

*Шановалов Виктор Иванович, доктор технических наук, профессор  
профессор кафедры сельскохозяйственных машин  
Луганский государственный аграрный университет  
Россия, г. Луганск*

*Вольвак Сергей Федорович, кандидат технических наук, профессор  
профессор кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК  
Белгородский государственный аграрный университет  
Россия, г. Белгород*

## **НЕЗЕРНОВАЯ ЧАСТЬ УРОЖАЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР КАК ТОПЛИВО**

**Аннотация:** В статье рассматривается незерновая часть урожая зерновых культур (солома и полова) как возобновляемое топливо. Проанализированы способы использования энергии соломы и половы как топлива. Указаны пути совершенствования технологических процессов и конструкций энергетических установок. Использование соломы и половы в качестве топлива позволит существенно снизить расход дорогих ископаемых топлив: газа, нефти, угля.

**Ключевые слова:** незерновая часть урожая зерновых культур, солома, полова, возобновляемое топливо, способы использования энергии.

**Annotation:** The article considers the non-grain part of the grain crop (straw and chaff) as a renewable fuel. The ways of using the energy of straw and flooring as fuel are analyzed. The ways of improving technological processes and designs of power plants are indicated. The use of straw and chaff as fuel will significantly reduce the consumption of expensive fossil fuels: gas, oil, coal.

**Keywords:** non-grain part of the grain crop, straw, chaff, renewable fuel, methods of energy use.

Растущий дефицит ископаемых видов органического топлива и постоянный рост их стоимости обостряют актуальность использования альтернативных и местных видов топлива [1]. Поставленная задача замены 25% источников энергии местными видами топлива является чрезвычайно важной [1]. В определённых условиях таким источником тепловой энергии может являться солома сельскохозяйственных растений [1]. Энергетическая ценность соломы по принятым оценочным показателям весьма высокая [1; 2; 3].

Теплотворная способность 1 т сухого вещества соломы эквивалентна 445 кг сырой нефти. По показателю теплотворности пшеничная солома (15,5 МДж/кг) приближается к дровам (14,615,9 МДж/кг) и превосходит бурый уголь (12,5 МДж/кг) [4]. В условиях Германии солома с 1 га при использовании для сжигания способна заменить 12001600 л жидкого топлива. При выходе соломы 3 т/га в ней содержится энергия, эквивалентная находящейся в 1000 л мазута или в 2,7 тыс. м<sup>3</sup> природного газа [5]. По данным исследований, проведенных в Швеции, получаемая из соломы энергия в ряде случаев дешевле энергии жидкого топлива [3].

В Республике Польша часто в качестве топлива используют древесные отходы и солому. Общее количество котлов для сжигания подобного топлива превышает 500 единиц с общей мощностью свыше 500 МВт. Среди объёмов энергии, получаемой в Польше из биомассы, солома и другие растительные остатки составляют более 46%. В Дании работают более 20 тысяч тепловых установок на соломе, и на каждой сжигают 1020 т соломы в год. Имеется положительный опыт использования соломы на топливо в различных странах мира [5].

Солому и полову в виде незерновой части урожая (НЧУ) получают при уборке урожая зерновых культур в качестве попутного, возобновляемого урожая. НЧУ в настоящее время практически не используется: запахивается в измельчённом виде в почву или сжигается.

При годовом сборе урожая зерна, например в Луганском регионе, в

размере 1 млн т при соотношении зерна к НЧУ 1:1,5 попутно получают примерно 1,5 млн т незерновой части урожая – соломы и половы, которые представляют собой ежегодно возобновляемое топливо, использование которого позволило бы существенно снизить расход дорогих ископаемых топлив: газа, нефти, угля.

К незерновой части урожая относится надземная часть зерновых растений, остающихся после уборки зерна. К соломе принято относить крупные части стеблей и листьев, а к полове (мякине) части колоса, то есть стержни, плёнки, ости и мелкие части листьев [6–9]. К полове относят и сбоину (короткую солому), идущую после молотильного аппарата и соломотряса зерноуборочного комбайна с зерновым ворохом на очистку комбайна. Выход половы в среднем составляет 20–25 % от НЧУ.

По имеющимся оценкам, общая энергия 1 кг достаточно сухой для горения соломы составляет около 18 мегаджоулей (МДж). Однако в соломе после уборки всегда есть влага, и теплота, расходуемая на испарение этой влаги, уменьшает чистый выход энергии из этого материала. Например, при влажности 16% общую энергию нужно уменьшить на 2,26 МДж/кг и чистая энергия составит около 15,75 МДж/кг [10]. В опытах, проведенных в США, было измерено, что пшеничная солома при влажности около 7% содержит около 7000 британских тепловых единиц на фунт, что эквивалентно 16,25 МДж/кг [10]. Это примерно вдвое меньше, чем в угольном брикете той же массы, и втрое меньше, чем в дизельном топливе [10]. Содержание энергии в остатках урожая изучалось и в других частях США. Так, в Миннесоте было подсчитано, что на средней ферме общее потребление энергии составляет примерно 4,5 млн МДж в год, тогда как в остатках урожая содержится около 40 млн МДж [10], что примерно в 9 раз больше потребностей фермы в энергии [8]. В Дании определённое количество соломы, в соответствии с согласованными контрактами, поставляется на котельные и ТЭЦ для производства энергии [10]. Учёные Канзасского университета занимались поиском альтернативных источников энергии для местных муниципальных электростанций, потому что снабжение природным газом и нефтью стало более дорогим и менее надёжным. Они нашли, что

издержки на сбор соломы в радиусе около 64 км составляют от 1,8 до 2,5 долларов на 1000 МДж, так что солома может почти конкурировать с нефтью и газом. Однако при этом не учитывалась плата работникам сельского хозяйства за солому, и предполагалось, что солома будет сжигаться в бойлерах нового типа. Пока что солома остаётся неэкономичной как топливо, но она может стать экономичной, если ископаемое горючее станет более дорогим [10].

Вот где скрыты дешёвые, ежегодно возобновляемые, топливные резервы, которые целесообразно использовать. По имеющимся данным 8,6 кг соломы дают около 1 кВт·ч (3,6 МДж) энергии. Так, например, в Луганском регионе при выращивании, уборке и попутном получении примерно 1,5 млн т НЧУ в год, аккумулируется огромная неиспользуемая энергия, примерно 175 млн кВт·ч энергии. То есть в регионе можно с успехом отапливать дешёвым топливом, например, школы, больницы, дома, производственные помещения и резко снизить потребление газообразного, жидкого и твёрдого топлива, получив значительный экономический эффект.

Однако в настоящее время незерновую часть урожая в основном запахивают в почву в виде органического удобрения или сжигают. Очень небольшая часть НЧУ используется в животноводстве для скармливания животным и на подстилку.

Часть энергии, накопленной растениями миллионы лет назад, сконцентрировалась под геологическими напластованиями в некоторых местностях земного шара и превратилась в ископаемое горючее – уголь, нефть, газ. Это горючее дало человеку удобный источник энергии, особенно для двигателей внутреннего сгорания, и в настоящее время доступные месторождения интенсивно исчерпываются.

Солома оказывается самым дешёвым видом топлива по показателю стоимости единицы получаемой энергии [1]. Только при использовании в качестве топлива соломы рапса, ежегодный выход которой предполагается в количестве около 400 тыс. тонн, можно получить тепловую энергию, эквивалентную получаемой от сжигания 134 тыс. тонн мазута, или 180 тыс. м<sup>3</sup>

природного газа. В денежном выражении экономия может составить 22,328,6 млрд рублей, или 10,313,2 млн USD. Кроме этого, следует учитывать возможность снижения негативных экологических аспектов сжигания ископаемых топлив с выделением большого количества углекислого газа в окружающую среду [1].

В связи с демографическим взрывом и всё ускоряющемся развитии цивилизации, дефицитом продуктов питания и сырья, площади под посевы зерновых культур должны постоянно увеличиваться, а вместе с ними и запасы незерновой части урожая (соломы, половы), что настоятельно требует изыскания рациональных способов и технических средств уборки и использования НЧУ как топлива при дефиците и дороговизне газа, нефти и угля.

Проблема использования НЧУ на топливо должна решаться комплексно, путём разработки комплексов машин по уборке всего биологического урожая зерновых культур [6, 11] и создания эффективного оборудования для получения измельчённых, пылевидных, брикетированных и гранулированных продуктов из НЧУ и сжигающих топок с автоматизацией их загрузки.

Анализ существующих способов использования возобновляемых и нетрадиционных источников энергии [12; 13; 14; 15] показал, что проблема сейчас состоит в том, как извлекать и концентрировать энергию из ежегодно возобновляемых источников углеводов, в том числе и из незерновой части урожая (соломы и половы), в условиях продолжающегося пока доминирования со стороны источников минеральных углеводородов.

Можно ожидать, что, по мере того как разработка ископаемых горючих материалов будет становиться всё дороже, способы использования энергии растений, НЧУ будут совершенствоваться и становиться более экологичными.

Некоторые возможные способы использования энергии незерновой части урожая зерновых культур и применяемые конструкции энергетических установок приводятся ниже.

#### 1. Сжигание НЧУ в отопительных установках.

Простейший способ использования энергии НЧУ – это сжигание её для

непосредственного местного обогрева жилых и производственных помещений с использованием отопительных установок в виде топок. Такие топки выпускались и использовались в отдельных районах Дании и Великобритании, Германии, Прибалтики, Белоруссии. По имеющимся сообщениям в настоящее время в указанных странах разработаны, изготовлены и эксплуатируются отдельные образцы отопительных установок (топок) для сжигания НЧУ.

Простыми и перспективными энергетическими установками для сжигания соломы являются, например, блоки SKELHOJE немецкой фирмы АММАС [1].

Анализ известных конструкций отопительных установок показывает, что их можно классифицировать, например, по способу сжигания НЧУ:

- а) в чистом виде;
- б) в измельчённом виде;
- в) в виде тюков, полученных от пресс-подборщиков;
- г) в виде рулонов, полученных от рулонных пресс-подборщиков;
- д) в виде гранул, полученных от грануляторов.

При сжигании НЧУ в цельном виде и в виде тюков и рулонов загрузка топок осуществляется периодически и с применением ручного труда. Существенным недостатком таких топок является то, что для них не создана система автоматической подачи топлива и в них нужно постоянно поддерживать огонь, то есть следить за его наличием. Технологический процесс сжигания НЧУ в измельчённом виде, в виде брикетов и гранул, легче поддаётся автоматизации, исключает ручной труд и является перспективным направлением совершенствования отопительных систем.

Так как теплотворная способность соломы примерно вдвое меньше, чем у угля, и втрое меньше, чем у нефти и газа [6, 8], то НЧУ может конкурировать с ними как топливо для отопительных установок только в том случае, если она будет стоить соответственно в 2–3 раза меньше.

Однако трудности хранения НЧУ и неудобный способ её сжигания ограничивают применение таких отопительных установок, к тому же ими могут пользоваться в основном зерносеющие районы.

Выброс частиц из топок для соломы можно свести к минимуму, применяя эффективные способы сгорания и соответствующие фильтры. Существенное преимущество соломы как топлива состоит в том, что в продуктах её сгорания содержится мало загрязняющей воздух серы (5–6%).

2. Брикетирование и гранулирование НЧУ перед её сжиганием в отопительных установках.

Предпринималось много попыток сделать обращение с НЧУ (соломой) более удобным, чтобы её можно было бы сжигать контролируемым способом, применив автоматизированные отопительные установки. Из-за низкого объёмного веса солома требует так же больших затрат на её транспортирование к местам использования. Одним из способов решить вышеуказанные проблемы является брикетирование и гранулирование НЧУ. В основном также, например, как брикетируют торф или бурый уголь в разных странах, где эти материалы служат топливом.

Брикеты или гранулы, полученные этим способом, могут иметь плотность каменного угля и сыпучесть. Эти характеристики важные для автоматического отопления и транспортирования на большие расстояния при продаже брикетов и гранул. Однако этот процесс сравнительно дорог, но в странах, не имеющих месторождений ископаемых горючих материалов, брикетирование соломы уже применяется и выпускаются машины для брикетирования НЧУ.

3. Измельчение, размол НЧУ для обеспечения её сжигания в отопительных установках.

Для обеспечения автоматического отопления (подачи НЧУ в топку) солому можно измельчать на частицы до 30–40 мм или размалывать в пыль, которые можно вдвухать в специальное приспособление топки. Известно, что соломенная пыль хорошо сгорает, а взрывоопасность её невысокая. Недостатком этого способа является то, что окончательная стоимость НЧУ, как горючего продукта, увеличивается за счёт стоимости машин и энергии, необходимых для измельчения и размола и это делает её менее выгодной по сравнению с минеральными горючими продуктами.

#### 4. Получение метана из НЧУ.

Один из вариантов перевода энергии соломы в удобную для пользования форму – превращение её в метан, важную составляющую часть природного газа. Образование метана представляет собой процесс, происходящий в основном в два этапа: определённая группа микроорганизмов превращает сахар, целлюлозу, белки и другие компоненты органических веществ в летучие жирные кислоты; последние, в свою очередь, превращаются затем в метан и двуокись углерода. Этот технологический процесс может протекать как периодически, так и непрерывно, при этом может высвободиться от 80% до 90% энергии органических отходов [6, 8]. Часть выделяющийся энергии может понадобиться для подогрева реагента в холодную погоду с целью активизации деятельности бактерий для образования метана.

Описанный способ получения метана требует дальнейших исследований и конструктивно-технологических разработок. Производство метана из НЧУ в будущем вполне может стать экономичным, если цены на природный газ будут и далее расти. Целесообразна разработка малогабаритной установки для получения метана из НЧУ, которая полностью удовлетворит запросы фермерского хозяйства, отдельного жилого дома в сельской местности.

#### 5. Получение тепла методом бактериального сбраживания НЧУ.

Извлечь энергию из солоmistых продуктов можно наиболее простым способом – воздействовать на них бактериями. Когда в животноводческих помещениях используют для подстилки солому, то к ней добавляется с навозом и мочой азот, а это создаёт благоприятные условия для размножения микроорганизмов, которые разлагают соломенную подстилку, выделяя при этом много тепла. Это тепло согревает как подстилку, так и воздух в животноводческих помещениях и предполагается, что, во многих случаях, благодаря этому экономятся корма особенно в холодный зимний период. Принцип использования соломы и прочих органических материалов с навозом и мочой для получения «тёплого ложа» известен давно, и он с успехом применялся и применяется в сельском хозяйстве. Он позволяет уменьшить расход

дефицитного корма на нагрев животных.

Проведенный анализ показывает, что в условиях демографического взрыва, ускорения развития цивилизации, дефицита продуктов питания и сырья возникает потребность в увеличении площадей под посевы зерновых культур, что настоятельно требует изыскания рациональных способов и технических средств уборки и использования НЧУ как топлива при дефиците и дороговизне газа, нефти и угля.

При этом проблема уборки и использования на топливо незерновой части зерновых культур для получения экономического эффекта должна решаться комплексно, путём разработки комплексов машин по уборке всего биологического урожая зерновых культур и создания эффективного оборудования для получения измельчённых, пылевидных, брикетированных и гранулированных продуктов из НЧУ и сжигающих топок с автоматизацией их загрузки.

#### **Библиографический список:**

1. Возможности использования соломы сельскохозяйственных растений в качестве топлива. [Электронный ресурс]. URL: [https://vuzlit.com/1193370/vozmozhnosti\\_ispolzovaniya\\_solomy\\_selskohozyaystvennyh\\_rasteniy\\_kachestve\\_topliva](https://vuzlit.com/1193370/vozmozhnosti_ispolzovaniya_solomy_selskohozyaystvennyh_rasteniy_kachestve_topliva) (дата обращения: 18.09.2022).

2. Ангилеев, О. Г. Комплексная утилизация побочной продукции растениеводства / О. Г. Ангилеев. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 160 с.

3. Методические рекомендации по определению показателей энергоёмкости производства сельскохозяйственной продукции. – М.: ВИЭСХ, 1990.

4. Определение энергетической эффективности механизации растениеводства: метод. указ. / Бел. гос. с.-х. акад.; сост. А. В. Клочков, О. С. Клочкова. – Горки, 1985. – 28 с.

5. Итинская, Н. И. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / Н. И. Итинская. – М.: Колос, 1969. – 260 с.

6. Шаповалов, В. И. Механизация уборки незерновой части урожая зерновых культур путём разработки и внедрения в производство гибких технических средств к зерноуборочным комбайнам / В. И. Шаповалов. – Луганск: Издательство «Світлиця», 2002. – 283 с.

7. Герасимов, Н. В. Рационально использовать солому и полосу / Н. В. Герасимов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1969. – № 9. – С. 33-35.

8. Стейнифорт, А. Р. Солома злаковых культур. Пер с английского / А. Р. Стейнифорт. – М.: Колос, 1983. – 191 с.

9. Шевченко, С. И. Механизация уборки соломы / С. И. Шевченко. – М. Сельхозиздат, 1963. – 145 с.

10. Мишин, М.М. Совершенствование технологии уборки незерновой части урожая с разработкой режимов и параметров установки для изготовления утеплительных плит : Дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 : – Мичуринск, 2004. – 137 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dslib.net/selxoz-mashyny/sovershenstvovanie-tehnologii-uborki-nezernovoj-chasti-urozhaja-s-razrabotkoj-rezhimov.html> (дата обращения: 12.10.2022).

11. Шаповалов, В. И. Комплексы машин для поточной уборки зерновых культур / В. И. Шаповалов. – М.: Колос, 1967. – 112 с.

12. Вольвак, С. Ф. Использование возобновляемых источников энергии в России / С. Ф. Вольвак, М. В. Вольвак, В. А. Суровцев // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 26–27 ноября 2018 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2018. – С. 110-114. EDN YUGDKP.

13. Вольвак, С. Ф. Нетрадиционные источники энергии в сельском хозяйстве / С. Ф. Вольвак, М. В. Вольвак, В. А. Суровцев // Энергосберегающие технологии в АПК : сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Ярославль, 05 декабря 2018 года. – Ярославль: Ярославская государственная

сельскохозяйственная академия, 2019. – С. 23-26. EDN QMRIJD.

14. Вольвак, С. Ф. Возобновляемые и нетрадиционные источники энергии для сельскохозяйственного предприятия / С. Ф. Вольвак, Д.Н. Бахарев, А.А. Добрицкий // Цифровые и инженерные технологии в АПК : Материалы Национальной научно-практической конференции, Майский, 25 ноября 2021 года. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2022. – С. 17-20. EDN NZDYJG.

15. Вольвак, С. Ф. Использование возобновляемых источников энергии / С. Ф. Вольвак // Вызовы и инновационные решения в аграрной науке : Материалы XXVI Международной научно-производственной конференции, Майский, 25 мая 2022 года. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2022. – С. 131-132. EDN NFQQJW.