

О. И. Родькин

*Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие
«Бел НИЦ «Экология», г. Минск, Республика Беларусь*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛОМЫ В КАЧЕСТВЕ БИОТОПЛИВА

В статье представлены результаты исследований по оценке технологических аспектов использования соломы на энергетические цели. Одним из проблемных моментов является содержание в биомассе соломы ряда химических элементов, которые снижают эффективность работы энергетических установок. Эта проблема может быть решена посредством вымывания элементов из соломы при использовании биомассы для прямого сжигания или при использовании соломы для изготовления пеллет. Пеллетирование соломы имеет как преимущества, так и недостатки.

➤ **Ключевые слова:** солома, биотопливо, пеллеты, технология.

Введение

Проблема использования сельскохозяйственных отходов, и в первую очередь соломы зерновых культур, на энергетические цели является дискуссионной как для стран ЕС, так и для стран СНГ. Это обусловлено значительным количеством аспектов экономического, экологического и технологического характера, требующих своего разрешения. Солома является ценным ресурсом для аграрного сектора. Она используется в качестве корма для сельскохозяйственных животных, как субстрат при приготовлении органических удобрений, для утепления буртов картофеля и свеклы при зимнем хранении в полевых условиях и другие цели. Таким образом, ключевым аспектом является определение количества соломы, которое может быть потенциально использовано в качестве биотоплива без ущерба для других потребностей и нарушения экологического баланса в аграрных системах. Кроме того, экологическая оценка требует учета выбросов в атмосферный воздух, в том числе парниковых газов и возможности утилизации золы [4]. Актуальным вопросом так же является технологическое обоснование использования соломы. В частности содержание в биомассе ряда элементов, таких как калий, натрий, хлор может приводить к повышенному износу оборудования при сжигании соломы. Их повышенное содержание в биомассе вызывает зашлаковывание труб и ускоренную коррозию металлических поверхностей энергетических установок при сжигании. Ключевое значение для оценки эффективности использования соломы так же имеет ее энергетическая ценность [2, 9, 11]. Элементарный состав соломы и теплота ее сгорания (до 17 МДж/кг) не слишком отличаются от соответствующих показателей для древесины (до 18 МДж/кг), хотя теплота сгорания соломы ниже, чем у сухой древесины. С другой стороны, с учетом обычной для соломы влажности ниже 20%, теплота сгорания соломы оказывается выше, чем у древесной щепы, которая давно используется в энергетике.

Лидером в производстве тепла и электроэнергии из соломы является Дания, где ежегодно используется более 1,3 млн. тонн соломы [6, 7]. Энергетическая программа Дании предполагает, что к 2030 году возобновляемая энергетика превысит 50% уровень в общей структуре топлив. В Программе предусмотрено увеличение использования соломы и древесной щепы на ТЭЦ, а также переоборудование до максимально возможной степени блочных отопительных установок мощностью 250 кВт в сельскохозяйственных районах с переводом их с ископаемого топлива на биомассу.

Технология использования соломы зависит от потребности в энергии на местном уровне и методов использования и включает ряд направлений [1].

Прямое сжигание применяется при небольшом плече перевозки и, соответственно, затратах на транспортировку. В этом случае используются, как правило, тюки или рулоны соломы, которые поступают прямо с поля, складываются в хранилищах, расположенных вблизи тепловых станций, и в дальнейшем сжигаются напрямую.

Мощность станции в среднем составляет около 4 МВт, и она вырабатывает только тепловую, но не электрическую энергию. Все станции предназначены для использования больших рулонов соломы размером 2,4×1,2×1,3 м. Необходимая мощность станции рассчитывается с учетом наиболее холодного времени года и размера района, который они обеспечивают. Средняя эффективность станций составляет около 60%.

Комбинированные тепловые и электрические станции (СНП) начали активно внедряться в Дании с середины 80-х гг. В качестве топлива они используют солому, древесину, твердые коммунальные отходы, а также биогаз и природный газ. Мощность таких станций составляет несколько МВт.

Газификация и пиролиз. Газификация применяется на небольших тепловых станциях мощностью 0,2–0,3 МВт или на электрических мощностью 50–100 МВт, где полученный газ используется в качестве топлива для двигателя генератора. Активного распространения такие установки не получили по ряду причин, в том числе из-за:

- наличия сырья на стабильной основе;
- технологических проблем обеспечения гомогенного слоя топлива;
- наличия остатков соломы, не подлежащих сжиганию.

На станциях большой мощности газ применяется для выработки пара. В свою очередь пар при охлаждении является дополнительным источником тепла, как в комбинированных станциях.

Изготовление пеллет и брикетов

Солома может быть спрессована в специальные пеллеты диаметром до 10 мм [8]. Они могут эффективно применяться для больших станций, но при использовании на малых котлах имеют все те же недостатки, что и при прямом сжигании соломы. Для снижения количества шлаковых отложений при изготовлении пеллет используются добавки патоки и каолина. Энергетическая ценность пеллет составляет свыше 16 МДж/кг. Удельная плотность более чем в четыре раза превышает этот показатель в соломенных рулонах.

В Германии как топливо солома используется в прессованных тюках в фермерских хозяйствах для сушки зерна, отопления, а так же производства гранул. Потенциал различных видов растительной биомассы в ФРГ составляет по остаткам лесо- и деревопереработки – 142 млн. ГДж/год, а по соломе – 104 млн. ГДж/год [10]. Значительные ресурсы соломы и другой растительной биомассы для производства гранул имеет Венгрия. Общий потенциальный объем сырья около 5,5 млн. тонн в год, годовой объем производства гранул 3–4 тыс. тонн. В Нидерландах крупные ТЭС ежегодно закупают около 15 тыс. тонн пеллет из лозги сои у местных фермеров, и еще 10 тыс. тонн пеллет из растительной биомассы для совместного сжигания с углем импортируется из других европейских стран. Крупнейший голландский энергетический концерн ESSENT (с 2009 г. входит в группу RWE, по продажам электроэнергии охватывает 30% частных домовладений в Нидерландах), с 2008 года сжигает совместно с углем на своих электростанциях пеллеты из лозги кофейных зерен. К 2013 г. планируется выйти на годовое потребление этих пеллет в 250 тыс. тонн. В Польше ежегодный потенциал соломы, используемый для выработки электроэнергии, составляет около 10 млн. тонн. На сегодня в Польше имеется уже более 10 производителей гранул и брикетов из соломы.

Как уже было отмечено ранее, солома содержит ряд соединений, которые не только затрудняют ее технологическое использование, но и оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду. Особенно опасными являются соединения серы, свинца, хлора. Типичные значения химического состава соломы зерновых культур представлены в табл. 1.

Таблица 1

Типичные значения химического состава соломы зерновых культур [9]

Параметр	Среднее значение	Отклонение от средней	Параметр, мг/кг	Среднее значение	Отклонение от среднего ±
Зольность, %	5,6	1,7	Si	14,791	6,321
C, %	45,82	2,17	Ca	3,105	1,131
H, %	5,79	0,26	Mg	867	590
O, %	42,65	—	K	6,603	4,471
N, %	0,58	0,83	Na	547	78,6
S, мг/кг	981	419	Zn	23	2,5
Cl, мг/кг	3,597	3,945	Pb	0,8	0,7

Химический состав соломы представлен усредненными показателями. Он зависит от целого ряда условий: вида и сорта культуры, количества и системы применения удобрений, технологии выращивания, погодных условий, характеристики почв и т. д. Также установлено, что степень увядания

и воздействие атмосферных осадков приводит к изменению элементного состава соломы. С возрастанием степени увядания происходит снижение уровня концентрации щелочных металлов и соединений хлора вследствие их вымывания. Так, в процессе вымывания в соломе происходит изменение уровня содержания соединений хлора (с 0,49 до 0,05%) и калия (с 1,18 до 0,22%) что позволяет минимизировать их воздействие на энергоустановку, а это очень важно с точки зрения технологичности использования соломы. Достаточно высокий уровень выхода летучих веществ (57–69%) обуславливает необходимость выполнения специальных требований к технологии сжигания соломы. Снизить количество вредных соединений в летучих газах можно за счет установки специального оборудования.

Солома содержит ряд соединений, которые не только затрудняют ее технологическое использование, но и оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду [5]. Особенно опасными являются соединения серы, свинца, хлора. Как топливо, с экологической точки зрения, солома уступает природному газу, находится приблизительно на одном уровне с древесиной и значительно превосходит уголь. При сжигании соломы выбросы в атмосферный воздух диоксида серы, оксидов азота и углерода, сажи в несколько раз ниже, чем при использовании угля.

Содержание золы в соломе зерновых культур составляет от 3 до 5%. Зола содержит ряд необходимых растениям элементов питания, в том числе калия и кальция, что теоретически позволяет использовать ее в качестве удобрения для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Такое применение возможно при относительно невысоком содержании в золе загрязнителей, способных переходить в сельскохозяйственную продукцию. В странах ЕС установлены предельные нормативы содержания в золе тяжелых металлов, ограничивающие ее использование в качестве минерального удобрения [11]. Нормативы, установленные для стран ЕС, могут быть взяты за основу и для Беларуси. При превышении нормативов зола может быть использована в качестве удобрения для непродовольственных культур, например короткоциклового посадка ивы. Во-первых, эта культура не накапливает свинец или кадмий в значительных количествах, а во-вторых – остается на одном месте более 20 лет. Необходимо сбалансировать нормы и сроки внесения таким образом, чтобы не происходила аккумуляция тяжелых металлов в почве на участке, где заложена плантация.

Альтернативным направлением использования золы является ее добавление в смеси при изготовлении цемента или других строительных материалов [9]. В этом случае необходимо учитывать, что зола соломы, содержащая ряд щелочных соединений и хлора, может снизить качество материалов. Необходимо использовать современные специальные технологии, чтобы нивелировать этот негативный фактор.

Целью наших исследований была оценка технических аспектов использования соломы на энергетические цели, начиная от поля и заканчивая энергетической установкой.

Методика и условия проведения исследований

Исследования по определению динамики влажности соломы и содержания в ней химических элементов при ее экспозиции в естественных полевых условиях проводились в 2011–2013 годах в Дзержинском районе Минской области.

Отбор образцов соломы ржи, льна, ячменя, пшеницы, рапса и тритикале производили в несколько этапов, начиная с момента уборки комбайном методом в расстил. Для определения влажности соломы использовали весовой метод. Сущность его заключается в определении количества влаги по потере массы пробы при ее полном высушивании. В найденную таким способом общую влагу не входит гидратная и пирогенетическая влага. Высушивание навески аналитической пробы проводили в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С, после чего вычисляли массовую долю влаги по потере в массе. Определение химических элементов в растительных образцах проводили с помощью рентгено-флуоресцентного анализатора РФА-СЕР-01 производства фирмы «ElvaX» (Украина).

Результаты исследования и обсуждение

Солому с полей можно убирать в цельном, прессованном и измельченном виде. Способ уборки может зависеть от целевого назначения собираемой соломы: в качестве удобрения – измельчение и заправка на полях, в качестве корма сволокивание и скирдование на окраине полей либо в местах хранения вблизи животноводческих ферм. Для энергетических целей наиболее эффективной является технология прессования соломы в тюки или рулоны с дальнейшей транспортировкой к месту хранения и доработкой [3].

Потенциальный объем использования соломы в качестве биотоплива на региональном уровне определяется на основе расчета балансового метода с учетом ее применения на другие цели. В аграрном секторе солома используется как источник корма для животноводства, для производственных целей (укрытие буртов, утепление ферм, изготовление кирпичей, самана и т. д.), в качестве удобрения. Основ-

ной объем соломы используется в животноводстве в качестве подстилки для производства органических удобрений. В среднем для получения 1 т подстилочного навоза необходимо около 250 кг соломы.

Общее количество соломы, используемое для отдельных нужд хозяйств, определяется по валовому сбору товарной продукции (форма 29-сх), умноженному на соответствующий коэффициент. Соотношение *основная продукция: побочная продукция* зависит от видового и сортового состава культур, урожайности, почвенных и погодных особенностей, условий питания и т. д. и может изменяться в значительных пределах.

Приняты следующие коэффициенты пересчета зерна и семян в солому, корне- и клубнеплодов в ботву:

- озимые зерновые культуры и зернобобовые культуры, кукуруза, просо – 1,2;
- яровые зерновые и гречиха – 1,0;
- рапс и другие крестоцветные культуры – 3,0;
- сахарная свекла – 0,5;
- картофель – 0,2;
- кормовые корнеплоды – 0,25.

Расчет баланса соломы производится по следующим статьям.

Общий выход соломы (C_1):

$$C_1 = B_1K_1 + B_2K_2 + B_3K_3 + \dots + B_nK_n,$$

где B – валовой сбор зерна или семян различных культур;

K – коэффициент пересчета в солому.

Как уже было упомянуто, одной из технологических проблем при использовании соломы является высокий процент содержания в биомассе ряда химических элементов стимулирующих разрушение котлоагрегатов и одним из методов снижения уровня концентрации щелочных металлов и соединений хлора является их вымывание.

На основании результатов наших исследований были построены регрессионные зависимости содержания элементов в золе соломы от ее влажности за два года (2012–2013 гг.). Уравнения регрессии позволяют констатировать высокую степень корреляционной зависимости влажности соломы и содержания в ней таких элементов как сера и хлор. Коэффициенты детерминации влажности соломы зерновых культур и содержания в ней серы и хлора за два года исследований превышали 0,7. Результаты измерения зависимости содержания серы в соломе ржи и хлора в соломе тритикале представлены на рис. 1 и 2.

Коэффициент детерминации для уравнения линейной регрессии зависимости содержания серы в соломе ржи от ее влажности составил 0,73, содержания хлора в соломе тритикале 0,71.

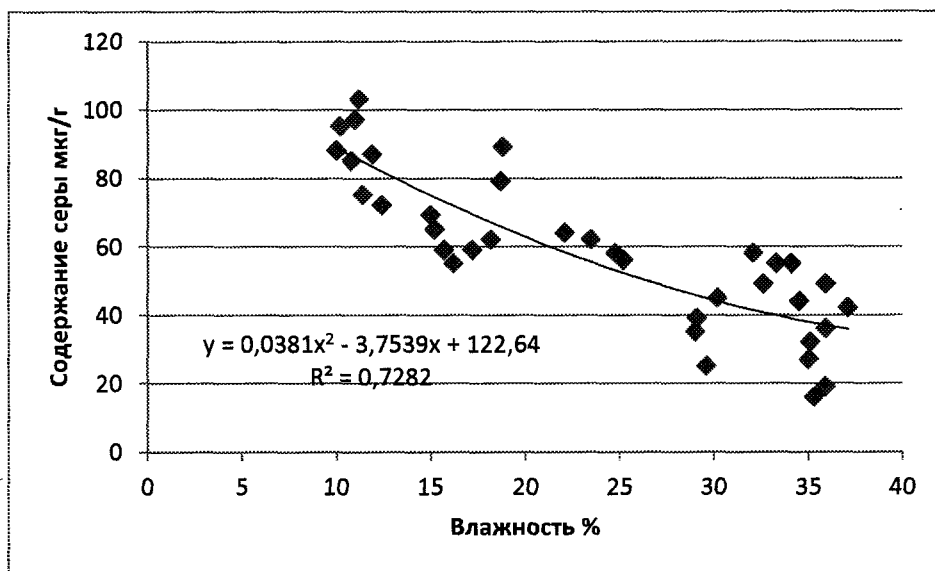


Рисунок 1 – График зависимости содержания серы от влажности соломы ржи

Полученные величины свидетельствуют, что существует высокий уровень зависимости содержания серы и хлора в соломе зерновых культур от ее влажности.

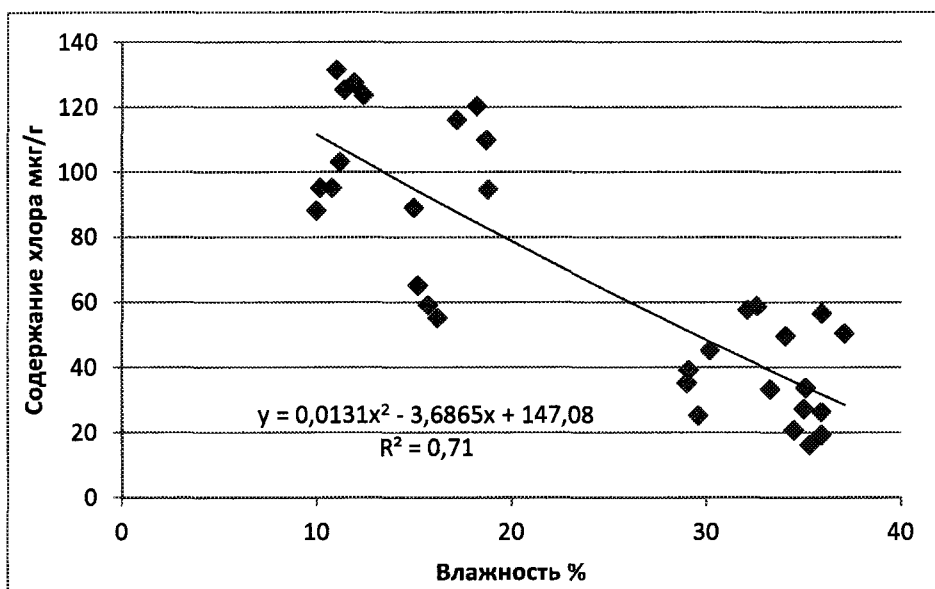


Рисунок 2 – График зависимости содержания хлора от влажности соломы тритикале

Для калия означенная тенденция выражена в меньшей степени. Коэффициенты детерминации для уравнения регрессии, зависимости влажности соломы зерновых культур от содержания калия, составляли от 0,3 до 0,4, что означает среднюю степень зависимости. Уравнение регрессии зависимости содержания калия от соломы ржи представлено на рис. 3.

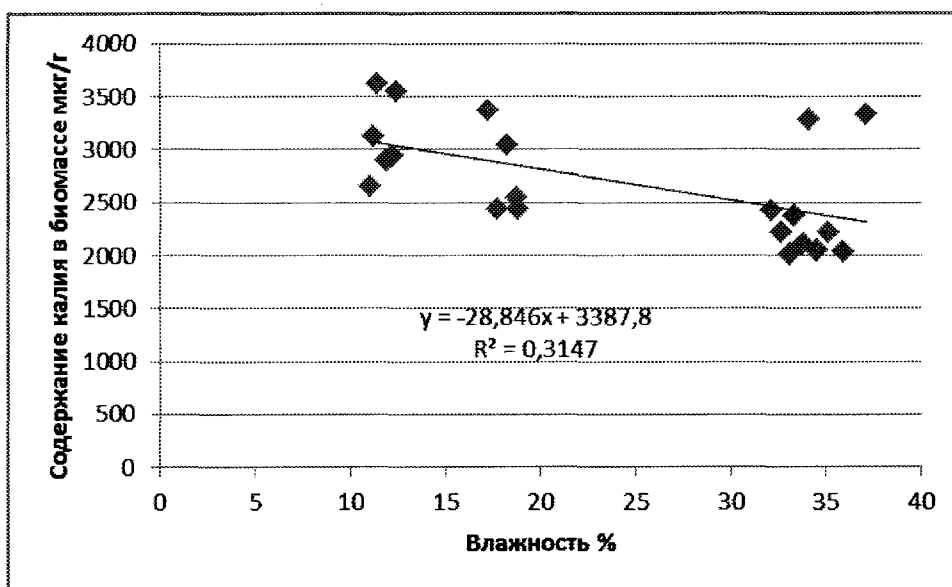


Рисунок 3 – График зависимости содержания калия от влажности соломы ржи

Коэффициенты детерминации зависимости содержания элементов от влажности соломы льна составили для калия – 0,11; серы – 0,23 и хлора – 0,33.

Таким образом, вымывание является эффективным методом для снижения содержания в соломе, прежде всего таких элементов как сера и хлор.

Еще одним способом решения данной проблемы является получение пеллет из соломы для дальнейшего сжигания.

Обязательным этапом в данном случае является измельчение соломы. В настоящее время существуют установки, которые могут измельчать солому непосредственно в тюках или рулонах (рис. 4).

Биомасса для изготовления пеллет должна иметь определенные стандарты. Размер измельченных частиц не должен превышать 4 мм для производства обычных пеллет и 1,5 мм для пеллет первого класса. После измельчения до необходимых размеров биомассы поступает непосредственно на пеллетную линию. Схема пеллетной линии представлена на рис. 5.



Рисунок 4 – Измельчитель биомассы с транспортером и сепаратором камней

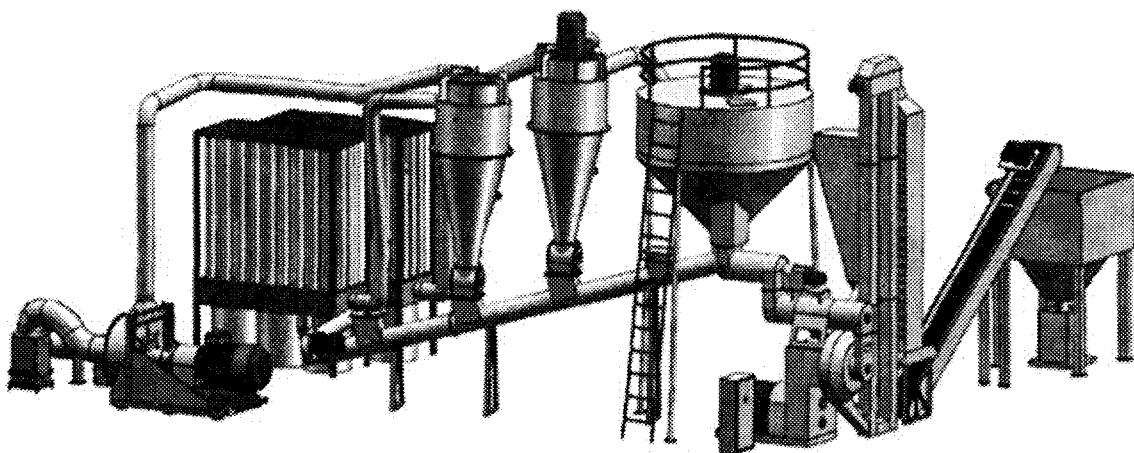


Рисунок 5 – Линия по изготовлению пеллет из соломы

Линия включает ряд отдельных агрегатов. Обязательным условием является фильтрация измельченной биомассы. Это необходимо как для более качественного изготовления пеллет, так и с целью защиты персонала от мелкой пыли, которая может стимулировать ряд заболеваний. Оборудование состоит из циклона первичной очистки, циклона вторичной очистки и специального фильтра который накапливает пыль и периодически очищается. Материал для гранулирования в начале поступает в смеситель, где он обрабатывается водой или паром. Эта операция необходима, потому что влажность биомассы для изготовления качественных и прочных пеллет не должна превышать 14% и быть ниже 8%. Например, для опилок при высокой влажности необходимо предусмотреть дополнительную сушку. Влажность соломы, если она поступает на линию сразу после уборки, как правило, не превышает 14%. Подготовленная таким образом биомасса поступает в пресс-гранулятор, который является основой пеллетной линии. Далее пеллеты поступают в блок охлаждения и фасовки.

Заключение

Таким образом, решение одной из основных технологических проблем использования соломы в качестве биотоплива, а именно снижение эффективности работы энергетических установок в результате зашлаковывания труб и коррозии металлических поверхностей возможно двумя путями. Вымывание химических элементов, таких как калий, хлор и т. д. возможно как искусственным так и естественным путем при выдержке соломы в течение некоторого времени в поле после уборки. Недостаток такого метода это увеличение влажности соломы, что снижает ее удельную теплоту сгорания. Пеллетирование соломы также имеет как недостатки, так и преимущества. К несомненным преимуществам относится удобная упаковка, транспортировка и использование пеллет, снижение коли-

чества золы и пыли при утилизации. Недостаток – увеличение себестоимости единицы энергии производимой из биомассы соломы. Рациональное решение в пользу какого-либо из указанных методов должно быть принято в каждом конкретном случае с учетом качества биомассы, наличия оборудования, рыночных условий.

Список использованной литературы

1. Гелетуха, Г. Г. Обзор технологий сжигания соломы с целью выработки тепла и электроэнергии. / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железная // Электротехнологии и ресурсосбережение, 1998. – №6. – С. 3–11.
2. Касьянов, А. С. Энергетический потенциал соломы как биотоплива / А. С. Касьянов // Электронный научный журнал. Инженерный вестник Дона. № 1, 2014.
3. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов / Ин. аграр.экономики НАН Беларуси; рук. разработ. В. Г. Гусаков [и др.] – Минск: Бел. Наука, 2005. – 460 с.
4. Родькин, О. И. Производство возобновляемого биотоплива в аграрных ландшафтах: экологические и технологические аспекты: монография/ О. И. Родькин. – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2011. – 212 с.
5. Равич, М. Б. Топливо и эффективность его использования / М. Б. Равич. – Наука, 1971. – 358 с.
6. Energy 21 the Danish government's action plan for energy // Danish Ministry of Environment and Energy, Copenhagen, 1996. – 125 p.
7. Evald, A. Agricultural biomass – experiences from Denmark, [Electronic resource]. 2011. – Mode of access: http://nsac.ca/fens/ag_biomass/1_Anders_Evald_Framing_the_Opportunity.pdf. Date of access 28.04.2014
8. Evald, A. Biomass for energy – Danish Solutions. / A. Evald // Copenhagen: Danish Energy Agency. – 1996. – 38 p.
9. Obernberger, I. Ash related problems in biomass combustion plants / I. Obernberger /. – Technische Universiteit Eindhoven, 2005. – 31 p.
10. Renewables Information 2011 International Energy Agency. IEA Statistics OECD / [Electronic resource]. – 17 Aug 2011 – Mode of access: http://www.oecd-ilibrary.org/energy/renewables-information_20799543. Date of access 28.04.2014
11. Straw for energy production. Technology – Environment – Economy / The center for biomass technology – 1998. – 53 p.

O. I. Rodzkin

THE TECHNOLOGICAL ASPECTS OF STRAW UTILIZATION AS A BIOFUEL

The article covers the results of investigations on assessment of technological aspects of straw using as biofuel. One of the key problems for straw firing it is high contents of several chemicals in straw biomass. At the results of this the efficiency of energy station exploitation are decreasing. It is possible to solve this problem by means of watering of biomass or using straw for pellet production. Both methods has as benefit so and shortage.