосфорная, серная кислоты и др.) с последующей нейтрализацией. Однако оба эти варианта технологически сложны и требуют больших экономических затрат. Учитывая условия эксплуатации фермерских установок (сельская местность), был разработан простой способ подготовки органического сырья, исключая применение кислот или ферментов. Его суть заключается в следующем. Известно, что в составе отрубей сохраняются собственные ферменты, вырабатываемые во время выращивания злаков, а также ферменты микроорганизмов, попадающие на их поверхность из атмосферы – нативные ферменты. Была разработана технология обработки отрубей, используя их собственные ферменты с получением полноценной питательной среды. Основным показателем полноты извлечения сахаров из твердой фазы является максимальный переход полисахаридов в растворимое состояние. Было показано, что определяющим фактором полноты гидролиза является не конечная температура суспензии, а темп нагрева, который определяет физико-химические превращения в структуре исходного сырья и максимальный выход растворимых веществ в жидкую фазу. Этот процесс сопровождается резким возрастанием вязкости суспензии до 20 сПз, что объясняется образованием коллоидной системы (клеистерилизация). Этому состоянию соответствует перевод максимального количества исходного сырья (до 75%) в жидкое состояние.

Было выяснено, что максимальный выход редуцирующих веществ имеет место при темпах нагрева 1–1,5 °С в минуту, при этом длительность процесса составляет 40–50 мин. В качестве растительного сырья были изучены отруби ржаные, пшеничные, некондиционное зерно и зернопродукты. Узел подготовки растительного сырья (рис. 2) состоит из установки предварительной механической подготовки сырья (1), которая включает ситовой сепаратор отделения механических включений и дробилку с ситом с ячейкой 1 мм. При заданной потребности в исходном сырье 337,5 кг/сутки оборудование подбирали с учетом того, что за один проход через дробилку получалось 50% отрубей с размером менее 1 мм, которые использовались при ферментации. Повторное дробление отрубей не проводилось, а крупные фракции направлялись на приготовление кормовой смеси.

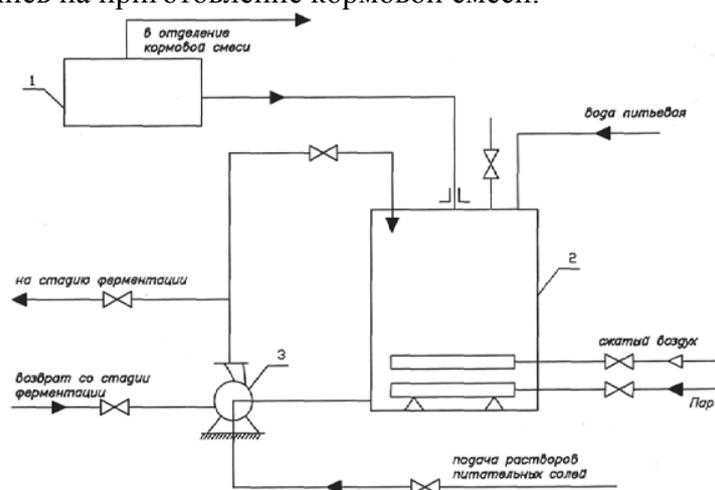


Рис. 2. Узел подготовки растительного сырья.

1 – дробилка с ситом диаметром отверстий 1 мм, 2 – аппарат подготовки, 3 – циркуляционный насос.

### *Другие стадии производства и технологическое оборудование модульной установки*

При разработке аппаратов одним из основных критериев была их невысокая стоимость, простота конструкции и изготовления, а также надежность в работе. Эти требования обусловлены условиями эксплуатации установок (сельская местность) и невысокой рентабельностью основной части фермерских хозяйств. Поэтому нами были разработаны аппараты собственной конструкции в упрощенном варианте, которые в разы дешевле стандартных, предназначенных, как правило, для работы в стерильных условиях и при повышенных давлениях. При разработке аппаратов были определены нагрузки по охлаждающей воде, воздуху, пару и соответственно рассчитаны размеры всех штуцеров и патрубков, а также геометрия аппаратов в целом.

**Узел биосинтеза** включает отделение чистой культуры и отделение производственной ферментации, а также емкость  $V = 0,5 \text{ м}^3$  для аммиачной воды. Отделение чистой культуры является очень важной составляющей технологии производства кормовой добавки, поскольку обеспечивает производственную ферментацию целевым штаммом-продуцентом кормового белка. **Ферментер чистой культуры.** При рабочем объеме производственного ферментера  $1 \text{ м}^3$ , достаточен объем засевной культуры 30–50 л с концентрацией по биомассе, близкой к производственной (8%). Аппарат имеет геометрический объем  $0,1 \text{ м}^3$ , диаметр 500 мм, с перемешивающим устройством, охлаждающей рубашкой и размещенным в цилиндрической части барботером. **Производственный ферментер.** В связи с нестабильностью состава суспензий зернового сырья, был принят циклический метод работы, где операции предподготовки исходного сырья и режима ферментационного выращивания делятся одно время – 5 часов. Объем производственного ферментера был принят равным удвоенному объему аппарата предподготовки зернового сырья. Это аппарат барботажного типа объемом  $2,5 \text{ м}^3$ , диаметром 1,2 м, имеющий сетчатый аэратор, циркуляционный стакан, выполненный из двух соосно расположенных обечаек, в зазор между которыми подается охлаждающая вода. В пусковой период в ферментер загружаются  $0,65 \text{ м}^3$  подготовленной суспензии растительного сырья (после чего операция предподготовки повторяется), раствор питательных солей в расчете на  $1,2 \text{ м}^3$  исходной суспензии (избыток питательных солей не приводит к ингибированию процесса) и засевная культура объемом 30–50 л с концентрацией 8% абсолютно сухого вещества (АСВ). Процесс выращивания длится 4–5 часов при температуре 32–34°C и pH – 4,5–6,0. При достижении в режиме накопления заданной (8 %) концентрации в аппарат подается вторая, подготовленная к этому времени порция ( $0,65 \text{ м}^3$ ) суспензии сырья. Далее в том же режиме осуществляется второй цикл накопления. По завершении процесса половина объема аппарата ( $0,6 \text{ м}^3$ ) откачивается на стадию плазмолиза и вновь загружается  $0,65 \text{ м}^3$  подготовленной суспензии и т.д.

**Плазмолиз культуральной жидкости.** По завершении ферментации половина ( $0,6 \text{ м}^3$ ) суспензии откачивается в плазмолизатор. Плазмолиз микроорганизмов является важной частью производственного процесса получения белково-витаминной добавки. Тем более это актуально при условии нестерильного производства, т.к. возможно попадание в культуральную жидкость посторонней микрофлоры и нет гарантии, что эта микрофлора будет не патогенной. Плазмолиз осуществляют нагреванием суспензии микроорганизмов до 110–115°C и выдерживанием ее при этой температуре в течение одного часа

### **Литература**

1. Андреев А.А., Брызгалов Л.Н. Производство кормовых дрожжей [Текст]/ А.А. Андреев, Л.Н. Брызгалов. – М.: Лесная пром., 1973. – 296 с.
2. Бекер М.Е. Введение в биотехнологию [Текст]/М.Е. Бекер. – М.: Пищевая пром., 1978. – 230 с.
3. Биотехнология [Текст] / Под ред. А. А. Баева. — М.: Наука, 1984. – 309 с.

4. Биотехнология микробного синтеза [Текст] / Под ред. М. Е. Бекера. — Рига: Зинатне, 1980. — 350 с.
5. *Бортников И.И., Босенко А.М.* Машины и аппараты микробиологических производств [Текст]/И.И. Бортников, А.М. Босенко. — Минск: Высшая школа, 1982. — 288 с.
6. *Гапонов К.П.* Процессы и аппараты микробиологических производств.— М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 240 с.
7. *Грачева И.М., Гаврилова Н.Н., Иванова Л.А.* Технология микробных белковых препаратов, аминокислот и жиров. М.: Пищевая пром., 1980.— 448 с.
8. *Калуныц К.А., Голгер Л.И., Балашов В.Е.* Оборудование микробиологических производств [Текст]/К.А. Калуныц, Л.И. Голгер, В.Е. Балашов. — М.: Агропромиздат, 1987. — 398 с.
9. *Мосичев М.С., Складнев А.А., Котов В.Б.* Общая технология микробиологических производств [Текст]/М.С. Мосичев, А.А. Складнев, В.Б. Котов. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. — 263 с.
10. *Перт С. Дж.* Основы культивирования микроорганизмов и клеток. — М.: Мир, 1978. — 331 с.
11. *Соколов В.Н., Яблокова М.А.* Аппаратура микробиологической промышленности [Текст]/В.Н. Соколов, М.А. Яблокова. — М.: Машиностроение, 1988. — 280 с.
12. *Яковлев В.И.* Технология микробиологического синтеза [Текст]: учебное пособие для ПТУ / В.И. Яковлев. — Л: Химия. 1987. — 272 с.
13. *Луканин А.В., Кривой Б.А., Столбун С.Ю., Тарасова Т.А.* Подготовка растительного сырья к ферментативному выращиванию методами терморегулируемой обработки [Текст] / А.В. Луканин, Б.А. Кривой, С.Ю. Столбун, Т.А. Тарасова // Хранение и переработка сельхозсырья. РАСХН. №6. — 1995. — С. 41–43.
14. Способ получения биомассы из отходов зернопроизводства, Луканин А.В., Кривой Б.А., Носов В.В., и др., Патент РФ №2091492 от 27.09.97г.
15. *Луканин А.В., Систер В.Г.* Способ получения кормовой белково-витаминной добавки. Вышелесский А.Б., Кривой Б.А., Патент РФ №2290831 от 10.01.2007.
16. *Луканин А.В.* Модульные установки для получения белково-витаминных добавок [Текст] / А.В. Луканин // Комбикорма. — №5. — 2008. — С. 52–53.
17. *Луканин А.В.* Новая технология производства кормовых добавок для комбикормовой промышленности [Текст] / А.В. Луканин // Комбикорма. — 2009. — №1. — С. 51–52.
18. *Луканин А.В.* Инженерная экология: защита литосферы от твердых промышленных и бытовых отходов [Текст]: учебное пособие/ А.В. Луканин. — М., ИНФРА-М. 2018. — 556 с.