

УДК 631.17:635.21

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ БИОМАССЫ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ В БИОТОПЛИВО

В.А. Колос,

ведущ. науч. сотр. ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», канд. техн. наук
(Россия, г. Москва)

Ю.Н. Сапьян,

зав. лабораторией ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Россия, г. Москва)

В.В. Михеев,

зав. лабораторией ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», канд. техн. наук
(Россия, г. Москва)

В.Б. Ловкис,

декан агроинженерного факультета БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В статье рассмотрены методические вопросы энергосберегающей оптимизации технологий выращивания энергетических сельскохозяйственных растений, перерабатываемых в биотопливо, путем рационального сочетания производственных ресурсов, почвенно-климатических условий, физиологических, биохимических и технологических свойств растительной биомассы. На примере картофеля, для производства биоэтанола выявлены регулируемые факторы, влияющие на энергозатраты его возделывания и энергопотенциал биомассы, как основы разработки входных данных для повышения оптимизации применяемой технологии.

Ключевые слова: технология, биомасса, энергоэффективность, энергопотенциал, энергозатраты, энергосодержание, урожайность, картофель.

The article deals with methodical questions of the energy saving optimization of cultivation technologies of power agricultural plants processed into biofuel by means of rational combination of production resources, soil climatic conditions, physiological, biochemical and technological properties of vegetable biomass. On the example of potatoes for bioethanol production the adjustable factors influencing energy consumption of cultivation and power potential of biomass as a basis of development of entrance data to increase optimization of the applied technology are revealed.

Keywords: technology, biomass, energy efficiency, energy potential, energy consumption, productivity, potatoes.

Введение

В условиях неустойчивых мировых цен на первичные энергоносители, снижающих конкурентоспособность биотоплива из растительного сырья (картофеля, топинамбура, рапса и т.п.), особое значение приобретает повышение энергоэффективности его производства, в том числе выращивания исходной биомассы. Исследования Всероссийского института механизации и Белорусского государственного аграрного технического университета показали, что для решения этой проблемы необходима энергосберегающая оптимизация применяемых технологий по критериям, обеспечивающим учет влияния регулируемых природно-производственных факторов [1-3]. Интегральным критерием является коэффициент энергоэффективности ($KЭЭ$) технологии:

$$KЭЭ = \left[\frac{\sum_s E_s}{\sum_s Q_s} > 1 \right] \rightarrow \max, \quad (1)$$

где E_s – энергопотенциал s -й биомассы (основной, побочной, отходов, примесей), МДж;

Q_s – производственные энергозатраты, МДж.

Второй критерий – индекс уровня энергоэффективности ($ИЭЭ$) позволяет выбрать адекватный вариант технологии из нескольких альтернативных и должен отвечать условию:

$$ИЭЭ = 100(KЭЭ / KЭЭ_0 - 1) > 0. \quad (2)$$

Символом «б» отмечен показатель варианта, принятого за базовый.

Энергосберегающая оптимизация технологии выращивания биомассы по критериям (1) и (2) должна предусматривать минимизацию энергозатрат и (или) максимизацию энергопотенциала продукции применительно к условиям соответствующего агропредприятия в рамках существующих ограничений.

Целью данной работы является анализ регулируемых факторов, влияющих на $KЭЭ$ и $ИЭЭ$ техноло-

гий, как основы формирования массивов входных данных алгоритма оптимизационных вычислений.

Основная часть

К постоянным входным данным относятся нормативно-технические, технологические и энергетические характеристики используемых ресурсов (МТА и стационарного оборудования, сооружений, посевного материала, топлива, электроэнергии, удобрений, пестицидов, воды, стимуляторов роста растений) и биомассы возделываемой культуры. Вариативные данные для вычисления энергозатрат обобщаются в погектарных расходах ресурсов, формализуемых в виде аналитических зависимостей от действующих факторов, в том числе урожайности основной и побочной продукции. Так, расход топлива МТА является функцией топливно-мощностных показателей двигателя трактора и чистой производительности на гоне, вычисляемым по техническим характеристикам и параметрам взаимодействия с почвой ходовой системы трактора и рабочих органов сельхозмашины. На расход топлива влияет баланс времени смены, существенно зависящий от пространственно-технологических характеристик участков полей: длины гона, угла склона, удельного сопротивления и влажности почвы, засоренности камнями, изрезанности препятствиями, удаленности от центра хозяйства. Например, КЭЭ возделывания картофеля с урожайностью 220 ц/га при длине гона 1000 м, угле склона 10°, удаленности 1 км составляет 1,66, а при длине гона 100 м, угле склона 30°, удаленности 5 км – 0,71. Для кормовых корнеплодов с урожайностью 400 ц/га получен КЭЭ соответственно 1,81 и 0,74. При изменении удаленности посевов на 1-5 км он снижается на 30-55 % из-за роста энергозатрат на транспортировку ресурсов и продукции [4]. Расход удобрений по видам определяется исходя из агрономически обоснованных доз элементов питания растений и их содержания в туке. Расход пестицидов в форме препарата рассчитывается по нормам, указанным в регламентах применения, расход семян – по массовой норме высева.

Урожайность биомассы обуславливается такими факторами, как бонитет земель, культура – предшественник, продуктивность сорта, параметры систем подготовки почвы, применения удобрений и средств защиты растений, подработки и хранения продукции. Например, высокие урожаи картофеля при минимальных энергозатратах получают на хорошо окультуренных почвах легкого или среднего гранулометрического состава, с благоприятным водным, воздушным и тепловым режимами. Оптимальная плотность почв для произрастания картофеля составляет:

- супесчаных – 1,3-1,4 г/см³;
- легкосуглинистых – 1,2-1,3 г/см³;
- среднесуглинистых – 1,1-1,2 г/см³.

Увеличение плотности среднесуглинистой почвы до 1,4 г/см³ приводит к снижению урожая на 40-50 % и более [5].

Энергозатраты определяются по расходам, энергосодержанию и энерго-эквивалентам ресурсов для соответствующей урожайности и минимизируются методом сравнительного анализа [1], при котором выявляются нерациональные элементы технологических операций, проводится поиск энергосберегающих технико-технологических решений, корректируются входные данные и выполняется итеративная процедура вычисления КЭЭ и ИЭЭ технологии до достижения максимумов, отвечающих условиям (1) и (2), с учетом существующих ограничений.

Энергопотенциал биомассы зависит от ее энергосодержания и урожайности. Прогнозируемое значение энергосодержания основной биомассы ($e_s = e_1$) рассчитывается по калорийности и долям энергетических веществ (белков, жиров и жирных кислот, углеводов, пищевых волокон и т.д.) в химическом составе посевного материала, определяемых лабораторными методами, а побочной биомассы ($e_s = e_2$) – по формуле, МДж/кг:

$$e_2 = e_1 e_{2cp} \lambda_{2cp} / e_{1cp} \lambda_{21}, \quad (3)$$

где λ_{21cp} и λ_{21} – соотношения урожайности основной и побочной биомассы, соответственно, среднестатистическое [1] и потенциальное [6];

e_{1cp} и e_{2cp} – среднестатистические значения энергосодержания, МДж/кг [1].

Взаимосвязь энергопотенциала биомассы с природно-климатическими и технико-технологическими факторами рассмотрим применительно к картофелю, используемому для производства этилового спирта (биоэтанола). В клубнях картофеля имеются белки, жиры, углеводы и пищевые волокна, в среднем, соответственно 2,0 %; 0,1 %; 17,0 % и 2,2 %, обеспечивающие энергосодержание 3,3 МДж/кг. Более 80 % его обусловлено углеводами, главным образом, крахмалом, составляющим 95-98 % их массы, при этом крахмалистость клубней значительно отличается в зависимости от сортов и условий возделывания. Расчеты показали, что, например, использование семян крахмалистого сорта «Оредежский» с энергосодержанием на 22 % большим, чем базового сорта «Невский», и применение МТА с тракторами «Беларус 1522», менее топливно- и металлоемких, чем с Т-150К, обеспечит значения ИЭЭ технологии 32,6 % [3].

Известно, что количество крахмала в картофеле зависит от влажности почвы в период клубнеобразования: наибольший сбор с одного растения соответствует 60-70 % влажности. Снижение влажности до 30-40 % увеличивает относительное содержание крахмала, но резко уменьшает урожай, а повышение

до 90 % уменьшает оба показателя. Картофель интенсивно потребляет питательные вещества: на 100 ц клубней ранних сортов затрачивается 50-60 кг N, 16-20 кг P₂O₅ и 70-90 кг K₂O, поздних, соответственно 40-45, 13-15 и 60-70 кг, средних сортов – промежуточные дозы. Характерно, что применение удобрений изменяет химический состав клубней. Например, сульфат калия стимулирует образование в них углеводов, при этом среднее количество крахмала может достигать 20 %, если избегать внесения хлористых солей. Крахмалистость повышают умеренные дозы азота, а также фосфора, особенно на его фоне. Накоплению крахмала способствуют глубокая вспашка, загущенная посадка, яровизация клубней. Установлено, что урожайность и крахмалистость положительно коррелированы для 4 групп сортов – от раннеспелых до среднепоздних [7].

Для промышленной переработки рекомендуются технические сорта картофеля, в основном поздние, крахмалистостью более 18%, районированные во многих областях Российской Федерации и Республики Беларусь. Однако фактическое содержание крахмала в картофеле, поступающем на спиртзаводы, колеблется в широких пределах (8-30 %), поскольку клубни, как правило, смешанных сортов и некондиционные (мелкие, поврежденные, подгнившие, подмороженные и т.д.). При таком сырье, с учетом энергозатрат на его доставку от разных производителей, энергоэффективность всей биотопливной технологии может оказаться низкой. Поэтому необходимо предусмотреть оценку качества картофеля, а также подбор сортов с прогнозируемыми уровнями урожайности, крахмалистости, лежкости и сбраживаемости, в т.ч. на этапе оригинального семеноводства.

Таким образом, для максимизации энергопотенциала продукции необходимо возделывать энергетическую культуру в наиболее подходящих почвенно-климатических условиях с применением районированных высококалорийных сортов семян, рациональных агроприемов и средств механизации, обоснованных доз и способов внесения удобрений, средств защиты растений. Это повлечет изменение энергозатрат, причем, непропорциональное, которое должно быть учтено путем пересчета их первоначального значения по откорректированным входным данным.

Энергоэффективность технологии существенно зависит от варианта использования побочной биомассы и отходов, например, в виде попутного биотоплива для сушки основной продукции или органического удобрения, запахиваемого в почву, корма для животных и т.д. Зависимости для вычисления критериев (1) и (2) в этих случаях, в т.ч. при сжигании побочной биомассы на поле, представлены в источнике [8].

Заключение

Повышение энергоэффективности технологий выращивания биомассы, перерабатываемой в биотопливо, необходимо осуществлять на принципах целенаправленного сочетания техногенных ресурсов, климатических факторов, ландшафтно-технологических характеристик полей, физико-механических свойств и плодородия почвы, физиологических, биохимических и технологических свойств растений, обеспечивающих формирование и формализацию адекватных входных данных для вычисления и анализа оценочных критериев.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика топливно-энергетической оценки производства продукции растениеводства / В.П. Елизаров [и др.]. – М.: ВИМ, 2012. – 84 с.
2. Колос, В.А. Алгоритмы оценки энергоэффективности производства биотоплива из растительной биомассы / В.А. Колос, Ю.Н. Сапьян // Инновационные технологии и техника нового поколения – основа модернизации сельского хозяйства: сб. докладов Международ. науч.-технич. конф.: в 2 ч. – М.: ВИМ, 2011. – Ч. 2. – С. 90-94.
3. Колос, В.А. Анализ энергетической эффективности технологии производства картофеля в Северо-Западном регионе России / В.А. Колос, В.Б. Ловкис // Картофелеводство: сб. науч. трудов. – Минск: РУП «НПЦ НАНБ по картофелеводству и плодоовощеводству», 2009. – Т. 16. – С. 292-297.
4. Колмыков, А.В. Оценка влияния пространственных факторов и производительных свойств земли на энергозатраты в земледелии / А.В. Калмыков // Вестник БГСХА. – 2011. – № 2. – С. 110-118.
5. Кидин, В.В. Агрохимия: учеб. / В.В. Кидин, С.П. Торшин. – М.: Проспект, 2016. – 608 с.
6. Каюмов, М.К. Программирование урожая сельскохозяйственных культур / М.К. Каюмов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 320 с.
7. Ильчук, Р. В. Урожайность и крахмалистость клубней картофеля в зависимости от группы спелости сорта и погодно-климатических условий / Р.В. Ильчук // Вестник БСХА. – 2014. – № 2. – С. 81-84.
8. Колос, В.А. Зависимость энергоэффективности технологии от вариантов использования побочной продукции / В.А. Колос, Ю.Н. Сапьян, Е.Н. Кабакова // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации государственной программы развития сельского хозяйства: сб. докладов Международ. науч.-технич. конф. в 2 ч. – М.: ФГБНУ ВИМ, 2015. – Ч. 2. – С. 111-114.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 12.02.2018