

УДК 620.9:573:574

## Экономические аспекты производства возобновляемой энергии из древесины быстрорастущей ивы

Родькин О. И. [Aleh.rodzkin@iseu.by](mailto:Aleh.rodzkin@iseu.by)

Международный государственный экологический университет им. А.Д. Сахарова, Беларусь  
220070, г. Минск, ул. Долгобродская, 23

*По прогнозам к 2050 году около 30% энергетических потребностей на планете будут обеспечиваться за счет вклада биоэнергетики. Среди источников биотоплива значительный интерес вызывает быстрорастущая ива. Внедрение ивовых плантаций в производство требует комплексного экономического обоснования. В наших исследованиях выполнен расчет себестоимости производства древесины ивы на биотопливо на основе технологических карт. При традиционной технологии (уборка древесины прямым комбайнированием с измельчением биомассы) себестоимость биотоплива полученного с одного гектара ивовых плантаций составляет около 800-900 долларов в год. Структура затрат показывает что около 30% составляют расходы на топливо необходимое в первую очередь для дополнительной сушки древесины. Применение технологии основанной на уборке древесины с одновременным прессованием и сушкой в полевых условиях позволяет снизить себестоимость на 20-25%. Дальнейшее снижение себестоимости возможно за счет использования собственного посадочного материала и увеличения площадей под плантациями ивы.*

**Ключевые слова:** биоэнергетика, экономические аспекты, биотопливо, быстрорастущая ива, рентабельность.

---

## Economic aspects of energy production on the base of wood of fast growing willow

Rodzkin O.I.

International Sakharov Environmental University, Belarus  
220070, Minsk, Dolgobrodskaya str., 23

*In accordance with prognosis to 2050 about 30% of energy demand in the world will be covered by means of bioenergy. One of the perspective sources of biofuel is fast growing willow production. One of the key problems that limit active introduction of energy crops is economic grounding. The article covers some economic calculation of willow biomass production fulfilled on the base of adaptive technology. The cost of willow wood obtained by*

*means of direct harvesting and additional drying of biomass consist of 800-900 \$/per year. Our accounts showed that about 30% is cost of fuel using for wood drying. In our further calculations we consider another technology with application of baler machines that let us dry biomass in the field. Application of this technology enables to decrease cost of willow wood production on 20-25%. It is necessary to increase size of plantation and use owned willow cutting for additional decreasing of cost.*

**Key words:** willow biomass, bioenergy, profit, economical aspects.

---

## **Введение**

Проблема энергообеспеченности в ближайшем будущем станет одной из наиболее значимых как на глобальном, так и на местном уровне особенно для стран ограниченных в собственных ресурсах. Растущие темпы потребления ископаемых источников энергии и ограниченность их запасов диктуют необходимость активного внедрения альтернативной энергетики. В соответствии с прогнозом, разработанным мировым энергетическим советом (МЭС), в 2050 г. потребление энергии на планете возрастет более чем в 2 раза, при этом более 40 % энергетических потребностей будет обеспечиваться за счет возобновляемых источников энергии, в том числе 32 % составит вклад биоэнергетики [3].

Биоэнергетика основана на использовании биотоплива, т. е. носителя, который хранит энергию, полученную из биомассы. Для производства биотоплива используется широкий спектр источников биомассы. Например, для получения электричества, тепла или моторного топлива можно использовать потенциальные продукты питания, отходы деревообработки и сельскохозяйственных растений, специальные энергетические культуры и др. Использование сельскохозяйственных угодий для производства биомассы на энергетические цели имеет неуклонную тенденцию к росту. В свою очередь развитие такого направления требует тщательного и комплексного обоснования. В настоящее время дискуссионным является вопрос целесообразности расширения площадей под посадки энергетических культур. Согласно отчету, опубликованному Международным исследовательским институтом продовольственной политики (International Food Policy Research Institute), в 29 странах мира число голодающих остается на тревожном уровне, а в 2009 г. около 1 млрд человек страдали от недоедания. Страны – мировые лидеры еще очень далеки от выполнения задачи, поставленной в 1990 г. – уменьшить к 2015 г. число голодающих в два раза [6].

В 2005 г. для производства биотоплива и побочных продуктов на планете по данным ФАО использовалось примерно 14 млн га, что составило около 1 % от всей площади пашни. За последующие пять лет она увеличилась на 4–5 млн га и, по прогнозам, в течение ближайших десятилетий может возрасти до 50–70 млн га. В то же время рост площадей приходится в основном на страны южной Америки и Африки и в первую очередь обусловлен освоением новых земель, потенциал которых на планете оценивается более чем в 1000 млн га.

Выбор культур для производства энергии в первую очередь обуславливается климатическими условиями того или иного региона. Например, в южной Америке наиболее активно используется сахарный тростник, в северной Америке соя, в азиатском регионе эвкалипты и т.д. В Европе одним из наиболее перспективных направлений, как с экономической, так и с экологической точки зрения является сельскохозяйственное лесоводство, которое основано на использовании специальных быстрорастущих древесных насаждений. Изучение потенциала быстрорастущих подвидов и гибридов ивы, тополя, осины и других растений сегодня активно проводится в ряде зарубежных стран (Швеция, Финляндия, США, Канада, Польша и др.). В западной литературе существует специальный термин для таких плантаций – SCR (short rotation coppice). Они обеспечивают максимально эффективный выход биотоплива на 3-4 год с начала закладки производственной плантации. То есть это короткоцикловые посадки, и они кардинально отличаются от обычных плантаций таких пород как, например, ольха, ель или сосна которые убираются на биомассу через 15-20 лет. Быстрые темпы роста конечно возможны при использовании специальных сортов или клонов полученных путем сложной селекции [7,8].

Интерес к быстрорастущим древесным насаждениям в немалой степени обуславливается их высоким природоохранным потенциалом. В этой связи особый интерес вызывает ива, как растение способное произрастать в условиях повышенной увлажненности, на разных типах почв, в том числе характеризующихся низким уровнем плодородия и напротив высоким содержанием органических и минеральных загрязнителей.

Среднегодовой урожай при четырехлетней ротации ивы в соответствии с результатами, полученными в ряде зарубежных стран, может достигать 10–15 т древесины влажностью 10 % с га (Швеция, США, Канада). Однократно заложенная плантация может быть использована для получения 5–7 урожаев древесины без значительного снижения продуктивности.

Экологические преимущества посадок быстрорастущей ивы могут быть реализованы по нескольким направлениям. Например, сохранение биологического разнообразия, защита почв от водной и ветровой эрозии, снегозадержание, утилизация биогенных элементов, восстановление нарушенных и деградированных земель.

Наряду с экологическими преимуществами важнейшим аспектом, определяющим перспективы внедрения ивовых плантаций, является экономическое обоснование производства энергии из древесины. Этот вопрос рассматривался в ряде работ опубликованных в разных странах.

В условиях Швеции проводились исследования по оценке себестоимости биотоплива полученного на основе ряда энергетических культур. Стоимость продукции определялась на основе нескольких ключевых аспектов: непосредственно себестоимости производства, оплате за землю и оценке потенциального риска. Оплата за землю оценивалась с учетом возможности ее использования для производства зерновых культур. Расчеты проводились как для текущего момента, так и на перспективу на 10-20

лет. В результате исследований установлено, что при сложившихся в Швеции условиях наиболее низкая себестоимость имела место для ивы – 4-5 Евро за ГДж (гигаджоуль). Себестоимость энергии произведенной из биомассы тополя составила 5-5-6 €/ГДж, конопли – 8.6-9 €/ГДж, канареечника 6.4-7 €/ГДж, мискантуса – 7.9-8.45 €/ГДж, тритикале – 6.7-7.1 €/ГДж, и соломы – 0.1-3.8 €/ГДж. Результаты подтвердили значительный потенциал короткоцикловых посадок и особенно ивы [5].

Ивовые плантации за последние годы активно внедряются в Польше [3]. Е. Krasuska и Н. Rosenqvist изучали экономические аспекты использования ивы, мискантуса и тритикале на энергетические цели. Результаты исследования показали, что при сложившихся в Польше условиях рынка сельскохозяйственной продукции наиболее высокий потенциал имеет ива. Более того, в условиях нестабильности цен на рынке зерна, энергетические культуры являются вполне конкурентоспособными по отношению к зерновым. Себестоимость производства продукции на основе многолетних энергетических культур меньше подвержена колебаниям в сравнении с однолетними с/х культурами, в том числе зерновыми. В соответствии с ожидаемым ростом цен на биотопливо рынок энергетических культур должен стать еще более стабильным.

Публикация других исследователей посвящена вопросам обоснования оптимальной площади посадок для производства энергии на основе древесины ивы [2]. Авторы считают, что площади плантации 1-2 гектара достаточно для удовлетворения потребностей отдельных землевладельцев. В то же время для обеспечения экономической целесообразности минимальная площадь должна быть не менее 50 гектаров. Очень важным фактором стимулирующим производство так же является наличие рынка биотоплива на местном уровне. Развитие такого рынка уменьшает энергозависимость от внешних источников углеводородов, стимулирует занятость населения, прежде всего в сельской местности, обеспечивает гибкость производства для фермерских хозяйств.

Ряд вопросов связанных с экономикой производства древесины ивы на биотопливо изучался в условиях Литвы [9]. Было установлено, что одна тонна щепы древесины ивы обеспечивает выход энергии на уровне 9ГДж, что эквивалентно одной тонне торфа. Для обеспечения деятельности ТЭЦ мощностью 10 МВт (мегаватт) в течение отопительного сезона необходимо 1000-1200 гектаров ивовых плантаций. Авторы считают, что теоретически площади ивовых плантаций 100 000 гектаров достаточно для обеспечения тепловой энергией города с населением 1 миллион жителей. При этих условиях один гектар ивы должен обеспечивать выход биомассы в эквиваленте 680 Евро в год. Кроме того производитель должен иметь как минимум 340 Евро дополнительной прибыли которая необходима для компенсации издержек по производству древесины ивы. Например, только посадочный материал на площадь один гектар ивовых плантаций стоит около 520 Евро при плотности посадки 15000 черенков на гектар.

Таким образом, исследования по изучению экономической целесообразности возделывания ивы на биотопливо проводятся в разных странах. В данной публикации представлены экономические аспекты производства энергии из древесины ивы в условиях Республики Беларусь.

## Результаты исследований

### Обоснование расчетов

Как уже было отмечено, актуальной является проблема получения экономически оправданного урожая биомассы ивы на низкоплодородных землях, в частности песчаных и супесчаных почвах, деградированных торфяниках и т.д. Очевидно, что вывод плодородных почв из сельскохозяйственного оборота под плантации ивы вряд ли может быть обоснован. Поэтому в наших экспериментах основной акцент был сделан на изучение потенциала использования в первую очередь загрязненных и низкоплодородных почв.

Наши исследования по возделыванию быстрорастущей ивы в Республике Беларусь проводятся с 2005 года. Экспериментальные данные, полученные на различных типах почв в Могилевской, Минской, Гродненской и Брестской областях, подтверждают возможность получения высоких урожаев древесины ивы, с учетом климатических особенностей страны и сложившейся системы сельскохозяйственного производства [1].

В частности полевые эксперименты были заложены на выработанных и деградированных торфяниках, суглинистых и песчаных почвах загрязненных радионуклидами, связных супесчаных почвах.

При трехлетнем цикле производства древесины на лучших участках были получены следующие результаты:

1. Выработанные торфяники. В пересчете на 10% влажность выход древесной биомассы составил 7620 кг. сухой древесины с гектара в среднем за три года.

2. Суглинистые почвы. При трехлетнем цикле выращивания выход древесной биомассы составил в пересчете на 10% влажность 9100 кг древесины с гектара в среднем за год. При плотности загрязнения участков радиоцезием до 8 Ки/км<sup>2</sup> уровень загрязнения древесины не превышал 12 Бк/кг при Республиканском допустимом уровне (РДУ 99) не выше 740. По результатам исследований были составлены прогнозные модели загрязнения древесины радионуклидами на срок до 25 лет.

3. Песчаные почвы. На протяжении 2 лет экспериментов не удалось обеспечить хорошую приживаемость и развитие растений. Большой процент выпадений обусловлен аномально высокими температурами и недостатком осадков на протяжении вегетационных периодов 2007-2009 годов. Таким образом, производство древесины ивы на песчаных почвах является достаточно рискованным направлением.

4. Деградированные торфяники. В пересчете на 3 летний цикл выращивания выход древесной биомассы составил в пересчете на 10% влажность более 12000 кг древесины с гектара в среднем за год.

5. Связные супесчаные почвы. Товарный выход древесины по результатам экспериментов составил 10-12 тонн в среднем за год.

По результатам экспериментов была предложена технология возделывания ивы адаптивная к конкретным почвенно-климатическим условиям. Технология легла в



основу разработки и составления технологических карт возделывания культуры, которые в свою очередь использованы для выполнения экономических расчетов.

Технологическая карта включает ряд основных блоков:

- Подготовка участка и посадка черенков ивы
- Уход за посадками
- Уборка древесины
- Транспортировка
- Сушка древесины (выборочно).

Для расчета экономического обоснования использовался ряд базовых характеристик:

#### **Урожайность (выход древесины ивы).**

Как уже было представлено биомасса ивы традиционно убирается каждые три года, начиная с четвертого от закладки плантации. Древесина ивы при уборке имеет достаточно высокую влажность (до 50%) и поэтому при расчетах используется норматив относительно сухой древесины (10%). Выход продукции рассчитывается на год и переводится в тонны условного топлива (т у. т) и другие энергетические единицы. В соответствии с полученными результатами расчеты производились на урожайность 10 тонн условно сухой биомассы, что примерно эквивалентно трем тоннам условного топлива в год. При расчетах связанных с уборкой и транспортировкой биомассы использовалась естественная (сырая) древесина. Примерный выход продукции составляет 50-60 тонн с гектара при уборке или 20 тонн в год.

#### **Размер участка**

Данные зарубежных исследователей показывают, что от размера плантации прямо зависят результаты экономических расчетов. С учетом опубликованных результатов и на основании собственных расчетов был установлен минимальный размер участка позволяющий получать прибыль – 30 га. Эти обоснования будут представлены в дальнейших расчетах.

#### **Густота посадки (количество черенков ивы на гектар)**

Следует отметить, что данный показатель не является стабильным и во-многом зависит от схемы посадки. Традиционно за рубежом, ива на биотопливо высаживается ленточным способом с расстоянием между лентами - 150 см., между рядками в ленте - 75 см., и между растениями – 60 см. Таким образом, густота посадки составляет около 15 тысяч черенков на гектар. Такая схема во многом обусловлена сложившимися в стране технологиями. Например, картофель и другие пропашные культуры в северной Америке и странах ЕС высаживаются с расстоянием между рядами – 150 см. Под такое расстояние и настраивается (производится) сельскохозяйственная техника. Тем не менее, по сложившейся еще во времена СССР традиции в Беларуси, так же как и в России междурядное расстояние (и соответственно колея тракторов) составляет 140 см. Такая схема посадки обуславливает несколько большее количество черенков на гектар (до 18 000). Важное значение для расчетов имеет стоимость посадочного материала. Стоимость оригинального черенка ивы шведской селекции составляет около 0.1 цента. В

настоящее время в Беларуси внедрены собственные сорта сербско-белорусской селекции, что позволяет ориентироваться на стоимость черенка не более 0.05 цента.

### **Срок использования плантации**

Наши эксперименты проводятся с 2005 года, но в соответствии с данными зарубежных исследователей однократно заложенная плантация ивы позволяет получать не менее 7 урожаев без существенного снижения продуктивности. Таким образом, срок эксплуатации плантации в расчетах принимается за 22 года.

### **Основные эксплуатационные затраты**

Необходимые для расчетов базовые затраты установлены с учетом сложившихся в стране цен.

- Оплата труда механизаторов – 3 доллара в час
- Оплата неквалифицированных работников – 2 доллара в час
- Стоимость топлива – 0.86 \$/литр
- Стоимость минеральных удобрений от 150 до 400 долларов за тонну в зависимости от вида (калийные, азотные, фосфорные)
- Стоимость гербицидов (раундап, гезагард) в среднем составила 15 долларов за литр.

### **Амортизация техники**

Амортизационные отчисления рассчитывались на основе сложившейся практики производства в хозяйствах, где внедрены плантации быстрорастущей ивы. Как правило, срок использования техники (трактора, опрыскиватели, прицепы, измельчители биомассы и т.д.) рассчитывался на 10 лет. Дальше эта стоимость переносилась на гектар ивы из расчета времени (в часах) использования техники для производства (доработки) продукции. Это касается традиционной техники, которая может быть использована так же на других работах. Например, количество часов работы трактора в год в хозяйстве в среднем составляет 1500, плуга 960 и т.д. Все расчеты приводились к одному гектару, так как ива это многолетняя культура, посадка проводится один раз, уборка 7 раз, внесение удобрений 6 раз и т.д. Несколько иные расчеты принимались для специальной техники (сажалка и комбайн). Эти агрегаты могут использоваться только для плантаций ивы, соответственно годовая стоимость амортизировалась не на время работы, а на количество гектаров. Чем больше размер плантации, тем меньше норматив амортизационных отчислений.

### **Сушка и измельчение**

В наших расчетах представлены две технологии возделывания ивы.

*Традиционная.* При которой используется уборка прямым комбайнированием (комбайн типа CLAAS) с одновременным измельчением и дальнейшей доработкой. Недостатком является необходимость дополнительной сушки биомассы для снижения ее влажности, для чего требуются дополнительные ресурсы и соответственно финансы.

*Раздельная.* Биомасса срезается и убирается специальным прессом в тюки, с последующей сушкой в полевых (естественных) условиях, доработкой и измельчением.

Результаты расчетов будут представлены ниже.

### Стоимость техники и оборудования

Стоимость для расчетов бралась на основе сложившихся в Республике Беларусь на настоящий момент цен в долларовом эквиваленте. Стоимость специальной техники:

- Сажалка- Step 2-6A Modular (Швеция) – 12000 долларов
- Комбайн CLAAS (Германия) – 120 тысяч долларов
- Пресс Biobaler (Канада) – 105 тысяч долларов

### Результаты расчетов

По результатам наших расчётов при традиционной технологии себестоимость биотоплива полученного с одного гектара составляет около 800-900 долларов в год. Как уже упоминалось, выход продукции составляет около 50-60 тонн сырой биомассы с гектара раз в три года или в пересчете около 3 тонн условного топлива на гектар пашни в год. Таким образом, для обеспечения минимальной рентабельности стоимость полученной древесины ивы в пересчете на условное топливо должна быть не менее 300 долларов/т у. т

В настоящее время стоимость российского природного газа для Республики Беларусь составляет около 220 долларов за 1000 м<sup>3</sup> или 260 долларов в пересчете на т у. т, для западных стран соответственно 400 и 480 долларов. Стоимость древесных отходов (щепы) составляет 50-60 долларов за тонну, что в пересчете на годовое производство продукции примерно эквивалентно стоимости замещенных углеводов. В последнем случае серьезной проблемой является недостаточная развитость рынка биотоплива как в Беларуси, так и в России.

Представленные расчеты не позволяют однозначно ответить о рентабельности производства древесины ивы на биотопливо. Структура затрат показывает что при традиционной технологии возделывания (прямое комбайнирование с измельчением при уборке) основные статьи приходятся на амортизацию специальной техники и топливо.

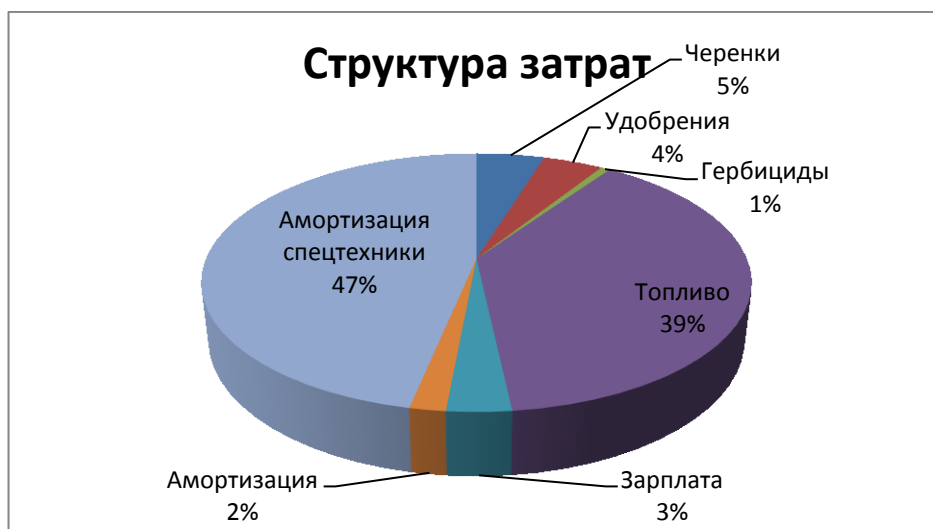


Рисунок 1. Структура затрат на производство биомассы ивы по материальным затратам



На следующей диаграмме представлена структура затрат по производству биомассы ивы основанная на видах работ.

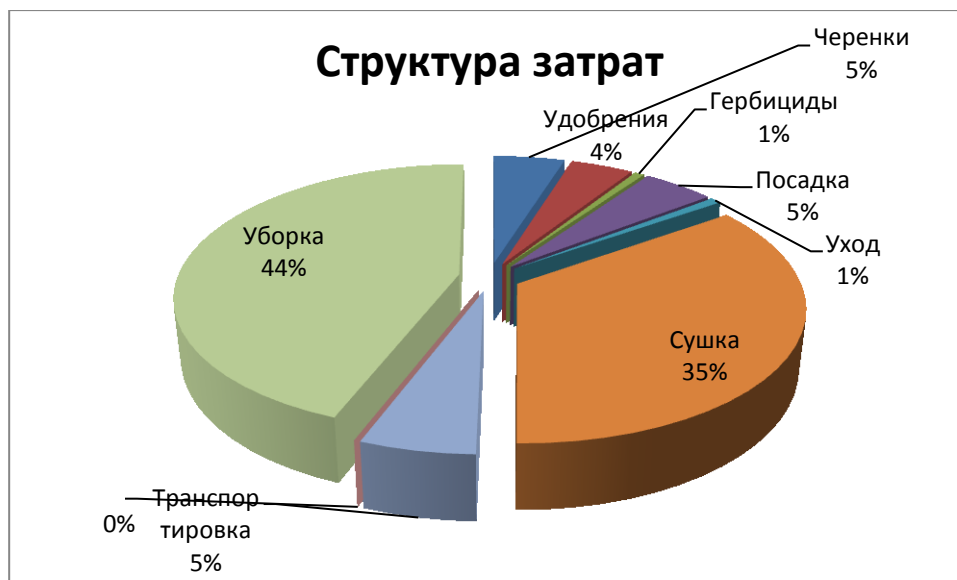


Рисунок 2. Структура затрат на производство биомассы ивы по видам работ.

При этих расчетах затраты на топливо, зарплату и амортизацию включались в стоимость того или иного вида работ: посадка, сушка и т.д. Очевидно, что высокая стоимость амортизации специальной техники обуславливается ценой уборочного комбайна, в то время как затраты на топливо обусловлены такой технологической операцией как сушка продукции до оптимальной для тепловых энергетических станций работающих на биомассе влажности (20-25%). Снижение влажности древесины по сравнению с естественной при уборке (50%) требует дополнительных затрат энергии.

С учетом сделанных выводов нами был проведен расчет себестоимости производства древесины ивы основанный на технологии предложенной компанией Anderson Group, Канада. Она заключается в уборке и одновременном прессовании древесины (любых видов деревьев), сушке в естественных условиях, транспортировке тюков и измельчении биомассы (рисунок 3).



Рис. 3. Плантация ивы после уборки с использованием пресса BioBaler (Фотография с сайта Anderson Group, CANADA: <http://grpanderson.com/>)

Расчеты показывают, что исключение такой операции как сушка позволяет снизить себестоимость продукции ивы с гектара в год до 500-600 долларов. При этом существенно меняется структура затрат.

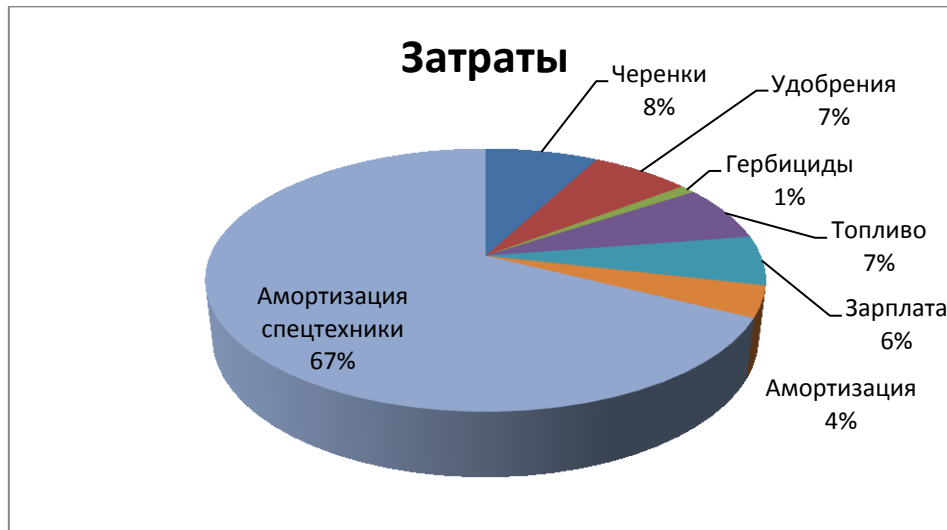


Рис. 4. Структура затрат на гектар плантации ивы в год при уборке прессом BioBaler.

Очевидно, что и в этом случае основная часть затрат связана с высокой стоимостью специальной техники, прежде всего комбайна. Как уже упоминалось, расчет амортизации проводился на гектар плантации, за базовый показатель бралась площадь 30 гектаров. Вместе с тем производительность комбайна (пресса) составляет 0.5-0.6 га в час или 5-6 гектаров за смену, а за сезон техника способна убрать сто и более гектаров. В

этом случае амортизационные затраты, так же как и себестоимость продукции можно существенно уменьшить.

### **Заключение**

Представленные в статье расчеты себестоимости производства энергии из древесины ивы имеют несколько условный характер. Они основаны не только на результатах собственных исследований, но и на данных опубликованных другими авторами и представленных на сайтах официальных производителей специализированной для посадки и уборки ивы техники. Это связано с отсутствием крупных промышленных плантаций ивы возделываемой на энергетические цели и естественно специальной техники в Республике Беларусь в настоящее время. Тем не менее, наши расчеты являются сопоставимыми с данными других исследователей, а сведения о работе и возможностях использования посадочных машин и уборочной техники были получены во время стажировок за рубежом. По результатам выполненных расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Возможность эффективного возделывания быстрорастущей ивы на энергетические цели определяется не только экологическими, но и экономическими преимуществами. Наши расчеты показывают, что при применении оптимальной технологии производства себестоимость древесины ивы в пересчете на тонну условного топлива не превысит показатель 180-200 долларов, что обеспечивает определенный уровень рентабельности особенно с учетом возможных дотаций.

2. Снижение себестоимости непосредственно связано с площадью плантаций. Амортизационные отчисления на эксплуатацию специальной посадочной и уборочной техники составляют около половины всех затрат на производство биотоплива. Расширение площадей в 3-4 раза по сравнению с представленным в данной публикации базовым вариантом позволит увеличить рентабельность производства на 15-20 %.

3. Существенным аспектом является наличие собственной семеноводческой базы. Стоимость оригинального посадочного материала (черенка) западной селекции может быть снижена в несколько раз при наличии собственных сортов и маточных питомников ивы. С 2012 года в национальный реестр сортов Республики Беларусь введены три сорта ивы совместной селекции Республики Сербия и Беларуси.

### **Список литературы:**

1. 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.

2. Aleh Rodzkin, Józef Mosiej, Agnieszka Karczmarczyk, Katarzyna Wyporska. Biomass Production in Energy Forests. p. 196-202 // Ecosystem Health and Sustainable Agriculture 3. Editors: Lars Rydén and Ingrid Karlsson© The Baltic University Programme, Uppsala University, 2012 ISBN 978-91-86189-11-2, 325 pages. III.

3. Energy for Sustainable Development // UNDP. – New York, 2002.

4. Krasuska E, Rosenqvist H, Economics of energy crops in Poland today and in the future, *Biomass and Bioenergy* (2011), doi:10.1016/j.biombioe.2011.09.011
5. Rosenqvist H, and Nilsson L. Energy crop production costs in the EU (RENEW project) Lund University. Lund: Lund University; 2007. )
6. The Challenge of Hunger: Focus on the Crisis of Child Undernutrition. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ifpri.org/pressroom/briefing/>. – Дата доступа: 15.10.2010.
7. The potential for short rotation energy forestry on restored landfill caps [Review] / D. J. Nixon [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2001. – Vol. 77(3). – P. 237–245.
8. Willow Biomass Producer's Handbook / L. P. Abrahamson [et al.]. – State University of New York, 2002.
9. Willows for Biomass Heating, <http://www.sodui.lt/Willows-for-Biomass-Heating-707.html>) [accessed 1.06.13].